

# ANÁLISIS COGNITIVO DE UN TEST INFORMATIZADO DE VISUALIZACIÓN ESPACIAL

Gerado PRIETO, Juan CARRO, Begoña ORGAZ y Ramón F. PULIDO

Dptº. de Psicología Básica, Psicobiología y Metodología.

Facultad de Psicología. Universidad de Salamanca

En este trabajo se analizan las características del procesamiento cognitivo de los ítems de un test computarizado de Visualización, basado en una tarea de Desarrollo de Superficies. Se considera que el número de caras de las figuras tridimensionales no es la condición de la tarea asociada con el empleo de transformaciones o plegamientos mentales. Se postula que la condición denominada "lejanía de la solución" es la que ha de ser controlada para elicitación del proceso característico de la Visualización: la transformación de movimiento.

**Palabras clave:** Aptitud Espacial; Visualización; Tests informatizados.

*Cognitive analysis of a visualization computerized test.* In this research study, we analyse the features of the cognitive processing of the items of a computerized test of visualization, based in a task of Surfaces Development. We have considered that the number of sides of the tridimensional figures is not a condition of the task associated with the usage of transformations and mental foldings. With the results obtained, we believe that the condition called "remoteness of the solution" should be controlled to be able to elicit the usage of characteristic process of Visualization: the transformation of movement.

**Key words:** Spatial Aptitude; Visualization; Computerized Testing.

En los últimos años se han producido algunos cambios fundamentales en la construcción de tests de aptitudes. Uno de los más importantes es el diseño de las pruebas mediante la integración de la psicología cognitiva y la teoría psicométrica clásica (Bejar, 1985; Mayor, 1985; Hunt, 1987; Carroll, 1987). De acuerdo con Bejar (1985), los avances de la Psicología Cognitiva tienen dos implicaciones para la metodología psicométrica. Una es la posibilidad de comprender la ejecución de los tests en términos de procesos cognitivos. La otra posibilidad radica en el perfeccionamiento de los tests ya existentes y en el diseño de nuevos tests a partir de las teorías cognitivas.

Embretson (1985) aclara que el nuevo diseño de tests consiste en construir y/o seleccionar los ítems de acuerdo con tareas diseñadas de forma que permitan tanto medir las diferencias individuales como representar constructos teóricos previamente especificados.

Buena parte de los psicómetros están de acuerdo en que la contribución de la psicología cognitiva se relaciona directamente con la posibilidad de mejorar la definición de la validez de constructo de los tests, determinando cuáles son los procesos definitorios de cada constructo aptitudinal y cómo están asociados con las diferencias individuales y con las características de los ítems psicométricos.

En este trabajo se expone el análisis cognitivo de un test informatizado de Visualización Espacial basado en tareas de Desarrollo de Superficies. Asimismo se aportan sugerencias para diseñar y analizar la validez de este tipo de tests.

## LA VISUALIZACION ESPACIAL

La Aptitud Espacial es una de las habilidades cognoscitivas más estudiada, tanto desde la perspectiva psicométrica (Thurstone, 1950; Guilford, 1967; Yela, 1967; Royce, 1973; Ekstrom, French y Harman, 1979; etc), como desde los enfoques derivados de la psicología cognitiva (Shepard y Feng, 1972; Carroll, 1976; Lohman, 1979; Kyllonen, Lohman y Snow, 1984; Pellegrino, Mumaw y Shute, 1985; Eliot, 1987; Stiles-Davis, Kritchevsky y Bellugi, 1988).

A partir de la década de los 70 se han llevado a cabo varios estudios con el objeto de lograr una definición operacional de la Aptitud Espacial, dado que se aprecia un confusión terminológica y metodológica debido al empleo de diferentes tests psicométricos y de diversos procedimientos de extracción de factores (Lohman, 1979; Guttman, Epstein, Amir y Guttman, 1990).

Sin embargo, uno de los constructos bien definidos en la literatura es la aptitud denominada Visualización. Según Lohman (1979), el factor de Visualización puede ser definido como la habilidad para generar una imagen mental, llevar a cabo diversas transformaciones sobre la misma y retener los cambios producidos en la imagen por las transformaciones citadas. Es decir, el aspecto crucial de esta aptitud es el control mental que se ejerce sobre la imagen representada.

En un trabajo posterior, Lohman (1985) propuso, tras un exhaustivo análisis cognitivo de este constructo psicométrico, que el proceso más característico de la Visualización es precisamente la transforma-

ción mental de la figura. A su juicio, este proceso es el más complejo de los que pueden estar implicados en la solución de problemas espaciales. Distingue dos tipos de transformaciones mentales. Por una parte, la transformación de *síntesis* requerida por tareas que requieren combinar imágenes separadas, tales como las del test Rompecabezas (Yela, 1974). Por otra parte, la transformación de *movimiento*, que está implicada en la solución de items, característicos de test como el DAT-SR (Bennet et alii, 1947) y el Desarrollo de Superficies (Thurstone y Thurstone, 1949), en los que es necesario imaginar plegamientos de la figura.

Las tareas más empleadas para evaluar las diferencias individuales en el constructo de Visualización y los tests más representativos que las incluyen son los que siguen: Rompecabezas (Minnesota Paper Form Board; Thurstone, 1948), Doblado de Papel (Punched Holes Test; French, Ekstrom y Price, 1963), Recuento de Bloques (Counting Test; McQuarrie, 1925 y Block Counting Test; Johnson y Meade, 1986), y Desarrollo de Superficies (DAT-SR; Bennet et al., 1947 y Surface Development; Thurstone y Thurstone, 1949).

Pellegrino y Kail (1982) consideraron que las dimensiones espaciales y los items asociados podían ser graduados en un continuo de velocidad-potencia y otro de simplicidad-complejidad. En tales representaciones, la Visualización y las tareas de Desarrollo de Superficies son asignadas a los mayores niveles de potencia y complejidad.

Se han realizado diversos estudios experimentales sobre distintos aspectos del procesamiento cognitivo implicado en algunas de las tareas antes citadas. En este sentido, es clásico el trabajo de Mumaw, Pellegrino y Glaser (1980) en el que se contrasta un modelo de procesamiento de items similares a los *rompecabezas* del Test Minnesota Paper Form Board. Por otra parte, Kyllonen et al. (1984) han estudiado tareas de

*doblado de papel*, analizando las relaciones entre las características de la tarea, la precisión y la latencia de la respuesta. Asimismo, Kyllonen, Lohman y Woltz (1984) presentaron un modelo componencial de procesamiento de *rompecabezas* que requerían estrategias tales como codificación, síntesis, comparación y rotación. Por su parte, Carroll (1987) ha analizado la relación entre las estrategias de resolución, las características y la dificultad de las tareas de *recuento de bloques*.

Shepard y Feng (1972) estudiaron la ejecución en tareas de *desarrollo de superficies*. La situación experimental consistió en presentar una tarea en la que se pedía a los sujetos que indicasen si los dos lados marcados en una figura serían adyacentes si ésta fuese doblada para conseguir una imagen tridimensional. En consecuencia la tarea tiene ciertas similitudes con los items de los test DAT-SR y Desarrollo de Superficies, dado que el estímulo consiste en una figura desarrollada en un plano que es necesario plegar mentalmente para formular la solución.

Tanto Shepard y Feng (1972) como Carro (1985), apreciaron una relación lineal entre los tiempos de reacción (TR) y el número de pliegues que habían de ser procesados para resolver el ítem.

Como se ha indicado con anterioridad, el objetivo de este trabajo ha sido analizar empíricamente un test informatizado de Vi-

sualización, basado en una tarea de desarrollo de superficies, en la que se controlen las condiciones que permitan demandar la puesta en ejercicio del proceso de transformación mental de la figura.

### CARACTERÍSTICAS DEL TEST INFORMATIZADO VZ

El test VZ es la versión inicial de una prueba informatizada construida por los autores de este trabajo con la finalidad de medir la Aptitud de Visualización a partir de tareas de desplegamiento de figuras tridimensionales. La presentación de las instrucciones y los ítems, el registro de las respuestas (TR en ticks y acierto/error) y el recuento final de los valores de las diversas variables analizadas los realiza automáticamente el ordenador cuando el sujeto ha terminado de realizar el test. La prueba está construida en el lenguaje HyperTalk (Harvey, 1988), característico del programa HyperCard (Goodman, 1987).

Cada uno de los 70 ítems de los que consta la prueba está formado por una figura-estímulo tridimensional situada a la izquierda de la pantalla del ordenador y otra, situada a la derecha de la pantalla, que es la misma figura desplegada en el plano. La figura estímulo presenta una de sus caras señalada por un tono oscuro y una flecha marca una de sus aristas. La figura desple-

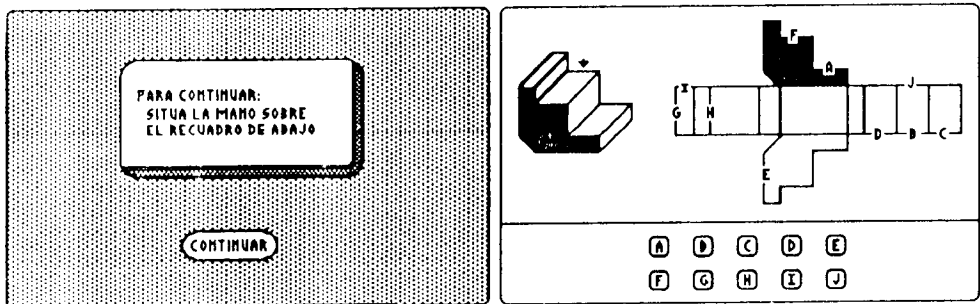


Figura 1. Ejemplo de un ítem y de la instrucción que le antecede.

gada presenta diez de sus aristas identificadas con letras. Se pide al sujeto que identifique en la figura desplegada la letra correspondiente a la arista marcada con la flecha en la figura estímulo. En la Figura 1, aparecen un ítem de la prueba y de la pantalla que antecede a cada uno de los ítems. Para emitir su respuesta, el sujeto debe pulsar con el mouse el botón de respuesta que corresponda a la letra seleccionada.

Para contrastar las hipótesis sugeridas por los trabajos anteriormente citados (Shepard y Feng, 1972; Carro, 1985), se diseñaron los ítems atendiendo a dos características:

a) número de caras de la figura (entre 6 y 12).

b) situación o localización de la opción correcta respecto de la cara señalada con un tono oscuro. Esta característica que hemos denominado lejanía de la solución, permite clasificar los ítems en tres modalidades: ítems con la solución adyacente a la cara oscura (la arista buscada pertenece a la cara oscura o es una tangente a las aristas de la cara oscura), ítems con la solución próxima a la cara oscura (la arista buscada es una tangente a las definidas como adyacentes) e ítems con la solución lejana (la arista buscada es una tangente a las definidas como próximas o pertenece a una cara aún más alejada de la cara oscura que las anteriores). En la Figura 2 se incluyen dos ejemplos en los que se ilustran estas características.

## METODO

### *Muestra*

Se administró la prueba a 134 alumnos (67 mujeres y 67 varones) del tercer curso de Psicología de la Facultad de Psicología de la Universidad de Salamanca con una edad media de 22.6 y una desviación típica de 2.5 años.

### *Instrumentación y materiales*

La prueba se aplicó con ordenadores Macintosh SE conectados a una red AppleTalk.

### *Procedimiento*

La prueba fué administrada en grupos de 9 sujetos aislados entre sí. Para posibilitar la concentración, los sonidos emitidos por el ordenador eran recibidos mediante auriculares. Antes de ejecutar la prueba, los sujetos realizaban un ejercicio estandarizado para familiarizarse con el ratón. Una vez efectuado este entrenamiento, pasaban a realizar el test diseñado con la siguiente secuencia: instrucciones, demostraciones, ejemplos con feedback al sujeto sobre la rapidez y precisión de su respuesta, e ítems de la prueba.

### *Diseño y análisis estadístico*

Para determinar los efectos de las características de la tarea en los aciertos (AC) y en los tiempos de latencia (TR) se realizaron análisis de varianza de una vía con contrastes de Scheffé a posteriori. Para rechazar la hipótesis de nulidad, se tomó una probabilidad  $\alpha$  de 0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se muestran los promedios (M) y las desviaciones típicas (SD) de las variables denominadas *tiempos de reacción* (TR) y *precisión de las respuestas* (AC) a los ítems con distinto número de caras. Se presentan en columnas separadas los datos correspondientes a los varones y a las mujeres. La variable TR es el tiempo de latencia en segundos de los ítems resueltos correctamente. En la variable AC se asignó el valor 1 a las respuestas correctas y el valor 0 a las incorrectas. Para contrastar la significación de las diferencias entre las medias se emplearon análisis de la varianza de una vía, tomando como variable independiente el número de caras y como dependientes las variables TR y AC. En ninguna de las dos muestras (varones y mujeres) las diferencias fueron significativas tomando una probabilidad  $\alpha$  de .05.

Caras	VARONES				MUJERES			
	TR		AC		TR		AC	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
6	16.35	6.76	.703	.179	18.93	7.86	.585	.175
7	13.22	5.99	.843	.183	14.70	6.44	.764	.220
8	16.89	6.88	.731	.140	18.99	7.46	.643	.140
9	19.81	5.59	.664	.163	22.94	5.79	.540	.166
10	18.91	3.92	.739	.114	21.92	6.56	.696	.116
11	20.37	6.04	.672	.152	21.59	6.63	.585	.165
12	20.80	6.15	.775	.100	24.03	6.72	.639	.114

Tabla 1. Promedios (M) y desviaciones típicas (SD) de los varones y las mujeres en los tiempos de reacción en segundos (TR) y los aciertos (AC) correspondientes al número de caras de las figuras.

En consecuencia, los resultados indican que los tiempos de latencia y los aciertos a los items no dependen del mayor o menor número de caras del estímulo tridimensional. A nuestro juicio este dato es importante, puesto que pone de relieve que los sujetos no procesan todos los elementos de la figura desplegada, sino sólo algunas de sus partes, aquéllas próximas al elemento que han de identificar. Esta conclusión concuerda con las del trabajo de Shepard y Feng (1972), en el sentido de que la dificultad y la rapidez de ejecución dependían del *número necesario de plegamientos para llegar a la solución*. Es decir, no sería imprescindible siempre plegar mentalmente toda la figura para emitir una respuesta.

Se puede concluir por tanto, que en las tareas de desarrollo de superficies el número de caras de la figura no es la condición que incide en que el sujeto lleve a cabo transformaciones mentales para emitir la respuesta. Desde nuestra perspectiva, la característica de los items asociada con el empleo de plegamientos mentales es la que hemos denominado situación o localización de la opción correcta. Esta interpretación parece reforzada por el análisis que hemos llevado a cabo acerca de las relaciones de esta característica con la velocidad de ejecución y la precisión de la tarea.

En efecto, las tareas de desplegamiento, similares a las del test Desarrollo de Superficies en las que se presenta al sujeto una figura tridimensional con una cara marcada pidiéndole que identifique algunas de sus caras o aristas (Thurstone y Thurstone, 1949), parecen imponer al observador una forma de procesamiento peculiar. A nuestro juicio, el sujeto focaliza su atención en la cara marcada y elabora sus estrategias de solución del problema en torno a la misma. En consecuencia, la proximidad de la solución a dicha cara influye tanto en la dificultad y rapidez de la ejecución como en la estrategia de solución empleada.

En la Figura 2 se presentan dos items del test VZ que difieren en la situación de la opción correcta respecto de la cara marcada con un color oscuro. En el Item 2 la solución corresponde a una arista de la cara oscura. Por tanto, la emisión de la respuesta no requeriría plegar mentalmente los elementos de la figura. Es decir, algunos items podrían ser resueltos empleando estrategias de reconocimiento perceptivo o analíticas de razonamiento, como las propuestas por Kyllonen et al. (1984). Por el contrario, la solución al Item 1 está alejada de la cara oscura. La emisión de la respuesta requiere mayor tiempo de elaboración y, probablemente implica la necesidad de emplear la reconstrucción men-

tal de la mayor parte de la figura desplegada. Nuestros datos sugieren que la mencionada interpretación puede ser correcta.

En la Figura 3 se describe gráficamente la relación de la situación de la solución con la precisión de las respuestas. Como puede observarse, el promedio de aciertos a los items de las muestras de varones y de mujeres disminuye a medida que la solución está más alejada de la cara oscura. Los análisis de varianza y los contrastes de Scheffé permiten afirmar que los promedios de los valores de la variable AC son significativamente menores ( $\alpha = .05$ ) en los items en los que la opción correcta corresponde a una arista alejada (solución próxima o lejana) de la cara oscura.

En la Figura 4 aparece representada la relación de la situación de la solución con la rapidez de emisión de la respuesta.

De manera similar, los TR aumentan a medida que la solución está más alejada de la cara oscura. En efecto, los TR promedios de los varones y las mujeres son significativamente mayores ( $\alpha = .05$ ) en los items en los que la opción correcta corresponde a una arista próxima o lejana de la cara oscura.

## CONCLUSIONES

En este trabajo, presentamos un análisis de los efectos de las facetas de la tarea sobre la velocidad de ejecución y sobre la dificultad de los items de Desarrollo de Superficies. Se ha definido operativamente una característica asociada con las variables citadas: la localización de la solución respecto de la cara señalada. Puesto que el sujeto ha de reconstruir la figura tomando como referencia la cara marcada, esta característica de los items puede implicar la necesidad de reconstruir mentalmente una parte o toda la figura desplegada. Los datos obtenidos tiene repercusiones en la definición de la validez de constructo de los tests de Desarrollo de Superficies y en el diseño de tests de Visualización Espacial. A nuestro juicio, este tipo de pruebas deberían incluir sólo items en los que la localización de la solución fuese próxima o lejana, debido a que son los que involucran en mayor medida el proceso más característico de la Visualización: la transformación mental de las figuras espaciales.

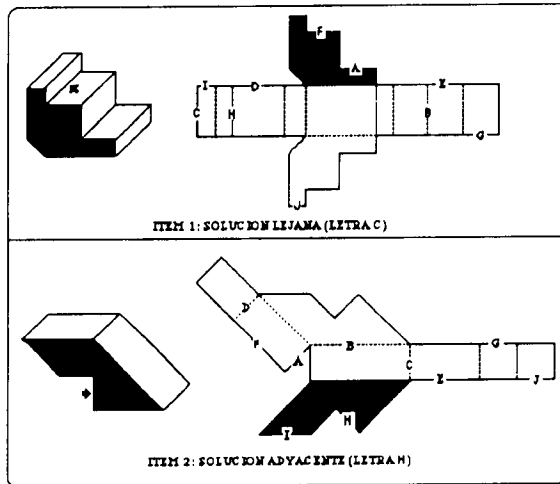


Figura 2. Características de la tarea.

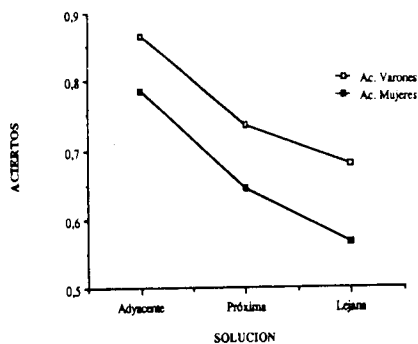


Figura 3. Relación entre las características de la tarea y la precisión de las respuestas.

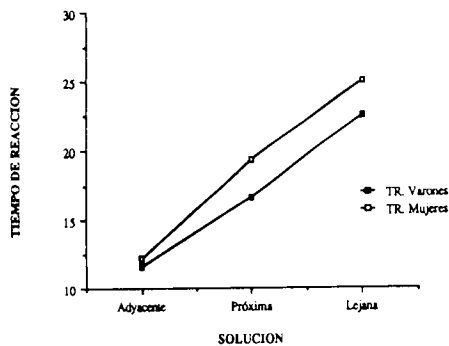


Figura 4. Relación entre las características de la tarea y los tiempos de latencia.

## REFERENCIAS

- Bartram, D. (1987). The Development of an Automated Testing System for Pilot Selection: The Micropat Project. *Applied Psychology*, 36, 279-298.
- Bejar, I. I. (1985). Speculations on the future of test design. En S.E. Embretson (ed.) *Test Design: Developments in Psychology and Psychometrics*, (pp. 279-294). New York: Academic Press.
- Bennet, G.; Seashore, H., y Wesman, A. (1947). *Differential aptitude test*. New York: Psychological Corporation.
- Carro, J. (1985). *Inteligencia espacial y aptitud de vuelo: estudio desde las perspectivas psicométrica y del procesamiento de la información*, Tesis Doctoral no publicada. Salamanca: Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, Universidad de Salamanca.
- Carroll, J. B. (1976) Psychometric tests and cognitive tasks: A new "structure of intellect". En L. B. Resnick (ed.), *The nature of intelligence*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Carroll, J. B. (1987). New Perspectives in the Analysis of Abilities. En R.R. Ronning, J. A. Glover, J. C. Conoley y J. C. Witt (eds), *The influence of Cognitive Psychology on Testing* (pp. 267-284). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ekstrom, R. B.; French, J. W. y Harman, H. (1979). Cognitive factors: their identification and replication. *Multivariate Behavioral Research Monographs*, 79-2, 3-84.
- Eliot, J. (1987). *Models of Psychological Space*. New York: Springer-Verlag.
- Embretson, S. E. (ed.) (1985). *Test Design: Developments in Psychology and Psychometrics*. New York: Academic Press.
- Fowler, R. D. y Butcher, J. N. (1987). International Applications of Computer-based Testing and Interpretation. *Applied Psychology*, 36, 419-429.

- French, J. W., Ekstrom, R. B. y Price, L. A. (1963). *Manual for kit of reference tests for cognitive factors*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Goodman, D. (1987). *The complete HyperCard Handbook*. Toronto: Bantam Books.
- Green, B. F., Bock, R. D., Humphreys, L. G., Linn, R. L. y Reckase, M. (1982). *Evaluation plan for the computerized adaptive vocational testing battery*. (Technical Report No. 82-1). Baltimore: Johns Hopkins University, Office of Naval Research, Department of Psychology.
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Guttman, R.; Epstein, E. E.; Amir, M. y Guttman, L. (1990). A structural Theory of Spatial Abilities. *Applied Psychological Measurement*, 14 (3), 217-236
- Harvey, G. (1988). *HyperTalk Instant Reference*. San Francisco: SYBEX.
- Hunt, E. (1987). Science, Technology and Intelligence. En R. R. Ronning, J. A. Glover, J. C. Conoley y J. C. Witt (eds). *The influence of Cognitive Psychology on Testing* (pp. 11-40). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Johnson, E. S. y Meade, A. (1986). *Block Counting Test*. New York: Industrial Psychology Inc.
- Kyllonen, P. C.; Lohman, D. F. y Snow, R. E. (1984). Effects of Aptitudes, Strategy Training, and Task Facets on Spatial Task Performance. *Journal of Educational Psychology*, 76, 1, 130-145.
- Kyllonen, P. C., Lohman, D. F. y Woltz, D. J. (1984). Componential Modeling of Alternative Strategies for Performing Spatial Task. *Journal of Educational Psychology*, 76, 6, 1325-1345
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial ability: A review and reanalysis of the correlational literature*. (Technical Report No. 8). Aptitude Research Project, School of Education, Stanford University.
- Lohman, D. F. (1985). *Dimensions of individual differences in spatial abilities*. Paper for NATO Advanced Study Institute in Cognition and Motivation, Athens.
- MacLennan, R. R.; Jackson, D. N. y Bellantino, N. (1988). Response latencies and the computerized assessment of intelligence. *Personality-and-Individual-Differences*, 9 (4), 811-816
- Macquarrie, T. W. (1925). *MacQuarrie Test for Mechanical Ability*. California: California Test Bureau.
- Martín, T.A. y Wilcox, K. L. (1989). HyperCard administration of a block-design task. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 21 (2), 312-315
- Mayor, J., (Ed.) (1985). *Actividad Humana y Procesos Cognitivos*. Madrid: Alhambra Universidad.
- Mumaw, R. J., Pellegrino, J. W. y Glaser, R. (1980). *Some puzzling aspects of spatial ability*. Paper presented at annual meetings of the Psychonomis Society, St. Louis, Mo.
- Pellegrino, J. W. y Kail, R. (1982). Process Analyses of Spatial Aptitude. En R.J. Sternberg (ed.), *Advances in the psychology of human intelligence, 1*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pellegrino, J. W., Mumaw, R. J. y Shute, V. J. (1985) Analyses of Spatial Aptitude and Expertise. En S.E. Embretson (ed.), *Test Design: Developments in Psychology and Psychometrics* (pp. 45-76). New York: Academic Press.
- Perriolat, R. (1987). L'Informatisation des Tests au Service de Psychologie de la S.N.C.F.. *Applied Psychology*, 36, 299-310.
- Royce, J. R. (1973) *Multivariate Analysis of Psychological Theory*. London: Academic Press.
- Shepard, R. N. y Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology*, 3, 228-243.
- Stiles-Davis, J., Kritchevsky, M. y Bellugi, U. (1988). *Spatial Cognition, Brain Bases and Development*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Telfer, R. (1985). Micro-computer based psychological testing and record-keeping. *Defence Force Journal*, 54, 57-61
- Thurstone, L. L. (1948). *Minnesota Paper Form Board Test*. New York: Psychological Corporation.
- Thurstone, L. L. (1950). *Some Primary Abilities in Visual Thinking*. (Report, No. 5), Chi-



- cago: Psychometric Laboratory, University of Chicago.
- Thurstone, T. G. y Thurstone, L. L. (1949). *Mechanical aptitude II; description of group tests*. (Report 54). Chicago: Psychometric Laboratory, The University of Chicago.
- Wolfe, J. H. (1986). *Computerized testing technology*. *Advances-in-Reading Language-Research; Vol 4*, US Navy Personnel Research y Development Ctr, San Diego, CA, 71-78
- Yela, M. (1967). El factor espacial en la estructura de la inteligencia técnica, *Revista de Psicología General y Aplicada*, 88-89, 609-635.
- Yela, M. (1974). *Rompecabezas Impresos*. Manual. Madrid: TEA.