

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/62783>

This paper must be cited as:

Gual Ortí, J.; Puyuelo Cazorla, M.; Lloveras Macia, J. (2014). Three-dimensional tactile symbols produced by 3D Printing: Improving the process of memorizing a tactile map key. *British Journal of Visual Impairment*. 32(3):263-268. doi:10.1177/0264619614540291.



The final publication is available at

<http://dx.doi.org/10.1177/0264619614540291>

Copyright SAGE Publications (UK and US)

Additional Information

# **3D tactile symbols. Improving the memorization process of a tactile map key**

## **AN APPLICATION OF 3D TACILE SYMBOLS. Improving the memorization process of a tactile map key**

Keywords: tactile symbol, tactile map, tactile key, visually impairment,

### **Structured Abstract**

**Introduction:** El objetivo del artículo es determinar si se puede mejorar el proceso de memorización de una leyenda táctil incluyendo en ésta una selección de símbolos tridimensionales. Además se pretende comprobar si existen diferencias entre diferentes perfiles de usuarios. Parte del material empleado en este estudio ha sido realizado mediante Impresión en 3D.

**Method:** Han participado en este estudio 20 personas con diferentes perfiles a los que se les ha pedido que memoricen dos Leyendas de 8 símbolos táctiles en diferentes condiciones, con el fin de comparar las diferencias existentes entre ellas midiendo los errores cometidos al memorizarlas.

**Results:** Los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos del estudio. La reducción de errores entre leyendas fue del 48,72% (N=20; p-value=0.014). Sin embargo no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes perfiles de participantes.

**Discussion:** Los datos obtenidos demuestran que combinando símbolos tridimensionales propuestos por los autores, con símbolos en relieve plano es posible mejorar el proceso de memorización de una leyenda táctil, ya que los dos grupos de símbolos se distinguen y diferencian con claridad, si ambos se agrupan en la leyenda bajo un criterio que atienda a las atributos formales.

**Implications for practitioners:** El estudio muestra cómo empleando las nuevas técnicas de Prototipado Rápido es posible aplicar la usabilidad de los símbolos táctiles en un apartado concreto de los mapas en relieve: el uso en una leyenda. Los diseñadores de planos táctiles pueden emplear este nuevo grupo de símbolos táctiles, los tridimensionales, para mejorar la discriminabilidad de los planos que realizan, empleando Técnicas de prototipado Rápido, o incluso, termoconformado.

## **I. Introduction**

### **1. Objective**

Analizar si la inclusión en una leyenda para planos táctiles de símbolos tridimensionales organizados de una manera determinada puede mejorar el proceso de memorización respecto a una leyenda no organizada y que emplee únicamente símbolos bidimensionales.

Por otro lado, se pretende analizar también las diferencias entre usuarios en el proceso de memorización de las leyendas atendiendo a su perfil y experiencia previa con los gráficos tangibles.

### **2. Tactile symbols and the elements of design**

Como muchas publicaciones indican, el diseño de símbolos táctiles se realiza combinando tres elementos de diseño gráfico: puntos líneas y áreas (texture) (Trevelyan, 1980; Edman, 1992; Bentzen & Marston, 2010). Además, con estos símbolos se suelen representar determinados ítems informativos de un plano táctil. En general, los símbolos puntuales representan localizaciones concretas; las líneas muestran direcciones o límites y las texturas, zonas acotadas.

Estos tres elementos de diseño pertenecen al ámbito bidimensional, siendo comúnmente empleados en las composiciones gráficas y pictóricas. Sin embargo, conviene reflexionar sobre un cuarto grupo de elementos de diseño, los volumétricos, normalmente presentados mediante los prismas básicos y cuyo empleo es común en disciplinas como la arquitectura y/o el diseño de productos (Ching, 2007) (Wong, 1993). Este cuarto grupo no se suele emplear en la realización de planos táctiles, posiblemente debido a que los medios de producción más comunes (Rowell & Ungar, 2003) en este ámbito no pueden reproducir, o lo hacen con dificultades, determinadas formas con volumen; y a que el origen de los planos táctiles proviene de un medio bidimensional como el gráfico. Ahora bien, no hay que olvidar que los planos táctiles son productos en relieve y que por lo tanto en ellos se emplea el volumen, entre otros aspectos, para exponer los distintos elementos del plano al sentido del tacto. Son, en definitiva, un producto tridimensional. De esta manera ¿por qué no emplear elementos volumétricos en el diseño de planos táctiles?

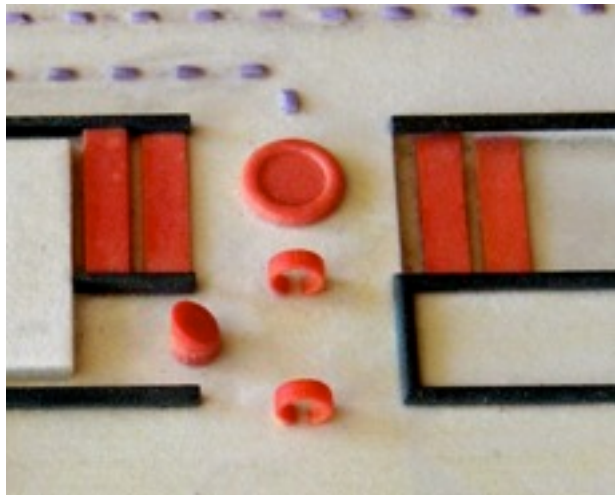
### (a) Volumetric elements: 3D tactile symbols

Los símbolos táctiles tridimensionales son símbolos con una forma no categorizable desde los elementos de diseño gráfico expuestos con anterioridad. Son, por lo tanto, una cuarta categoría de símbolos específica que pueden aplicarse en planos táctiles y sus respectivas leyendas para representar ítems concretos. En este estudio se han seleccionado una muestra de cuatro 3D símbolos a partir de estudios anteriores (Image 1) (Gual, Puyuelo & Lloveras, 2011;(Gual, Puyuelo & Lloveras, 2012)



Picture 1: Imagen de los cuatro símbolos tridimensionales empleados en este estudio. PROVISIONAL

Ahora bien, ¿en qué ámbito concreto se pueden aplicar estos símbolos?. La respuesta depende de la creatividad del diseñador de planos táctiles (Image 2). Este artículo presenta una propuesta de aplicación concreta de símbolos tridimensionales táctiles sobre una leyenda cuyos significados estarían asociados a un ítem informativo de carácter puntual como pudiera ser, por ejemplo, un ascensor en el interior de un edificio o el punto de inicio de un recorrido urbano o una exposición.



Picture 2: Ejemplo de empleo de símbolos tridimensionales aplicados en un plano táctil.

### **(b) CAD design applied to tactile maps**

Las técnicas de CAD (Computer Aided Design) en 3D se encuentran extendidas sobretodo en el ámbito de la Ingeniería. Son un medio flexible y preciso para diseñar edificios u objetos de uso cotidiano. Mediante estas técnicas se realizan también planos o maquetas táctiles. La principal problemática cuando un diseñador de planos táctiles se acerca a estas técnicas es la falta de software específico y de fácil uso que le permita aprender la herramienta de un modo eficiente. A pesar de todo ello, algunos proyectos de investigación muestran un interés en desarrollar un software específico que sirva para el diseño de mapas táctiles. Este es el caso del Tactile Map Editor desarrollado por el Spatial and Map Cognition Research Lab. de la University of Oregon o el TacMap del Art and Design Research Centre at Sheffield Hallam University in collaboration with the Sheffield Royal Society for the Blind. En este estudio se han diseñado todos los elementos con herramientas CAD 3D de diseño conceptual genéricas como el Rhinoceros o el SolidThinking. En cualquier caso, las herramientas CAD 3D son cada vez más fáciles de usar y accesibles, como en el caso del Google Sketch-up.

### **(c) ¿cómo producir 3D tactile symbols?**

La producción de este tipo de símbolos táctiles no es posible desde la técnica del microencapsulado debido al carácter plano de este medio. Sin embargo, algunos de estos símbolos pueden reproducirse mediante termoconformado de láminas de plástico. La pirámide que aquí se propone, o un cono, son formas perfectamente reproducibles mediante un proceso de termoconformado. Incluso el prisma rectangular, o un cubo, podría reproducirse mediante este sistema realizando unas ligeras variaciones en sus planos verticales, inclinándolos, para facilitar la separación entre la pieza máster (modelo) y de la lámina de plástico. Ahora bien, formas como el toroide, el anillo o la esfera no pueden ser ejecutadas mediante termoconformado y, en cualquier caso, su resolución será menos precisa con este sistema que con las técnicas de Prototipado Rápido. En contra, mediante este último sistema se realiza normalmente piezas rígidas no portables, que con microencapsulado o termoconformado son posibles.

Así, un sistema de producción idóneo para este tipo de símbolos es cualquiera de las técnicas propias del Prototipado Rápido (Chua, Leong & Lim, 2003) (Skawinski et al., 1994) (Zhang, Richardson, Surana, Dwornik & Schmidt, 1996), ya que permiten la reproducción de piezas con geometrías comple-

jas y en algunos casos, como en la Impresión en 3D (Vo\vzenílek et al., 2009) empleada en este estudio, con acabado policromado. Hecho, este último, que permite la introducción de large text y contraste de colores para la realización de planos en relieve bajo la perspectiva del Diseño Universal (Preiser ; forew by Robert Ivy, 2003).

Algunos estudios previos de este ámbito ya realizan los planos o maquetas táctiles mediante técnicas de Prototipado Rápido, centrándose sobretodo en la aplicación de maquetas táctiles como en el caso de voigt o Milan (Celani & Milan, 2007; Voigt & Martens, 2006), aunque también los hay referentes a planos (Vo\vzenílek et al., 2009; Gual, Puyuelo, Lloveras & Merino, 2012).

### **3. Leyenda táctil, memoria háptica y principio gestáltico de agrupamiento por similitud.**

La leyenda de un plano táctil es una lista de elementos (símbolos, abreviaturas, códigos...) relacionados con ciertos contenidos del mapa. Según el estudio de Rowell y Ungar sobre preferencias de usuarios de planos táctiles se trata del complemento más importante de entre los que tienen que acompañar a un mapa (Rowell & Ungar, 2005). Existen manuales y guías de diseño de gráficos tangibles que tratan este aspecto y otros (Edman, 1992; Gardiner & Perkins, 2002; Rowell & Ongar, 2003). Su uso, por parte de personas ciegas, requiere el empleo de la memoria háptica. Por lo que debe ser simple y contener elementos claramente diferenciables entre ellos con el fin de evitar errores de confusión y facilitar su memorización con poco esfuerzo.

Por ultimo, en esta introducción cabe hablar del principio de agrupamiento por similitud de la Gestalt, propio del dominio visual. Mediante este principio los elementos de una composición visual tienden a percibirse integrados en grupos si entre ellos existe algún tipo de similitud: formal, de tamaño, de color, de textura, iluminación, etc. (Nadel & Piattelli-Palmarini, 2003; Todorovic, 2008).

Algunos estudios como el de Alberto Gallace y Charles Spence argumentan que los mismos principios que gobiernan el sentido de la vista o el del oído lo hacen igualmente con el sentido del tacto (Gallace & Spence, 2011). Si esto es así, este hecho facilitaría la memorización de grandes grupos de elementos de un plano táctil, incluidos los símbolos, mediante el uso de la memoria háptica, siguiendo en este caso un criterio de agrupación/segregación por formas claramente diferentes: por un lado, aque-

llas con relieve plano (bidimensionales) y, por otro, las tridimensionales, claramente diferenciables entre sí al sentido del tacto por contraste de altura.

## **II. Metodología**

### **(a) Muestra**

Han realizado este experimento un grupo de 20 participantes: 10 invidentes, 4 deficientes visuales y 6 videntes, 7 hombres y 13 mujeres. La edad media de los participantes es de 45,15 (SD16,64), con un rango de edad que va de los 25 a los 74 años.

En relación al grado de conocimiento previo de estrategias de lectura háptica, han participado en este experimento:

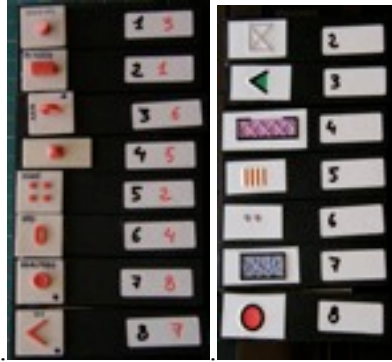
- 6 usuarios expertos. Emplean gráficos tangibles de manera regular.
- 4 con un poco de experiencia. Leen braille regularmente, aunque no están familiarizados con los gráficos tangibles-
- 10 que no leen braille y no poseen ningún tipo de experiencia en dispositivos táctiles.

Los participantes deficientes visuales y los videntes realizaron las tareas con los ojos tapados para concentrar el estudio sólo en los aspectos táctiles.

### **(b) Material empleado y registro**

En este estudio se ha utilizado 2 plantillas de símbolos a modo de leyendas. La Leyenda 1 con 8 símbolos táctiles usados comúnmente en planos reales (Image 1) La leyenda 2 con dos grupos de 4 símbolos en 2D (se incluye una textura) y 4 volumétricos (en 3D)(Image 2). Los símbolos no se relacionan con ningún significado en especial, sino con un orden de números que van del 1 al 8, 1 el primero de la parte superior y 8 el último de la parte inferior.

El registro de la experiencia se ha llevado a cabo mediante videograbación digital. La información ha sido tratado mediante programas de procesamiento estadístico de datos.



Picture 3: Imagen de las plantillas

### (c) Tareas y procedimiento

Se pretende evaluar el proceso de memorización de simbología táctil en diferentes leyendas y siguiendo diferentes estrategias.

La tarea planteada es una tarea común en el uso de planos táctiles. Se trata de la memorización de los símbolos de la leyenda de un plano. Los participantes tuvieron que memorizar ambas leyendas.

La leyenda 1 configurada sólo con símbolos de carácter plano. La Leyenda 2 incluyendo dos bloques de símbolos agrupados según su tipología morfológica: 4 símbolos de carácter volumétrico, es decir, los 4 primeros símbolos en 3D y los 4 últimos símbolos en relieve plano, similares a la Leyenda 1.

El procedimiento seguido fue el siguiente: se pasaron a cada participante, uno a uno, las plantillas con las diferentes leyendas, empezando de manera aleatoria por cualquiera de las dos para evitar que el sesgo del orden pueda inferir en el experimento. Los participantes debían primero memorizar el orden en el que aparecían los símbolos en la leyenda. Una vez memorizados, el investigador les proporcionaba de nuevo los símbolos que había tratado de memorizar y se los exponía de manera aleatoria, uno a uno, hasta completar los 8 símbolos de los que constaba la leyenda. Cuando el participante tocaba por segunda vez los símbolos proporcionados por el investigador, éste debía responder con el número u orden que ocupaba el correspondiente símbolo en la leyenda ordenada. Por último, cabe mencionar que el investigador proporcionaba unas leves instrucciones para realizar la tarea. Principalmente, que en la memorización de la Leyenda 2 se sugería la posibilidad de emplear la estrategia de memorizar



por grupos diferenciados los símbolos de la leyenda, gracias a que estaba ordenada según el criterio de exponer los 4 símbolos volumétricos primero y el resto en relieve de altura no tan contrastado después. Se midieron los errores cometidos por los participantes para cada leyenda

### III. Resultados

Como se aprecia en la Tabla 1, la media de errores obtenida en la Leyenda 2 ha sido de 1,95 (SD 2,02) frente a 1,00 (SD 1,28) en la Leyenda 1. Con una reducción de errores total en la Leyenda 2 del 48,72%. Visto desde otra perspectiva, la media de aciertos en la Leyenda 1 ha sido del 75,62% , mientras que en la Leyenda 2 ha sido del 87,50 %. Estos resultados tienen significancia estadística en tanto su *p-valor* es 0,014 (Test de XXXX).

	N	Mean	Std. Deviation
LEYENDA 1	20	1,95	2,012
LEYENDA_2_mezcla_error	20	1,00	1,376

Table 1: Medias y Desviación estándar de los errores cometidos en el experimento 2.

En las medias de errores obtenidas por las distintas tipologías de usuario (Table 2), los participantes videntes han obtenido una media de errores de 1,50 en la Leyenda 1 frente al 0,33 en la Leyenda 2, siendo los participantes con deficiencia visual los que han registrado una media de errores más alta en la memorización de las dos leyendas (3,00 en Leyenda 1 y 1,50 en Leyenda 2). Por otro lado, la reducción de errores en su proceso de memorización, de la Leyenda 2 respecto a la 1, ha sido del 33,33% en Invidentes; del 50% en Deficientes Visuales y de un 78% en Videntes. Aunque, de los resultados de las pruebas estadísticas se señala que estas diferencias no tienen relevancia en ninguna de las dos leyendas (Test de XXXX: *p-valor*=0,55 en Leyenda 1; *p-value*= 0,49 en Leyenda 2).

		N	Mean	Std. Deviation
LEYENDA 1	Invidente	10	1,80	1,932
	Deficiente Visual	4	3,00	2,449
	Vidente	6	1,50	1,975
LEYENDA 2_mezcla_error	Invidente	10	1,20	1,476
	Deficiente Visual	4	1,50	1,915

	Vidente	6	0,33	0,516
--	---------	---	------	-------

Table 2: Medias y Desviación Estándar de los errores cometidos en el Experimento 2 según el tipo de participante.

En relación con los resultados obtenidos según la experiencia previa de los participantes con el uso de dispositivos táctiles, se aprecia que los usuarios expertos han obtenido una media de 1,00 en la Leyenda 1 y de 0,33 en la Leyenda 2 (Table 3). Los usuarios sin experiencia táctil son el grupo que ha obtenido peores resultados en ambos casos, 2,40 en la Leyenda 1 y 1,40 en la Leyenda 2. En los tres grupos de participantes se obtuvo mejores resultados empleando la Leyenda 2, con una reducción de errores en su proceso de memorización del 41,67% en usuarios sin experiencia; del 55,56 % en aquellos que poseen un poco de experiencia (leen Braille) y; por último, del 67,00 % en los usuarios expertos. En cualquier caso, un análisis estadístico más concreto indica que esas diferencias no tienen significancia estadística ( $p$ -valor=0,36 en Leyenda 1;  $p$ -valor= 0,29 en Leyenda 2).

		N	Mean	Std. Deviation
LEYENDA 1	Usuario sin experiencia	10	2,40	2,503
	Lee Braille	4	2,25	1,500
	Usuario experto	6	1,00	1,095
LEYENDA_2_mezcla_error	Usuario sin experiencia	10	1,40	1,647
	Lee Braille	4	1,00	1,155
	Usuario experto	6	0,33	0,816

Table 3: Medias y Desviación Estándar de los errores cometidos en el Experimento 2 según la experiencia previa del participante.

#### IV. Discussion

Como se aprecia en los resultados obtenidos, en la memorización de la Leyenda 2 se han producido menos errores en general. Además, con una diferencia significativa desde el punto de vista estadístico.

De esta manera, se observa que en todos los casos estudiados, es decir, en el total y en los segregados por tipología de usuario y grado de experiencia previa, los resultados han sido más positivos en el proceso de memorización de los símbolos en la Leyenda 2. Esta leyenda presentaba los símbolos táctiles agrupados en dos bloques para reforzar el Principio de Agrupación por similitud (Todorovic,

2008) al concentrar el proceso de memorización en dos características diferenciadas de ambos grupos. Un primer grupo de símbolos eran tridimensionales, es decir, realizado con elementos de diseño volumétricos (Ching, 2007; Wong, 1993), y un segundo bloque eran símbolos con relieve plano, con lo que se acentuaba el contraste formal al tacto entre símbolos y se facilitaba la correcta discriminación. Hecho, este último, que no se contemplaba en la Leyenda 1, la cual presentaba todos los símbolos del mismo carácter, es decir, en relieve plano o casi plano y que, como se ha demostrado en el experimento, produce más errores en los participantes, pues, entre otros aspectos, no pueden emplear la estrategia de agrupar los símbolos por formas para facilitar la memorización debido a que existe menos matices volumétricos de diferenciación y, por lo tanto, de discriminación.

Además, se debe observar que los datos indican que el grupo más beneficiado según su deficiencia visual han sido, sorprendentemente y por su mayor reducción porcentual de errores, los usuarios videntes. Hecho que podría deberse a que éstos emplean también la memoria visual, además de la háptica, para la memorización de las formas al tacto.

En el caso de la experiencia previa con estos dispositivos, como cabía esperar, los usuarios expertos, es decir, aquellos que emplean más a menudo la memoria háptica por su mayor relación con los gráficos tangibles, son los que más se han beneficiado del uso de la Leyenda 2, por su mayor reducción porcentual de errores.

Ahora bien se ha de señalar también que estos datos, los referentes a la tipología de usuarios y su experiencia, no tienen significancia estadística. Aunque el porcentaje reducción de ambos casos en los grupos más beneficiados, 78% en los videntes y 67% en los participantes expertos, hace pensar que, con una muestra más amplia, podrían detectarse ciertas diferencias significativas. Hecho que debería probarse en futuros experimentos.

## **V. Conclusions**

Los datos del Experimento 2 indican que se produce una mejora en la discriminación de símbolos táctiles cuando se emplea la memoria háptica para recordar el orden de un grupo de 8 símbolos en una

leyenda, si en ésta se introducen símbolos volumétricos y éstos se distribuyen bajo un criterio que los organice en grupos diferenciados por su contraste de forma y altura.

Así, empleando símbolos táctiles es posible que un Mobilty Instructor pueda optar a seleccionar también símbolos tridimensionales además de los actuales, si el proceso de producción y el propósito del mapa se lo permite. El uso combinado de estos símbolos con el set de symbols actual mejora el proceso de memorización porque, entre otros aspectos, es más fácil memorizar elementos claramente diferentes que similares. El propio acto de memorizar implica discriminar correctamente el elemento a recordar.

En este sentido, mediante la inclusión de símbolos volumétricos en una leyenda se acentúa el contraste formal y se diferencia con más facilidad los símbolos al tacto, al emplear una categoría más de elementos morfológicos de diseño, los volumétricos (Ching, 2007; Wong, 1993), sobre los tres que cita la literatura (puntuales, lineales y planos) (Trevelyan, 1980; Edman, 1992; Bentzen & Marston, 2010).

En otro orden de cosas, parece confirmarse que no existen diferencias entre los distintos tipos de usuarios y su experiencia previa con los dispositivos táctiles, a falta de profundizar en esta línea de investigación con nuevos experimentos.

Además, cabe hablar de las posibilidades que quedan por abrir con el empleo de técnicas y tecnologías CAD en 3D y Producción en Prototipado Rápido dentro del ámbito de los planos táctiles. Como se aprecia en este estudio y en otros anteriores (Gual et al., 2012; Puyuelo Cazorla, Gual Ortí, Lloveras Macià & Merino Sanjuan, 2011; Gual et al., 2011), los especialistas en la materia deben extender y aprovechar las ventajas incorporadas con el desarrollo emergente del Prototipado Rápido y las facilidades del software CAD en 3D para mejorar en la medida de lo posible la integración de las personas ciegas o con deficiencia visual en la sociedad actual. Las piezas realizadas mediante Prototipado Rápido pueden servir, además de como piezas finales, como modelo de evaluación para piezas definitivas, incluso como piezas máster para termoconformado. Pueden emplearse en eventos temporales y exposiciones o también como modelos para planos o maquetas duraderas como las realizadas en colada de metal.

Por último, se hace necesario investigar el diseño de símbolos en 3D fácilmente reconocibles y memorizables al tacto. Concretar el tamaño adecuado y los requerimientos de diseño necesario para su empleo efectivo.

## VI. References

- Bentzen, B. L. & Marston, J. R. (2010). Teaching the use of orientation aids for orientation and mobility. In W. R. Wiener, R. L. Welsh, & B. B. Blasch (Eds.), *Foundations of orientation and mobility* (Third ed.). (pp. 315-51). New York: American Foundation for the Blind.
- Celani, G. C. & Milan, L. F. M. (2007). Tactile scale models: Three-dimensional info graphics for space orientation of the blind and visually impaired. In *Virtual and rapid manufacturing: Advanced research in virtual and rapid prototyping*. (pp. 801-5). London, UK: Taylor & Francis Group.
- Ching, F. (2007). *Architecture--form, space, and order*. Wiley.
- Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2003). *Rapid prototyping: Principles and applications*. New Jersey: World Scientific.
- Edman, P. (1992). *Tactile graphics*. New York: American Foundation for the Blind.
- Gallace, A. & Spence, C. (2011). To what extent do gestalt grouping principles influence tactile perception? *Psychological Bulletin*, 137(4), 538.
- Gardiner, A. & Perkins, C. (2002). Best practice guidelines for the design, production and presentation of vacuum formed tactile maps. *Tactile Diagrams Maps and Pictures Conference*.
- Gual, J., Puyuelo, M., & Lloveras, J. (2011). *Three-dimensional tactile symbols relief maps for the visually impaired*. Delft, The Netherlands: Diversity and Unity. Proceedings of IASDR 2011, the 4th World Conference on Design Research, October 31 - November 4, 2011 (Doctoral Colloquium). International Association of Societies of Design Research (IASDR) and Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering.
- Gual, J., Puyuelo, M., & Lloveras, J. (2012). Analysis of volumetric tactile symbols produced with 3D printing. In *ACHI 2012, the fifth international conference on Advances in Computer-Human Interactions*.
- Gual, J., Puyuelo, M., Lloveras, J., & Merino, L. (2012). Visual impairment and urban orientation. Pilot study with tactile maps produced through 3D printing. *Psychology: Ambient-Bilingual Journal of Environmental Psychology*, 3(2), 239-250.
- Nadel, L. & Piattelli-Palmarini, M. (2003). What is cognitive science. *Encyclopedia of Cognitive Science* (Nadel L, Ed), Xiii--xli. London: Macmillan.
- Preiser; forew by Robert Ivy, F. W. F. (2003). *Universal design handbook*. New York [etc.]: McGraw-Hill.
- Puyuelo Cazorla, M., Gual Ortí, J., Lloveras Macià, J., & Merino Sanjuan, L. (2011). Planos táctiles y orientación urbana: Una experiencia con discapitados visuales en un recorrido por ciutat vella, en Barcelona.
- Rowell, J. & Ungar, S. (2003). The world of touch: An international survey of tactile maps. Part 2: Design. *British Journal of Visual Impairment*, 21(3), 105-110.
- Rowell, J. & Ungar, S. (2003). The world of touch: An international survey of tactile maps. Part 1: Production. *British Journal of Visual Impairment*, 21(3), 98-104.
- Rowell, J. & Ungar, S. (2005). Feeling our way: Tactile map user requirements--a survey. In *International cartographic conference, la coruna*.
- Skawinski, W. J., Busanic, T. J., Ofsievich, A. D., Luzhkov, V. B., Venanzi, C. A., & Venanzi, T. J. (1994). The use of laser stereolithography to produce three-dimensional tactile molecular models for blind and visually impaired scientists and students. *Journal of Information Technology and Disabilities*, 1(4).
- Todorovic, D. (2008). Gestalt principles. *Scholarpedia*, 3(12), 5345.
- Trevelyan, S. (1980). *Development and assessment of a tactile mobility map for the visually impaired [microform]*. National Library of Canada.
- Vo\vzenílek, V., Kozáková, M., \vSt'ávová, Z., Ludíková, L., R\uuu\vzi\vcková, V., & Finková, D. (2009). 3D printing technology in tactile maps compiling. In *24th international cartographic conference*.

- Voigt, A. & Martens, B. (2006). Development of 3D tactile models for the partially sighted to facilitate spatial orientation. In Bruselas: 24th eCAADe Conference (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe), Bruselas.
- Wong, W. (1993). *Principles of form and design*. Wiley.
- Zhang, G., Richardson, M., Surana, R., Dwornik, S., & Schmidt, W. (1996). Development of a rapid prototyping system for tactile graphics production. In *Proceedings of the flexible automation and intelligent manufacturing conference, georgia*.