

GRAFICOS TANGIBLES Y ORIENTACION EN EL INVIDENTE

Julio LILLO JOVER

Departamento de Psicología Básica, Facultad de Psicología, Universidad Complutense de Madrid

Tras considerar los gráficos tangibles como un instrumento útil en la comunicación orientación espacial-orientación geográfica, se analizan (1) las posibilidades informativas de las distintas fuentes sensoriales disponibles al invidente (baja visión, fuentes sonoras, ecolocalización y sombras acústicas, percepción háptica) en el control directo de su movilidad;(2) los factores a considerar en el diseño y manejo de los gráficos tangibles y (3) las capacidades cognitivas implicadas en la comprensión de las relaciones espaciales presentes en los mapas y en el espacio que representan.

Palabras clave: Graficos tangibles; Ceguera; Orientación; Movilidad.

Tactual maps, blindness and orientation. After considering the tangible graphics as a useful tool in the communication between spatial and geographic orientation, this paper analyses: 1) the informative possibilities of the different sensory sources available to blind people (low vision, sonority sources, echolocalization and acoustic shadows, haptic perception, etc) in the direct control of ther mobility; 2) the factors that should be taken into account in the design and use of tangible graphics; and 3) the cognitive capacities involved in the comprehension of the spatial relationships represented in the maps and those that are present in the real world.

Key words: Tangible graphics; Blindness; Orientation; Mobility

El control de la movilidad de la especie humana esta mediado por dos factores: (1) La información recibida al tiempo que nos desplazamos (que nos indica nuestra posición respecto al entorno inmediato, la proximidad de las superficies que lo componen y las posibilidades de colisionar con éstas) y (2) la información almacenada en nuestra memoria sobre las superficies de las que no recibimos estimulación en un momento dado (que nos sirve para determinar

nuestra posición respecto a entornos lejanos, las relaciones entre ellos y las distintas formas de alcanzarlos). Siguiendo a Brambring (1985) denominaremos con el término de orientación espacial a la conseguida valiendonos del primero de los factores mencionados y reservaremos el de orientación geográfica para aquella en la que el factor relevante es el segundo.

El control de la movilidad se caracteriza por tener un alto grado de flexibilidad en su funcionamiento, siendo su aparición

en los sujetos invidentes una de las pruebas más tangibles al respecto. Efectivamente, como ha señalado Stellow (1985), aunque en condiciones normales la movilidad dependa en forma decisiva de la información proporcionada por la visión (Gibson, 1979; Warren y Wertheim, 1990), también puede darse de forma efectiva en aquellos sujetos que carecen de ella, gracias al uso inteligente de fuentes estímulares normalmente infrautilizadas en los videntes y, también, al empleo de ciertos materiales diseñados para facilitar la comprensión espacial en el invidente. Dentro de esta categoría se encontrarían los gráficos tangibles de los que se ocupa esta revisión.

Tres son los factores a considerar cuando se diseña adecuadamente un gráfico tangible: (1) La información que ha de contener. (2) La forma en que ha de presentarla y (3) las capacidades que permiten utilizarla.

(1) A la hora de confeccionar un gráfico tangible suele recomendarse (p.ej. Benzen, 1982) una inspección personal del área que se va a representar. La finalidad de tal inspección es la de acceder a fuentes informativas que no aparecen contenidas en los planos de los videntes y que, sin embargo, pueden ser esenciales en la movilidad del ciego. Por ejemplo, claves acústicas sostenidas (el ruido de una fábrica), variaciones en la textura del suelo, olores, etc.

(2) Aunque algunas veces pueda considerarse a la información espacial táctil como semejante a la proporcionada por una visión borrosa (Loomis, 1982; Loomis y Lederman, 1986); la idiosincrasia funcional háptica sugiere formas de presentar la información que nunca utilizaríamos en los gráficos visuales. Por ejemplo, una de las formas más efectivas de incrementar la discriminabilidad entre los distintos tipos de símbolos utilizados en un gráfico (puntos, li-

neas, texturas) es presentándolos con elevaciones diferentes (Nolan y Moris, 1971).

(3) Por muy adecuada que sea la información seleccionada y aunque se presente en la forma más óptima, puede no ser de ninguna utilidad a no ser que el invidente posea los recursos cognitivos que le permitan interpretarla. Esto es, de nada servirá un mapa háptico si no permite una buena interacción entre la información relacionada con la orientación espacial y la geográfica. Por ejemplo, el invidente tiene que saber a que corresponden en el exterior (una calle) los elementos presentes en el gráfico (un par de líneas paralelas) y como sus desplazamientos afectan a su ubicación relativa tanto en el plano como en la realidad (Rieser et al, 1986).

Antes de abordar en detalle cada uno de estos tres factores parece conveniente diferenciar a los gráficos tangibles empleados en movilidad de otros materiales que, aún relacionados con ellos, presentan peculiaridades ajenas a los intereses de esta revisión.

Aunque se basen en el uso de contornos en relieve y deban, por tanto, incluirse dentro de la categoría de los gráficos tangibles, los "dibujos hápticos" (Lillo, 1991 b; Kennedy, 1982) forman, dentro de ella, un subgrupo con características especiales. Efectivamente, a diferencia de otros materiales, los dibujos hápticos sólo pueden valerse de elevaciones en relieve de altura constante para suministrar información. Son incapaces, por tanto, de utilizar las variaciones en textura o elevación que tan útiles son en algunos gráficos relacionados con la movilidad. Por otra parte, el hecho de que puedan confeccionarse rápidamente y por los mismos invidentes los convierten en un auxiliar importante cuando se desea confeccionar planos sencillos o, incluso, introducir al invidente en ciertos conceptos espaciales (Heller y Kennedy, 1990).

Para terminar, el empleo más frecuente de los gráficos tangibles es, junto al relacionado con el control de la movilidad, el de reproducir para el invidente los gráficos y diagramas de los textos técnicos (Schiff, 1982; Lederman y Campbell, 1983). Como es lógico, la presentación de este tipo de información tiene sus propias peculiaridades, pero su estudio esta fuera de los intereses de esta revisión.

FUENTES DE ORIENTACION ESPACIAL

Información Visual

El primer canal sensorial a partir del cual pueden obtener información espacial los sujetos considerados legalmente como ciegos es, sorprendentemente, la visión. La causa de ello radica en que la definición legal de ceguera no exige, ni en nuestro país ni fuera de él. (Herranz y Rodríguez, 1989; Goldstein, 1984; cap 6) la pérdida completa de la visión. Concretamente, si excluimos a aquellos sujetos totalmente carentes de visión y a los que sólo tienen visión de luz (capacidad para discriminar si el ambiente esta iluminado o no), aún quedan en el grupo de ciegos un elevado número de personas con visión aprovechable (Barraga, 1970; Dodds y Davis, 1989), a las que suele denominarse con el término de "ambliopes".

El principal problema planteado por los ambliopes es el de su gran heterogeneidad. Así, en este grupo se incluyen desde personas que tienen la misma agudeza visual que los videntes, aunque con un campo visual muy restringido; hasta otros que pueden presentar una sintomatología opuesta. Por ello, lo primero a determinar es que aspectos de la información visual son importantes en el control de la movilidad y, partiendo de tal información, establecer cuales son las características individuales que facilitan su uso.

Gracias a los pioneros estudios de Gibson (1950, 1958) y a los posteriores trabajos de otros investigadores (Lee, 1980; Warren; 1990; et al, 1988; Koenderink, 1990; Stroffregen, 1985), sabemos que el flujo óptico producido por los desplazamientos de un observador contiene información tanto para especificar hacia donde se dirige el sujeto en movimiento, como para evitar colisiones en el desplazamiento. Más importante respecto a nuestros intereses, el uso de tal información se ve facilitado por la disponibilidad de grandes porciones de la retina, es más eficaz en la periferia retiniana, y no precisa de una alta agudeza visual. Por todo lo dicho, y como ya ha podido comprobarse (Dodds y Davis, 1989), puede utilizarse con más eficacia por los sujetos que sufren degeneración macular pero conservan funcional una buena porción de su retina. En síntesis, un número importante de los sujetos considerados legalmente como ciegos tienen capacidad para usar información visual a la hora de controlar su movilidad.

La existencia de importantes restos visuales en los ambliopes no sólo tiene importancia respecto a la información que pueden utilizar durante sus desplazamientos, sino también sobre las propias características de los gráficos que pueden emplear. En primer lugar, y empleando las ayudas ópticas adecuadas (Apple et al, 1980), un cierto porcentaje de ellos pueden valerse de los mismos planos y gráficos que los videntes. En segundo lugar, incluso cuando lo limitado de sus recursos visuales obligue al empleo de gráficos tangibles, estos deben incluir información impresa (p.ej. colores contrastados para áreas relativamente grandes) que puede ser útil para complementar a la háptica. En tercer y último lugar, aún para aquellos carentes de visión funcional la presencia de información visible facilitará la interacción y el transvase de información con los videntes.

Información auditiva

El sistema auditivo humano esta capacitado para localizar la ubicación de las fuentes auditivas en los tres ejes espaciales (Middlebrooks y Green, 1991). Esto es, tanto para conocer su lateralización y altura (Butler et al, 1990) como, contra lo que hasta hace poco se creía, para hacer lo propio respecto a la distancia (Ashmead et al, 1990). Tales capacidades, sin duda, tienen que ver con el uso por parte de los invidentes de la información auditiva en la regulación de la movilidad en entornos con ruido de tráfico (Guth et al, 1989). Por otra parte, la percepción auditiva tiene el inconveniente de requerir la existencia de vibraciones en las superficies, por lo que el oído no suele proporcionar información sobre las superficies estáticas.

Hay dos notables excepciones a la afirmación que acabamos de efectuar y que, además, son especialmente relevantes para comprender las posibilidades del oído en el control cotidiano de la movilidad: La ecolocalización y las sombras acústicas.

Se conoce con el término de ecolocalización a la utilización del sonido reflejado ("eco") para localizar la posición de las superficies que rodean al oyente. Aunque esta capacidad ha adquirido el máximo de su desarrollo en los murciélagos (Lee, 1990), y es el principal fundamento perceptivo de su movilidad, también se da modestamente en la especie humana (Wiener, 1980; Strelow y Brabyn, 1982; Ashmead et al, 1989).

¿Que aspectos de la ecolocalización debemos conocer para comprender mejor su uso en el invidente?. En primer lugar que el sonido producido por sus propios pasos contiene las altas frecuencias ("agudos") precisas para hacerla posible (Cotzin y Dallenbach, 1950), siempre y cuando se utilice un calzado adecuado (suelas duras) y no se camine sobre superficies que impidan/dificulten la generación de sonido (p.ej. en

suelo de moqueta). En segundo lugar, que las limitaciones en la sensibilidad acústica de la especie humana, concretamente el que nuestro rango de frecuencias audibles se ubique entre 15 Hz y 20 KHz (Scharf y Buus, 1986), restringen el rango de objetos detectables a los que poseen dimensiones relativamente amplias y/o se encuentran en posiciones no muy lejanas (Kellogg; 1962), por lo que la ecolocalización no permite evitar objetos de pequeño tamaño ni caminar deprisa. En tercer lugar, que esta capacidad puede beneficiarse del entrenamiento (Worchel y Mauney, 1950; Rice, 1967). En cuarto y último lugar, que al basarse en el sonido reflejado y, por ello, de intensidad reducida, será fácil de enmascarar en ambientes ruidosos.

La ecolocalización se ve ayudada por la presencia de sombras acústicas en su función de localizar superficies carentes de vibración. Esto es, la presencia de un objeto relativamente grande, además de reflejar el sonido de los pasos del invidente (ecolocalización), disminuye la intensidad con que alcanzan sus oídos otros sonidos. En forma inversa, la presencia de una apertura en una superficie continua produciría una intensificación del sonido en sus proximidades (Strelow, 1985).

Resumiendo, tanto el sonido que procede directamente de una fuente sonora como el previamente reflejado por otras superficies, pueden servir para localizar la presencia de distintos objetos y para proporcionar un cierto control de la movilidad.

Información háptica

El tacto puede proporcionar información sobre las propiedades espaciales de las superficies a partir de dos fuentes informativas. La primera, especialmente útil para superficies relativamente pequeñas, es la magnitud y forma de la deformación de la

piel que se produce al entrar en contacto con alguna superficie. La segunda, más importante respecto a la movilidad, es la información cinestésica proporcionada por los receptores de músculos y articulaciones (Clark y Horch, 1986).

Además de jugar un papel importante en el reconocimiento táctil (vease Lillo, 1991 a), las deformaciones dérmicas producidas en la parte de nuestro cuerpo en contacto con la superficie que nos sirve de apoyo (Gibson, 1966), nos informan sobre sus características (inclinación, dureza, textura, etc). Por otra parte, el componente cinestésico del sistema háptico, al dar cuenta de la posición de las distintas partes de nuestro cuerpo, del movimiento relativo entre ellas y del esfuerzo preciso para desplazarnos (Clark y Horch, 1986); proporciona también una información indirecta sobre la magnitud y dirección de nuestros desplazamientos. Tal información, desgraciadamente, parece muy proclive a producir distorsiones perceptivas.

Las investigaciones realizadas por Lederman y colaboradores (1985; 1987) proporcionan un buen ejemplo del tipo de distorsiones mencionadas y de las causas de su aparición. En estos trabajos se evaluó la magnitud de la distancia percibida entre dos puntos tras realizar un movimiento desde uno hasta el otro. En algunos casos la distancia recorrida fué la más corta posible entre ambos (distancia euclidiana). En otros fué considerablemente mayor al seguirse un curso de desplazamiento zigzageante y lleno de cambios de dirección. El sorprendente resultado obtenido fue que la magnitud del movimiento realizado influyó en la distancia percibida, de forma tal que el incremento en la primera produjo aumentos en la segunda. Tal efecto se produjo tanto para desplazamientos realizados a pie (Lederman et al, 1987; exp. 2) como para movimientos cortos realizados con la mano (Lederman et al, 1985; 1987 exp.1).

¿Cuáles son las causas del fenómeno que acabamos de comentar?. En opinión de sus propios descubridores, el excesivo peso que la codificación espacial táctil se ve obligada a otorgar a la secuenciación de movimientos. Esto es, puesto que generalmente el tacto no puede, como la visión, abarcar simultáneamente la posición de dos objetos, debe basarse en la realización de una serie secuencial de movimientos para, integrándolos en memoria, obtener información sobre la distancia que separa a los dos puntos. Siguiendo esta línea de pensamiento es razonable pensar que el exceso de movimientos producido al seguir un curso sinuoso ha de producir necesariamente una inflación en la distancia percibida entre los puntos. ¿Se produciría el efecto a nivel visual si este sistema se viese obligado a trabajar en condiciones similares a las del tacto?. Los datos de una reciente investigación (Balakrishnan et al, 1989) permiten dar una respuesta positiva al respecto aunque, conviene indicarlo, la magnitud del efecto logrado fué considerablemente inferior a la usual.

Además de por el carácter secuencial de la información relacionada con los movimientos manuales, el sistema háptico se ve constreñido por un segundo factor en su capacidad para transmitir información espacial: lo limitado de su agudeza. Incluso cuando se emplea la zona de mayor resolución táctil, incluso cuando se emplean las yemas de los dedos (Weinstein, 1968), la capacidad del tacto para apreciar pequeños detalles es baja respecto a la visión. Tanto es así que su efectividad puede equipararse a la de un sistema visual que tuviera que funcionar con imágenes borrosas o, dicho en términos más técnicos, con imágenes en las que se hubiesen eliminado las altas frecuencias espaciales (Loomis, 1982; Loomis y Lederman, 1986).

Trabajar sólo con bajas frecuencias, valerse de una imagen "borrosa", obliga a

utilizar contornos relativamente gruesos y a incrementar las distancias entre ellos. Siguiendo esta línea podría pensarse que la principal dificultad en la confección de gráficos tangibles sería la de obligarnos a utilizar mayores dimensiones que las de sus equivalentes en tinta. Desgraciadamente, el mismo incremento de tamaño que reduce las dificultades asociadas a la baja agudeza espacial táctil, sirve para incrementar la secuencia de movimientos precisos para explorar las distintas partes de un gráfico y, por tanto, las dificultades para obtener una impresión global. Como se ha indicado repetidamente (Nolan y Moris, 1971; Bentzen, 1980; Berlá, 1982), la construcción de cualquier mapa táctil siempre implicará un punto de equilibrio entre la tendencia a utilizar dimensiones pequeñas que limiten la dependencia del procesamiento cinestesico, y la tendencia a utilizar dimensiones grandes que permitan emplear contornos adecuados. En gran medida, como veremos en el próximo apartado, la solución de este problema se basará en la reducción del monto informativo proporcionado por los gráficos.

LOS GRAFICOS TANGIBLES COMO FUENTES DE INFORMACION

¿Por qué utilizar gráficos tangibles?

Hemos visto que los gráficos tangibles no pueden ser una mera transposición háptica de los lineales, que requieren una evaluación personal del espacio a representar (para incluir en ellos referencias a claves auditivas, de textura, etc), que precisan la resolución del problema planteado por su tamaño y que, añadimos ahora, se dirigen a una población de poca actividad deambulatoria fuera de las rutas que les son familiares (James, 1982). Dado este cúmulo de circunstancias, ¿tiene algún sentido confeccionarlos?. ¿No existen acaso otras alternativas

capaces de alcanzar el mismo nivel de efectividad con un menor esfuerzo?. El clásico estudio de Leonard y Newman (1970) nos servirá como punto de partida para responder a esta pregunta.

Los cuatro grupos de sujetos empleados por Leonard y Newman debían recorrer una ruta desconocida para ellos, difiriendo en el procedimiento empleado para informarse sobre ella. El primero de los grupos sólo tuvo acceso a la descripción verbal de la ruta, debiendo memorizarla antes de recorrerla. Los tres grupos restantes, por el contrario, pudieron utilizar durante el recorrido un tipo distinto de "mapa". En un caso se trató de un gráfico tangible. En otro de una cinta grabada con descripciones e instrucciones sobre lo que se iban a encontrar en ruta y los movimientos a seguir. En el último se empleó un disco dividido en sectores que contenían información escrita en braille sobre las acciones a efectuar en cada intersección.

Los tres grupos con "mapa" lograron niveles de ejecución semejantes entre sí y superiores al mostrado por el que careció de él. Quedo clara, por tanto, la conveniencia de utilizar ayuda en ruta y, también, la existencia de varias alternativas al respecto. ¿Hay alguna razón para preferir entre ellas a los gráficos tangibles?. En principio la primera impresión es negativa, puesto que aprender a utilizar un mapa táctil requiere desarrollar más habilidades que escuchar una cinta o leer letras en braille. Por tanto, si los mapas táctiles sólo sirvieran para desplazarse a través de rutas prefijadas, sería preferible usar cualquiera de sus alternativas. Sin embargo, son muchas las razones que hacen a los gráficos tangibles la mejor elección posible en múltiples situaciones. Siguiendo fundamentalmente a Benzen (1980;1982) señalaremos los siguientes: (1) Es el propio usuario el que puede determinar el ritmo en la adquisición de la información y el orden en el que puede atenderse a

los distintos aspectos de lo representado. (2) Al transmitir mucha más información que la directamente implicada en el seguimiento de una ruta, permiten el descubrimiento de rutas alternativas y el conocimiento general sobre el área en la que se producen los desplazamientos. (3) Facilitan la comunicación entre el estudiante de movilidad y su instructor cuando aquel tiene problemas de expresión o comprensión verbal. (4) Permiten simular un gran número de problemas relacionados con la movilidad en una situación segura y confortable. Por ello, facilitan su comprensión y solución.

Todo lo dicho, junto al hecho empírico de que los gráficos tangibles han permitido controlar la movilidad en entornos tan distintos como las estaciones de metro, los campus universitarios o los centros comerciales (James, 1982), aboga por la utilidad de este tipo de material. Estudiemos ahora cómo optimizar su diseño.

¿Que información deben contener los gráficos tangibles?

La pregunta formulada puede contestarse de una manera bastante escueta con un "sólo la que sea absolutamente necesaria". La razón principal de tal afirmación tiene que ver con las limitaciones de la agudeza táctil que comentamos en el apartado 1.3. Esto es, puesto que intentar reproducir una densidad de contornos similar a la empleada por los gráficos en tinta implicaría su fusión perceptiva y, por tanto, su desaparición como elementos informativos; una eliminación de contornos informativamente irrelevantes facilitaría la utilización de aquellos que no lo son.

¿Cómo decidir lo que es importante?. ¿No puede suceder que algo sea importante en ciertas ocasiones pero no en otras?. Si así fuera, ¿cómo podríamos disponer de tal información sin que se deteriorase la extracción de lo que es más relevante?. La so-

lución esta en utilizar distintas elevaciones o en el empleo de simultaneo de varias superficies.

En un estudio realizado por Lederman y Campbell (1983), se utilizaron versiones gráficas de representaciones cartesianas y se analizó la mejor forma de hacer uso de su cuadrícula. Esto es, se expuso a los sujetos a gráficos que presentaban funciones curvas al tiempo que se le pedía que respondieran a una serie de preguntas referidas a su configuración (p.ej. ¿cual de estas dos curvas tiene mayor inclinación?), o a las posiciones ocupadas por las curvas (p.ej. ¿Cual es el el valor de "y" para "X" igual a seis). El principal hallazgo fué el de que la presencia de cuadrícula, al tiempo que facilitaba la rapidez y precisión de las respuestas sobre posiciones, produjo el efecto contrario en las referidas a aspectos configuracionales. Por tanto, nos encontramos en una situación en la que lo ideal sería alternar el uso y la ausencia de un cierto grupo de contornos. La forma de lograrlo, plenamente lógica desde el punto de vista del funcionamiento del tacto, sorprende a los que estamos habituados a los gráficos en tinta: el empleo simultaneo de más de una superficie tangible.

Imaginense dos superficies unidas como la tapa superior y la primera página de un libro. La superficie inferior podría contener la información más esencial; p.ej., las curvas de Lederman y Campbel; mientras que la superior podría hacer lo propio con la cuadrícula. De esta forma, cuando sólo sea necesario consultar las curvas podrán emplearse ambas manos sobre la superficie de la segunda hoja, mientras que si la tarea recomienda el uso de la cuadrícula, una de las manos puede explorarla al tiempo que la otra lo hace con la porción equivalente en la otra lámina.

Una técnica equivalente a la de usar simultaneamente dos láminas superpuestas consiste en fijar la que contiene la informa-

ción adicional en el dorso de la principal, de forma que ambas formen un cuerpo único y se facilite todavía más el hallazgo de correspondencias espaciales entre ambas. En cualquier caso, cualquiera de estos dos procedimientos permitirá un uso opcional de la información complementaria y eliminará los peligros derivados del abigarramiento de contornos (Amstrong y James, 1978; Berlá, 1982). Una forma alternativa de lograr un resultado semejante es empleando alturas diferentes en los contornos que se refieren a distintos tipos de información (Schiff, 1982).

¿Cómo deben presentar la información los gráficos tangibles?

Ya sabemos que debemos prescindir de los contornos irrelevantes y que podemos valernos de láminas adicionales a la superficie háptica principal para impedir el abigarramiento de contornos. La siguiente cuestión que nos plantearemos es la de determinar la mejor forma de presentar la información ya seleccionada.

La primera disyuntiva es entre representar los contornos mediante elevaciones en relieve o hendiduras. La elección es sencilla, puesto que las elevaciones permiten manejar la información con mayor rapidez y precisión (Nolan, 1971). Una vez seleccionada esta alternativa, podemos decidir utilizar distintos tipos de grosores para representar elementos distintos (p.ej. líneas más gruesas para los muros de las edificaciones y más finas para sus divisiones), por lo que nos interesa determinar el grado de variación precisado para que estos sean discriminables. Los datos (Berlá y Murr, 1975 a) nos indican un porcentaje próximo al 25% (el valor de la fracción de Weber no es constante). Este resultado limita el rango de diferencias utilizables aunque, como demostró el mismo estudio que acabamos de citar, el valor del umbral diferencial pueda

reducirse con el entrenamiento. Por último, debe evitarse el uso de líneas dobles (paralelas próximas entre sí) por el incremento en el tamaño del gráfico que implican y porque dificultan el seguimiento de contornos, especialmente si se mezclan con líneas simples (Berlá, 1982).

Una vez establecidas las características esenciales de los elementos básicos de nuestros gráficos (los contornos lineales en relieve de grosor variable), llega el momento de determinar como pueden combinarse los símbolos lineales con los otros tipos de símbolos presentes en los gráficos: los puntuales y los basados en el uso de texturas diferentes.

El rango de variaciones de textura utilizables en los gráficos tangibles (Lederman y Kinch, 1979; Nolan y Morris, 1971) es muy inferior al aprovechable por el tacto (Lederman, 1982; Klatzky y Lederman, 1987), debido a la dificultad para variar el material con el que se construyen los gráficos tangibles (toda su superficie suele ser del mismo material). Por otra parte, el rango disponible suele ser suficiente para diferenciar entre áreas distintas y relativamente amplias, por lo que puede usarse la textura de forma similar a como se emplea el color en los gráficos en tinta. Desgraciadamente, esta aplicación al tiempo que facilita la segregación entre partes distintas de un mapa, puede dificultar la extracción de información dentro de ellas, entre otras cosas, porque los elementos que definen la textura pueden confundirse con los distintos símbolos puntuales o dificultar la detección de sus partes (Berlá y Murr, 1975 b). Afortunadamente este problema puede evitarse utilizando elevaciones de magnitud diferente para los distintos tipos de símbolos, de forma que la textura se presente con la menor elevación utilizada, se use la siguiente para los contornos lineales, y se reserve la máxima para los símbolos puntuales (Nolan y Norris, 1971).

Para terminar este apartado quisieramos hacer un breve comentario sobre la escala empleada en los gráficos tangibles destinados a movilidad. No hace falta indicar que, al referirse a espacios relativamente pequeños (una porción de una ciudad, un campus universitario, un edificio, etc) ha de ser relativamente baja. Más importante, aunque debe intentarse mantenerla constante en todo el gráfico, hay frecuentes motivos que justifican pequeñas rupturas de esta norma y que no afectan a su efectividad (Kidwell y Gerr, 1973): necesidad de espacio para rotular en braille; conveniencia de incrementar la separación entre dos símbolos y aumentar así su discriminabilidad; uso de contornos anchos que faciliten su seguimiento con el dedo (Berlá y Butterfield, 1977 a), conveniencia de enfatizar la existencia de simetrías o paralelismos (que facilitarán el recuerdo e integración de las distintas partes del mapa; Bentzen 1980), etc.

¿Cómo deben explorarse los gráficos tangibles?

Si bien es cierto que en todos los sistemas perceptivos se da una relación de dependencia entre la información extraída y el papel activo jugado por el perceptor, esta se incrementa en el caso del tacto. Al fin y al cabo, es siempre más fácil dejar de efectuar un movimiento que no atender a un mensaje sonoro. Por ello, no debe resultar sorprendente que la realización de los movimientos manuales adecuados sea decisiva en el buen funcionamiento de la casi totalidad de las actividades mediadas por el tacto, contándose entre ellas el reconocimiento de objetos (Lillo, 1991 a; Lederman y Klatzky, 1990); la lectura braille (Bertelson et al, 1985) y, como no, la utilización de gráficos tangibles (Berlá, 1982).

El programa investigador desarrollado por Berlá y sus colaboradores durante la década de los 70 partió de contrastar el bajo

nivel de las habilidades hápticas en los niños ciegos (Nolan y Morris, 1971; Berla y Butterfield, 1977 b) con los altos niveles presentes en algunos adultos (Berlá, 1972); relacionando estas diferencias con las también existentes en el plano de los movimientos manuales. Las diferencias encontradas permitieron establecer dos factores diferenciadores entre los buenos y malos exploradores y, por tanto, diseñar programas de entrenamiento compensatorio.

(FACTOR 1) Localización de elementos-Información general. Un buen explorador debe desarrollar una estrategia que le permita examinar, de una manera sistemática y rápida, la máxima porción de la superficie estimular, y así obtener una buena información inicial sobre la densidad con la que se presentan los símbolos, la forma en que están relacionados, y las partes principales del mapa.

Los buenos exploradores adultos (Berlá, 1972) fueron sistemáticos en sus movimientos manuales de exploración, pudiendo definirse sus estrategias como horizontales (movimientos de izquierda a derecha o viceversa) o verticales (de arriba a abajo o viceversa). Posteriores investigaciones (Berlá, 1973; Berla y Murr, 1974) mostraron que tales estrategias podían ser enseñadas a los niños ciegos y lograr una considerable mejora en sus resultados, especialmente cuando emplearon la estrategia vertical.

Son varios los motivos que justifican la superioridad de la estrategia vertical. En primer lugar, durante ella se emplean 3 dedos de cada mano (índice, corazón y anular), que actúan sobre partes distintas de la superficie estimular. Por contra, durante la realización de cualquiera de las versiones de la estrategia horizontal, los distintos dedos de cada mano siguen al índice en su recorrido y sólo proporcionan información redundante. En segundo lugar, la ejecución de movimientos laterales lleva aparejado,

además del deseado componente horizontal, un componente vertical que hace que el movimiento siga una trayectoria en arco. Este hecho se debe a que se tiende a pivotar el movimiento en los codos, lo que hace que se dejen sin explorar algunas zonas, al tiempo que otras se inspeccionan en más de una ocasión.

(FACTOR 2) Identificación-Reconocimiento de elementos. Una vez localizado un símbolo y relacionada su posición con el resto del mapa, suele ser necesaria una exploración sistemática que permita identificar sus distintas características y, por tanto, reconocer adecuadamente su identidad.

El primer paso en la investigación relacionada con este factor, fué el de comparar las conductas de los buenos y malos identificadores en una tarea que requeriría la exploración de formas en relieve (Berlá, Butterfield y Murr, 1976). Los resultados mostraron que los primeros fueron mucho más sistemáticos y exhaustivos en sus exploraciones, empleando para ello ambos dedos índices (el uso de dedos de manos diferentes facilita el procesamiento háptico, Craig, 1985) y deteniéndose para efectuar una inspección detallada cuando encontraban una característica distintiva.

En trabajos posteriores (Berlá y Butterfield, 1977a,b) se expuso a niños ciegos a un programa de entrenamiento en exploración que tuvo dos fases. En la primera se partía de un punto de referencia desde el que se efectuaba un seguimiento sistemático de los contornos de la forma explorada hasta regresar al punto inicial. En la segunda se introdujeron modificaciones en la forma y se les pedía a los niños que la exploraran en la misma manera en que lo habían hecho antes, pero que ahora indicaran las partes que eran diferentes (características distintivas) y que intentaran recordarlas. Al enfrentarse posteriormente a tareas de reconocimiento, los sujetos que habían recibido el entrenamiento descrito mostraron un

nivel de ejecución superior a los que carecieron de él, tanto en rapidez como en precisión. Para terminar, conviene recordar que la duración media del programa de entrenamiento en los dos estudios citados fué bastante reducida (hora y media aproximadamente), a pesar de lo cual produjo mejoras en tiempo y precisión comprendidas entre el 20 y el 40%.

FACTORES COGNITIVOS Y REPRESENTACION ESPACIAL

Al analizar la influencia de las estrategias de exploración en el uso de los gráficos tangibles, hemos empezado a ocuparnos de la influencia de los recursos del perceptor en el manejo de la información. El objetivo de la última sección de esta revisión es el profundizar en este tópico considerando dos nuevos factores: (1) Los programas de entrenamiento en el uso de los gráficos tangibles y (2) Las diferencias entre ciegos congénitos y tardíos en la elaboración de la información espacial.

Aunque esta destreza parezca similar a la mostrada por los videntes cuando utilizan gráficos en tinta, conviene indicar que en los ciegos no se da una continua exposición al material gráfico como en los videntes que viven en entornos medianamente tecnificados. Tal vez por ello, es frecuente que los invidentes requieran programas de entrenamiento en el uso de este material (Schiff, 1982). Tales programas suelen iniciarse con la representación de entornos familiares y pueden simultanearse con el entrenamiento habitual en orientación y movilidad (Bentzen, 1980). Así, si se desea introducir al invidente en los rudimentos de la representación espacial puede empezarse con una exploración del aula donde el niño recibe las clases, seguida de la correspondiente a su representación háptica (Berlá, 1974). En ésta, además de comentar la forma en que se representan los distintos elementos de

mobiliario, sus relaciones, y las que guardadas con muros y paredes; podrán indicarse desplazamientos que luego habrán de realizarse en la situación real.

Además de iniciarse con entornos familiares, los programas de entrenamiento (vease, p.ej. Bentzen, 1982 o Hill y Blash, 1980) tienen en común el hecho de introducir progresivamente las representaciones espaciales más complejas. Por ejemplo, puede empezarse con un mapa de una escala muy pequeña en el que apenas aparezcan elementos, para posteriormente pasar a una escala mayor en la que, además de poder reconocerse los elementos previos, se introduzcan aquellos que forman parte de su entorno inmediato. Este incremento progresivo en la escala utilizada tendrá, entre otras ventajas, la de que permitirá comprender cómo puede modificarse la representación de un mismo elemento en función de su escala. Cómo procedimiento alternativo, si por cualquier motivo se considerase adecuado mantener constante la escala durante el entrenamiento, pueden emplearse mapas que incorporen progresivamente más y más elementos. En cualquier caso, dadas las importantes fuentes de variación individual en el manejo de gráficos tangibles (Hampson y Daly, 1989), es importante atender a las sugerencias y dificultades concretas de cada usuario e individualizar al máximo el programa de introducción en el manejo de este material.

Si la disponibilidad del sistema visual permite el surgimiento de un marco espacial de referencia de alta flexibilidad y útil para los restantes sentidos; su ausencia ha de reflejarse en una reducción en el manejo de la información espacial. Por ello, cabría esperar encontrar diferencias entre las personas que nunca dispusieron de visión (ciegos congénitos) y aquellas que si la tuvieron (ciegos tardíos y videntes). En línea con esta predicción estarían los estudios en los que los ciegos tempranos han mostrado especiales dificultades para actualizar su re-

presentación espacial tras la realización de algun desplazamiento o rotación.

Un sencillo estudio realizado por Millar (1976) nos servirá para aclarar mejor el tipo de dificultades a las que nos referimos. En él sus participantes, ciegos y videntes, iniciaron su actividad explorando la configuración formada por un pequeño rectángulo al que se había pegado por su base una pequeña estaca de madera. La estaca presentaba una cierta inclinación que permitía indicar hacia donde apuntaba. El resultado importante se logró cuando se rotó la base rectangular y se pidió a los sujetos que indicaran la nueva dirección señalada. Los niños ciegos congénitos tuvieron muchos más problemas para hacerlo que los restantes participantes; lo que puede considerarse como evidencia de dificultades en la reactualización de la representación espacial. Esta interpretación concordaría con los resultados obtenidos de otras investigaciones en las que también se trabajó dentro del espacio manipulativo (Marmor y Zaback; 1976; Millar, 1976; Cleaves y Royal, 1979; Heller, 1989a y b). Las propias investigaciones de Millar (1975; 1981; 1985) parecen demostrar que estas dificultades derivan del excesivo peso otorgado en la memoria espacial del ciego temprano a la secuencia de movimientos empleados durante la exploración táctil, y a la utilización de la posición del propio observador como punto de referencia.

Similar interpretación puede aplicarse a una serie de trabajos (Rieser et al; 1980; Lockman et al, 1981; Fetcher, 1980; 1981 a y b) realizados en el espacio ambulatorio. En ellos se evaluaron las características de la representación mental del espacio mediante la contrucción de espacios representacionales a partir de preguntas simples sobre las distancias, ordenaciones y desplazamientos posibles en el espacio real. Las principales conclusiones obtenidas fueron las siguientes. En primer lugar, se dió una clara relación entre la adecuación de la re-

presentación mental del espacio y la capacidad del invidente para desplazarse en él. En segundo lugar, la representación mental de los ciegos tempranos estuvo más influida por las secuencias concretas de movimientos realizadas que la de ciegos congénitos y videntes.

Un curioso efecto descrito por Rieser y colaboradores (1982; 1986) servirá como colofón de este comentario sobre las diferencias en la flexibilidad de las representaciones espaciales. El procedimiento utilizado requirió que los participantes memorizaran la ubicación de una serie de objetos respecto a una posición de referencia. Con esta finalidad fueron conducidos desde ella a cada uno de los objetos un cierto número de veces y, posteriormente, se les pidió que indicasen la dirección en la que estos se encontraban. No hubo diferencias entre ciegos y videntes en esta tarea (que todos ejecutaron con gran precisión) ni cuando se les pidió que lo hicieran ocupando imaginariamente un nuevo punto de observación (tarea que todos efectuaron a muy bajo nivel). Por el contrario si hubo importantes diferencias cuando se condujo a los sujetos a un punto de referencia distinto al inicial y tuvieron que indicar las direcciones a los objetos desde este: Los ciegos congénitos mostraron niveles mucho más bajos que los tardíos y videntes. Esto es, para los dos últimos grupos la información cinestésica obtenida durante el desplazamiento al nuevo punto de observación permitió reactualizar

la representación espacial hasta el grado de lograr niveles similares a los obtenidos desde el punto original. Por el contrario, esta información no fue suficiente para que los ciegos tempranos actualizaran su representación y, por ello, sus niveles de ejecución permanecieron a un bajo nivel.

El efecto descubierto por Rieser y colaboradores en el espacio ambulatorio ha sido replicado por Hollins y Kelley (1988) en el manipulativo, con la importante salvedad de que se lograron evitar las dificultades de reactualización espacial en los ciegos congénitos sustituyendo la respuesta de señalización por otra de sustitución (consultese Hollins y Kelley para una mayor información al respecto). En esta misma línea Heller y Kennedy (1990) trabajando con dibujos hápticos han demostrado que puede confeccionarse un programa de entrenamiento capaz de permitir a los ciegos congénitos reconocer y dibujar los cambios en la perspectiva asociados a los desplazamientos aunque, conviene indicarlo, no consiga evitarse una cierta lentitud en la realización de esta tarea. En cualquier caso, la capacidad de manejo de la información espacial referida al espacio manipulativo (importante cara al propio manejo de los gráficos tangibles) y al ambulatorio (el espacio al que se refiere el mapa), parece suficiente como para permitir el uso de los gráficos tangibles. Más aún, como demostró la propia investigación de Heller y Kennedy (1980), este material puede ser una herramienta eficaz para mejorar tales representaciones.

(1) Al inicio de este artículo indicamos que la principal función de los gráficos tangibles era la de facilitar la interacción entre la orientación espacial y la geográfica; esto es, entre la información recibida en un momento dado y el marco espacial que servía de referencia a todo el desplazamiento. También indicamos que esta destreza requería relacionar los distintos elementos contenidos en el mapa con sus referentes en la realidad.

(2) El origen cronológico de la ceguera ha sido propuesto (vease, p. ej. Warren, 1984; et als, 1973) como una variable de gran importancia cara a predecir la eficacia en el uso de información espacial. La hipótesis de partida ha sido la de suponer que sólo el sistema visual es capaz de proporcionar un marco de referencia lo suficientemente flexible como para integrar y elaborar en la mejor forma posible la infor-

mación espacial procedente de los distintos sistemas perceptivos (Marks, 1978). En apoyo a esta idea podrían considerarse los estudios en los que se ha producido artificialmente una discrepancia entre la ubicación espacial espe-

cificada por distintos sentidos. En este caso, el resultado habitual (Welch, 1986) es la recalibración de los otros sentidos en la medida precisa para lograr una concordancia con la posición visual.

REFERENCIAS

- Amstrong, J.D. (1973). *The Design and Production of Maps for the Visually Handicapped*. Mobility Monograph No 1. University of Nottingham.
- Amstrong, J.D. and James, G.A. (1978). *Handbook on Mobility Maps*. Nottingham. University of Nottingham.
- Apple, M; Apple, L.E. and Blash, D. (1980). Low Visión. En R.L. Welsh y B.B. Blash (Eds). *Foundations of Orientation and Mobility*. New York. American Foundation for the Blind.
- Ashmedad, D.H; Hill, E.W. and Talor, C.R. (1989). Obstacle Perception by Congenially Blind Children. *Perception and Psychophysics*. 46. 425-433.
- Ashmead, D.H; LeRoy, D. and Odom, R.D. (1990). Perception of the Relative Distances of Nearby Sound Sources. *Perception and Psychophysics*. 47. 326-331.
- Balakrishnan, J.D; Klatzky, R.L; Loomis, J. and Lederman, S. (1989). Length Distortion of Temporally Extended Visual Displays: Similarity to Haptic Spatial Perception. *Perception and Psychophysics*. 46. 387-394.
- Barraga, N.C. (1970). *Teacher's Guide for the Development of Visual Learning Abilities and Utilization of Low Vision*. Louisville. American Printing House for the Blind.
- Bentzen, B.L. (1980). Mobility Aids. En R.L. Welsh y B.B. Blash (Eds) *Foundations of Orientation and Mobility*. New York. American Foundation for the blind.
- Bentzen, B.L. (1982). Tangible Graphic Displays in the Education of Blind Persons. En W. Schiff y E. Foulke. *Tactual Perception: A Sourcebook*. Cambridge University Press.
- Berlá, E. (1972). Behavioral Strategies and Problems in Scanning and Interpreting Tactual Displays. *The New Outlook for the Blind*. 66. 277-289.
- Berlá, E. (1973). Strategies in Scanning a Tactual Pseudomap. *Education of the Visually Handicapped*. 5. 8-19
- Berlá, E. (1974). Tactual Orientation Performance of Blind Children in Different Grade Levels. *American Foundation for the Blind Research Bulletin*. 27. 1-10
- Berlá, E. (1982). Haptic Perception of Tangible Graphic Displays. En W. Schiff y E. Foulke. *Tactual Perception: A Sourcebook*. Cambridge University Press.
- Berla, E. and Murr, M.J. (1974). Searching Tactual Space. *Education of the Visually Handicapped*. 6. 49-58.
- Berlá, E. and Murr, M.J. (1975 a). Psychophysical Function for Active Tactual Discrimination of Line Width by Blind Children. *Perception and Psychophysics*. 17. 607-612.
- Berlá, E. and Murr, M.J. (1975 b). The effects of Tactual Noise on Locating a Symbol and Tracking a Line on a Tactile Pseudomap. *Journal of Special Education*. 9. 183-189.
- Berlá, E. Butterfield, L. and Murr, M.J. (1976). Tactile Political Reading by Blind Students. A Videomatic Behavioral Analysis. *Journal of Special Education*. 10. 265-275.
- Berlá, E. and Butterfield, L. (1977 a). Tactile Political Maps: Two Experimental Designs. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. 71. 262-264.
- Berlá, E. and Butterfield, L. (1977 b). Tactual Distinctive Features Analysis: Training Blind Students in Shape Recognition and in Locating Shapes on a Map. *Journal of Special Education*. 11. 335-346.

- Bertelson, P.; Mousty, P. and D'Alimonte, G. (1985). A Study of Braille Reading: 2. Patterns of Hand Activity in One-Handed and Two-Handed Reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 37 A. 235-256.
- Brambling, M. (1985). Mobility and Orientation Processes of the Blind. En D.H. Warren y E.R. Strelow (EDS). *Electronic Spatial Sensing for the Blind*. Dordrech. Martinus Nijhoff Publishers.
- Butler, R.A.; Humanski, R.A. and Musicant, A.D. (1990). Binaural and Monoaural Localization of Sound in Two-Dimensional Space. *Perception*. 19. 241-256.
- Clark, F.J. and Horch, K.W. (1986). Kinesthesia. En B.F. Boff; L.L. Kaufman and J.P. Thomas. *Handbook of Human Perception and Performance*. Vol I. New York. John Wiley and Sons.
- Cleaves, W.T. and Royal, R.W. (1979). Spatial Memory for Configurations by Congenitally Blind, Late Blind and Sighted Adults. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. 73. 61-63
- Cotzin, M and Dallenbach, K. (1950). Facial Vision: The Role of Pitch and Loudness in the Perception of Obstacles by the Blind. *American Journal of Psychology*. 63. 330-356.
- Craig, J.C. (1985). Attending to two Fingers: Two Hands are Better than One. *Perception and Psychophysics*. 38. 496-511.
- Dodds, A.G. and Davis, D.P. (1989). Assessment and Training of Low Vision Clients for Mobility. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. Noviembre. 439-446.
- Fetcher, J.F. (1980). Spatial Representation in Blind Children. 1.:Development Compared to Sighted Children. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. 74. 381-385.
- Fetcher, J.F. (1981 a). Spatial Representation in Blind Children. 2: Effects of Tasks Variations. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. 75. 1-3.
- Fetcher, J.F. (1981 b). Spatial Representation in Blind Children. 3: Effects of Individual Differences. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. 75. 46-49.
- Gibson, J.J. (1950). *The Perception of Visual World*. Boston. Houghton Mifflin.
- Gibson, J.J. (1958). Visually Controlled Locomotion and Visual Orientation in Animals. *British Journal of Psychology*. 49. 182-194.
- Gibson, J.J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston. Houghton Mifflin.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston. Houghton Mifflin.
- Goldstein, E.B. (1984). *Sensation and Perception (2 Edition)*. Belmont. Wadsworth. (Trad. Esp. Madrid. Debate. 1988)
- Guth, D.A.; Hill, E.W. and Rieser, J.J. (1989). Tests of Blind Pedestrian Use of Traffic Sounds for Street-Crossing Alignment. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. Noviembre. 461-468.
- Hampson, P.J. and Daly, C.M. (1989). Individual Variation in Tactile Map Reading Skills: Some Guidelines for Research. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. Diciembre. 505-509.
- Heller, M.A. (1989 a). Tactile Memory in Sighted and Blind Observers: The influence of Orientation and the Rate of Presentation. *Perception*. 18. 121-133.
- Heller, M.A. (1989 b). Picture and Pattern Perception in the Sighted and the Blind: The Advantage of the Late Blind. *Perception*. 18. 379-389.
- Heller, M.A. and Kennedy, J.M. (1990). Perspective Taking, Pictures and the Blind. *Perception and Psychophysics*. 48. 459-466.
- Herranz, R. and Rodriguez, E. (1989). *Los Deficientes Visuales y su Educación en Aulas de Integración*. Madrid. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Hill, E. and Blash, B.B. (1980). Concept Development. En R.L. Welsh y B.B. Blash (Eds). *Foundations of Orientation and Mobility*. New York. American Foundation for the Blind.
- Hollins, M. and Kelley, E. (1988). Spatial Updating in Blind and Sighted People. *Perception and Psychophysics*. 43. 380-388.
- James, G.A. (1982). Mobility Maps. En W. Schiff y E. Foulke. *Tactual Perception: A Sourcebook*. Cambridge University Press.
- Kellog, W.N. (1962). Sonar System of the Blind. *Science*. 137. 399-404.

- Kennedy, J.M. (1982). Haptic Pictures. En W. Schiff y E. Foulke. *Tactual Perception: A Sourcebook*. Cambridge University Press.
- Kiddel, A.M. and Greer, P.S. (1973). *Sites, Perception and NonVisual Experience: Designing and Manufacturing Mobility Maps*. New York. American Foundation for the Blind.
- Klatzky, R.L. and Lederman, S. (1987). The Intelligent Hand. *The Psychology of Learning and Motivation*. Vol 21. 121-151.
- Koenderink, J.J. (1990). Some Theoretical Aspects of Optic Flow. En R. Warren, and A.H. Wertheim. *Perception and Control of Self-Motion*. London. Lawrence Erlbaum Associates.
- Lederman, S.J. (1982). The Perception of Texture by Touch. En W. Schiff and E. Foulke. *Tactual Perception: A Sourcebook*. Cambridge. England. Cambridge University Press.
- Lederman, S.J. and Kinch, D.H. (1979). Texture in Tactual Maps and Graphics for the Visually Handicapped. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. Junio. 217-227.
- Lederman, S.J. and Campbell, J.I. (1983). Tangible Line Graphs: An Evaluation and Some Systematic Strategies for Exploration. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. Marzo. 108-112.
- Lederman, S.J; Klatzky, R. and Barber, P. (1985). Spatial-and Movement-based Heuristics for Encoding Pattern Information through Touch. *Journal of Experimental Psychology: General*. 114. 33-49.
- Lederman, S; Klatzky, R.L. Collins, A. and Wardell, J. (1987 b). Exploring Environments by Hand or Foot: Time Based Heuristics for Encoding Distance in Movement Space. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*. 13. 606-614.
- Lederman, S. and Klatzky, R.L. (1990). Haptic Exploration and Object Representation. En M.A. Goodale (ed). *Vision and Action: The Control of Grasping*. New Yersey. Ablex Publishing Company.
- Lee, D.N. (1980). Visuo-Motor Coordination in Space-Time. En. G.E. Stelmack and J. Requin (Eds). *Tutorials in Motor Behavior*. Amsterdam. North Holland.
- Lee, D.N. (1990). Getting Around with Light or Sound. En R. Warren and A.H. Wertheim (Eds). *Perception and Control of Self-Motion*. London. Lawrence Erlbaum Associates.
- Leonard, J.A. and Newman, R.C. (1970). Three Types of "Maps" for Blind Travel. *Ergonomics*. 13. 165-179.
- Levi, J.M. and Amick, N.S. (1982). Tangible Graphics: The Louisville Workshop. En W. Schiff y E. Foulke. *Tactual Perception: A Sourcebook*. Cambridge University Press.
- Lillo, J. (1991 a). Tacto Inteligente: El Papel de las Estrategias de Exploración Manual en el Reconocimiento de Objetos Reales. (*enviado para su aceptación*)
- Lillo, J. (1991 b). Dos Mitades de un Mismo Barril: Potencialidades y Limitaciones de los Graficos Tangibles en Sujetos Ciegos. (*enviado para su aceptación*)
- Lockman, J.J; Rieser, J.J. and Pick, H.L. (1981). Assesing Blind Traveler's Knowledge of Spatial Layout. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. 75. 321-326.
- Loomis, J.M. (1982). Analisis of Tactile and Visual Confusion Matrices. *Perception and Psychophysics*. 31. 41-52.
- Loomis, J.M. and Lederman, S. (1986). Tactual Perception. En B.F. Boff; LL. Kaufman and J.P. Thomas. *Handbook of Human Perception and Performance*. Vol 1. New York. John Willey and Sons.
- Marks, L.E. (1978). Multimodal Perception. En E.C. Carterette y M.P. Friedman (Eds). *Handbook Perception*. Vol. 8. New York. Academic Press.
- Marmor, G.S. and Zaback, L.A. (1976). Mental Rotation by the Blind: Does Mental Rotation on Visual Imagery?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2. 515-521.
- Middlebrooks, J.C and Green, D.M. (1991). Sound Localization by Human Listeners. *Annual Review of Psychology*. 42. 135-159.
- Millar, S. (1975). Spatial Memory for Blind and Sighted Children. *Brithish Journal of Psychology*. 66. 449-459.
- Millar, S. (1976). Spatial Representation by the Blind and the Sigthed Children. *Journal*

- of *Experimental Child Psychology*. 21. 490-479.
- Millar, S. (1981). Self-Referent and Movement Cues in Coding Spatial Localisation by Blind and the Sighted. *Perception*. 10. 255-264.
- Millar, S. (1985). Movement Cues and Body Orientation in Recall of Locations by Blind and Sighted Children. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 37 A. 257-279.
- Nolan, C. (1971). Relative Legibility of Raised and Incised Tactual Figures. *Education of the Visually Handicapped*. 3. 33-36.
- Nolan, C. and Morris, J. (1971). *Improvement of Tactual Symbols for Blind Children: Final Report*. Louisville. American Printing House for the Blind.
- Rice, C.E. (1967). Human Eco Perception. *Science*. 155. 656-664.
- Rieser, J.J; Lockman, J.J. and Pick (1980). The Role of Visual Experience in Knowledge of Spatial Layout. *Perception and Psychophysics*. 28. 185-190.
- Rieser, J.J; Guth, D and Hill, E. (1982). Mental Processes Mediating Independent Travel: Implications for Orientation and Mobility. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. 76. 213-218.
- Rieser, J.J; Guth, D and Hill, E. (1986). Sensitivity to Perspective Structure While Walking Without Vision. *Perception*. 15. 173-188.
- Scharf, B and Buus, S. (1986). Audition I: Stimulus, Physiology, Thresholds. En B.F. Boff; LL. Kaufman and J.P. Thomas. *Handbook of Human Perception and Performance*. Vol I. New York. John Willey and Sons.
- Schiff, W. (1982). A User's View of Tangible Graphics: The Louisville Workshop. En W. Schiff y E. Foulke. *Tactual Perception: A Sourcebook*. Cambridge University Press.
- Strelow, E.R. (1985). What is Needed for a Theory of Mobility: Direct Perception and Cognitive Maps-Lessons from the Blind. *Psychological Review*. 92. 226-248.
- Strelow, E.R and Brabyn, J.A. (1982). Use of Natural Sound Cues by the Blind to Control Locomotion. *Perception*. 11. 635-640.
- Stroffregen, T.A. (1985). Flow Structure Versus Retinal Localisation in the Optical Control of Stance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 11. 554-565.
- Warren, D.H. (1984). *Blindness and Early Childhood Development*. New York. American Foundation for the Blind.
- Warren, D.H; Anooshian, L.J. and Bollinger, J.G. (1973). Early vs. Late Blindness: The Role of Early Vision in Spatial Vision. *American Foundation for the Blind Research Bulletin*. 26. 151-170.
- Warren, R. (1990). Preliminary Questions for the Study of Egomotion. En R. Warren, and A.H. Wertheim. *Perception and Control of Self-Motion*. London. Lawrence Erlbaum Associates.
- Warren, R. and Wertheim, A.H. (1990). *Perception and Control of Self-Motion*. London. Lawrence Erlbaum Associates.
- Warren, W.H; Morris, M.W. and Kalish, M. (1988). Perception of Translational Heading from Optical Flow. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 14. 646-660.
- Weinstein, S. (1968). Intensive and Extensive Aspects of Tactile Sensitivity as a Function of Body Part, Sex and Laterality. En D.R. Kenshalo (ED). *The Skin Senses*. Springfield. Charles C. Thomas.
- Welch, R.B. (1986). Adaptation of Space Interaction. En B.F. Boff; LL. Kaufman and J.P. Thomas. *Handbook of Human Perception and Performance*. Vol I. New York. John Willey and Sons.
- Wiener, W.R. (1980). Audition. En R.L. Welsh y B.B. Blash (Eds). *Foundations of Orientation and Mobility*. New York. American Foundation for the Blind.
- Worchel, P and Mauney, J. (1950). The Effect of Practice on the Perception of Obstacles by the Blind. *Journal of Experimental Psychology*. 41. 170-176.