

ESTIMACIÓN DE DISTANCIA EGOCÉNTRICA EN MOVIMIENTO: COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS PSICOFÍSICOS

EGOCENTRIC DISTANCE ESTIMATION IN MOTION: COMPARISON OF TWO PSYCHOPHYSICAL METHODS

J.E. Santillán^{*1,2}, J.F. Barraza^{1,2}, and D.A. Asaf³

¹Dpto de Luminotecnia, Luz y Visión “Herberto C. Bühler” – FACET, UNT
Av. Independencia 1800 – (4000) San Miguel de Tucumán – Argentina

²Ins. de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV) – CONICET/UNT
Av. Independencia 1800 – (4000) San Miguel de Tucumán – Argentina

³Dpto de Ingeniería Biomédica – FACET, UNT

Recibido: 28/02/18; Aceptado: 27/07/18

La percepción del espacio que nos rodea es uno de los problemas más relevantes que enfrenta nuestro cerebro en cada momento, pues esta información es vital para poder interactuar correctamente con el entorno. Existe un importante corpus de literatura acerca de la percepción de distancia en campo abierto, pero estos estudios se basan en el supuesto que la mayor parte de nuestra conducta guiada visualmente es llevada a cabo desde una posición aproximadamente estática. Sin embargo, es un hecho que nosotros y las cosas a nuestro alrededor están en continuo movimiento. El objetivo de este trabajo experimental es estudiar la influencia de la información propioceptiva en la estimación de la distancia en condiciones naturalísticas, analizando también la diferencia entre dos métodos (directo e indirecto) al recolectar los datos. Se comparan las estimaciones realizadas por los sujetos a 4 distancias (12, 18, 24 y 32 m) en dos condiciones: una estática (vel = 0 km/h) y otra en “movimiento propioceptivo” en cinta de correr (vel = 8 km/h). Cada distancia fue estimada con ambos métodos. En el método indirecto cada distancia fue estimada 5 veces, aleatorizando el orden de estimación. Participaron 15 observadores (9 hombres, 6 mujeres) de entre 20 y 27 años (Media = 25 años). Al comparar ambos métodos, los resultados muestran que en 63 % de los casos se reduce el error en la estimación con el método indirecto. En dicho método el análisis estadístico encuentra diferencias significativas debidas a la velocidad ($F(1, 480) = 91,5$; $p < 0,001$), a la distancia ($F(3, 480) = 1797,2$; $p < 0,001$) y al observador ($F(14, 480) = 49,5$; $p < 0,001$). En ambas velocidades se observaba la compresión del espacio visual frontal para todas las distancias, pero el error es menor en la condición en movimiento, notándose aquí que aunque aumente la distancia a estimar, el error absoluto se mantiene constante.

Palabras Clave: percepción de distancia, movimiento propioceptivo, psicofísica.

The perception of the space surrounding us is one of the most relevant problems that our brain faces at every moment, because this information is vital to be able to interact correctly with the environment. There is an important body of literature about distance perception in open field, but these studies are based on the assumption that most of our visually guided behavior is carried out from an approximately static position. However, it is a fact that we and the things around us are in continuous movement. The objective of this experimental work is to study the influence of proprioceptive information in the estimation of distance under naturalistic conditions, also analyzing the difference between two methods (direct and indirect) when collecting data. The estimates made by the subjects at 4 distances (12, 18, 24 and 32 m) are compared in two conditions: one static (vel = 0 km / h) and another one in “proprioceptive movement” on a treadmill (vel = 8 km / h). Each distance was estimated with both methods. In the indirect method, each distance was estimated 5 times, randomizing the estimation order. 15 observers participated (9 men, 6 women) between 20 and 27 years old (average = 25 years). When comparing both methods, the results show that in 63 % of the cases the estimation error is reduced with the indirect method. On this method, the statistical analysis finds significant differences due to the speed ($F(1, 480) = 91,5$, $p < 0,001$), distance ($F(3, 480) = 1797,2$, $p < 0,001$) and the observer ($F(14, 480) = 49,5$, $p < 0,001$). In both speeds the compression of the frontal visual space was observed for all the distances, but the error is smaller in the moving condition, noticing here that although the distance to be estimated increases, the absolute error remains constant.

Keywords: distance perception, proprioceptive-motion, psychophysics.

INTRODUCCIÓN

La percepción del espacio que nos rodea es uno de los problemas más relevantes que enfrenta nuestro cerebro en cada momento, ya que esta información es fundamental para poder sobrevivir interactuando correctamente con el medio y los elementos que se encuentran en él. De hecho la cuestión sobre la capacidad de los observadores humanos para realizar estimaciones de distancia, tanto desde su posición a un objeto como entre dos objetos externos, se encuentra presente desde las primeras investigaciones psicofísicas. En 1861 Gustav Fechner⁶ definía a la psicofísica como “una teoría exacta de las relaciones funcionalmente dependientes del cuerpo y la mente, o más generalmente, del mundo material y mental o del mundo físico y psicológico”, siendo la percepción de distancia uno de los aspectos donde dicha relación se manifiesta. Décadas de investigación han mostrado que no hay una relación lineal entre la distancia física y la percibida, existiendo una anisotropía en el espacio visual percibido.⁴ Gran parte de dicha investigación -especialmente la realizada en campo abierto (*open-field*)- ha sido realizada en condiciones estáticas o aproximadamente estática,^{3,13} lo que si bien constituye una simplificación útil para estudiar el fenómeno, se aparta del hecho de que nosotros y las cosas a nuestro alrededor están en continuo movimiento. Nuestra experiencia perceptual es moldeada por la relación entre nuestros sentidos y la percepción que tenemos del movimiento corporal, apareciendo complejas interacciones. Ya en 1875, en su monografía “Principios de la doctrina de la percepción del movimiento” (en alemán) Ernst Mach observaba que aún estando quietos, la información puramente visual podía inducir una sensación muy intensa de encontrarse en movimiento, planteando la existencia de un “sistema” ajeno a la visión que vincularía la información visual con la sensación de estarse moviendo (*self-motion*). Estudios desde el campo de la percepción visual muestran que incluso en ausencia de otro indicio de movimiento, el flujo óptico por sí mismo puede inducir una sensación ilusoria de movimiento (*vection*).⁸ Pero la influencia también puede darse en la dirección opuesta, es decir que la información propioceptiva del movimiento del cuerpo esté influyendo en la percepción visual de la distancia y el espacio.¹⁴

Es así que las diferentes fuentes de información deben integrarse en una representación cognitiva del espacio, la cual debe incorporar los datos del movimiento del cuerpo respecto al ambiente físico.¹⁰ Sin embargo, si una de esas fuentes de información no es coherente con las demás aparece un conflicto que el cerebro debe resolver “decidiendo” cuál o cuáles deberán ser re-calibradas.⁵ Una forma de estudiar esto es comparando la información visual en situación estática con aquella obtenida con la visión bajo la influencia simultánea de información de movimiento corporal, tal como ocurre en una cinta de correr:¹

mientras que el flujo óptico es nulo, la propiocepción indica que uno se está moviendo a una velocidad determinada. En general las investigaciones utilizando esta metodología han estado dirigidas sobre todo a estudiar los sesgos producidos en la percepción de velocidad⁹ y discriminación del movimiento.¹⁶

El objetivo de este trabajo experimental es estudiar la influencia de la información propioceptiva en la estimación de distancia en condiciones naturalísticas, analizando la diferencia entre dos métodos (‘directo’ e ‘indirecto’) al recolectar los datos.

MÉTODOS

Sujetos

Participaron del experimento un total de 15 personas (9 hombres, 6 mujeres), todos ajenos a los propósitos del mismo. La totalidad eran alumnos de diferentes carreras de la Universidad y aceptaron colaborar voluntariamente. La edad de los sujetos varió entre los 20 y 27 años, con una media de 25 años. Todos tenían visión normal o corregida adecuadamente y presentaban buena condición física. El protocolo experimental siguió las normativas de la Declaración de Helsinki y todos los participantes firmaron un Consentimiento Informado antes de comenzar las pruebas.

Diseño experimental

Los experimentos fueron realizados al aire libre, en un campo de 18000 m² del complejo deportivo de la Universidad, el cual era plano y completamente cubierto por césped corto. Desde el lugar donde se ubicaba el sujeto había 200 m libres de obstáculos u objetos que pudieran ser utilizados por el observador como referencias en el proceso de estimación de las distancias.

Se empleó un diseño factorial de dos métodos de estimación (‘directo’ e ‘indirecto’), cuatro distancias (12, 18, 24 y 32 m) y dos velocidades (0 km/h y 8 km/h). Cada distancia fue estimada por el observador una sola vez con el método directo y cinco veces en cada condición con el método indirecto. El orden en el cual se realizaban las estimaciones fue aleatorizada.

El sujeto debía realizar todas las estimaciones desde la plataforma de una cinta de correr Proteus MTM-5600, la cual contaba con selector digital de velocidad.

El objetivo al cual debían estimar la distancia era una estaca blanca de 1,65 m de alto con los 20 cm superiores demarcados con pintura naranja de alta visibilidad, la que se encontraba ubicada en un soporte para facilitar su movilidad por parte del asistente.

Procedimiento

Antes de comenzar cada estimación, el sujeto tenía la visión del campo obstruida por un panel de madera terciada lo que evitaba que viera al asistente ubicando el objetivo. Una vez que se le permitía observar, debía realizar la estimación con el método correspondiente. La Fig. 1 muestra la disposición de los elementos.

* jsantillan@herrera.unt.edu.ar

En el método ‘directo’ de estimación (referido también como “estimación verbal” en la literatura¹²) el sujeto debía manifestar a viva voz cuál era la distancia en metros a la que él juzgaba que se encontraba la estaca (d_1). Esto se realizaba una sola vez con cada distancia debido a que experiencias previas demostraron que el observador recordaba las distancias y una vez efectuada una estimación, era propenso a repetir siempre la misma apreciación. Sin embargo tendía a considerar como distintas las situaciones ‘estática’ y ‘corriendo’, por lo que en este caso podía emitir juicios de distancia diferenciados.

En el método ‘indirecto’ (o de “indicación de distancia en el plano frontoparalelo”) el asistente se ubicaba próximo al objetivo. En el brazo del lado del sujeto tenía un brazaletes con un listón del mismo tamaño y color de alta visibilidad que el objetivo. Caminaba desde ahí y en forma paralela al plano frontal hasta que el sujeto considerara que la distancia caminada (d_2) era igual a la distancia egocéntrica de él a la estaca (d_1). En ese momento debía decir “¡alto!”. El asistente entonces marcaba su posición (considerando el plano medio de su cuerpo) en el suelo utilizando un pin codificado el cual no podía ser visto desde la posición del sujeto (indicado por una X en la Fig.1). La dirección hacia la cual debía caminar (izquierda o derecha) era aleatoria y establecida previamente. El sujeto era instruido a focalizar su atención en las partes con la pintura de alta visibilidad, tratando de minimizar la presencia del asistente u otros elementos en el campo visual.

Adaptación a la cinta de correr

En la fase realizada corriendo (o “movimiento propioceptivo” pues el flujo óptico indica que la velocidad hacia adelante es nula), los sujetos debían adaptarse al movimiento en la cinta. Para ello se ajustaba la velocidad a 8 km/h (2,2 m/s) y corrían con la visión ocluida por la pantalla durante dos minutos antes de realizar la tarea de apreciación de la distancia al objetivo. El tiempo de adaptación fue decidido en función a trabajos previos donde se mostraba que es suficiente un minuto a una velocidad de 7 km/h para producir una adaptación consistente a la cinta de correr.⁵

RESULTADOS

La Fig. 2 presenta las medias de los errores de los sujetos obtenidos con el método directo y con el método indirecto para las diferentes distancias empleadas. La parte superior muestra los datos obtenidos cuando el observador se encontraba estático y la parte inferior cuando se encontraba en movimiento propioceptivo a 8 km/h.

Para una mejor comparación de los resultados en cada método, en la Fig. 3 se consideran los errores producidos por los sujetos cuando realizaron sus estimaciones de distancia usando el método directo (A) expresando explícitamente su apreciación y el método indirecto (B) indicandola en el plano frontoparalelo.

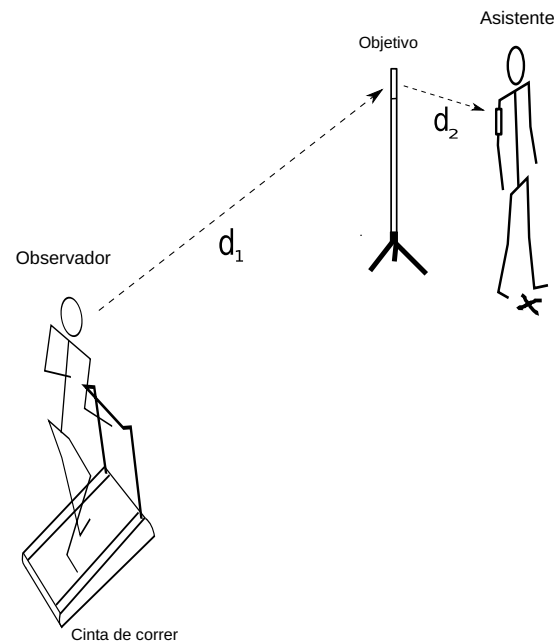


Figura 1: Ubicación del observador en la cinta de correr, del objetivo y del asistente. d_1 =distancia egocéntrica a ser estimada, d_2 =distancia de comparación en el método indirecto.

La Tabla 1 presenta la estadística descriptiva de los errores de ambos métodos. En el método verbal el promedio general de los errores es de -8,4 m ($SD = 5,5$) con una varianza de 30,6, mientras que el promedio general para el método indirecto es de -7,5 m ($SD = 4,1$) con una varianza de 17,1. En 61 de los 97 casos considerados, es mejor la estimación con el método indirecto.

Utilizando un modelo lineal (análisis de la varianza) considerando la respuesta del sujeto como variable dependiente, se obtiene para el método directo que sólo la distancia aparece como variable significativa ($F(3, 472) = 55,2$; $p < 0,001$) y un ajuste del modelo con $R^2 = 0,49$. Para el caso del método indirecto, el análisis estadístico encuentra diferencias significativas debidas a la velocidad ($F(1, 480) = 91,5$; $p < 0,001$), a la distancia ($F(3, 480) = 1797,2$; $p < 0,001$) y al observador ($F(14, 480) = 49,5$; $p < 0,001$) y a las interacciones entre la distancia y el observador ($F(42, 480) = 5,7$; $p < 0,001$) y entre la velocidad, distancia y observador ($F(42, 480) = 2,7$; $p < 0,001$) con un $R^2 = 0,91$.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La estimación verbal de la distancia percibida y la estimación de magnitud son dos métodos tradicionales empleados en las investigaciones de percepción de distancia en campo abierto.¹² Estos métodos ‘directos’, si bien proveen aproximaciones rápidas, han

Tabla 1: Medias de los errores en ambos métodos

	Promedio Error Est. Indirecta	Promedio Error Est. Directa
0 km/h	-7,9	-8,5
12m	-3,3	-4,5
18m	-6,4	-6,9
24m	-9,3	-10,6
32m	-12,9	-11,7
8 km/h	-7,1	-8,4
12m	-2,1	-4,7
18m	-5,2	-6,7
24m	-8,7	-9,7
32m	-12,1	-12,2
Total general	-7,5	-8,4

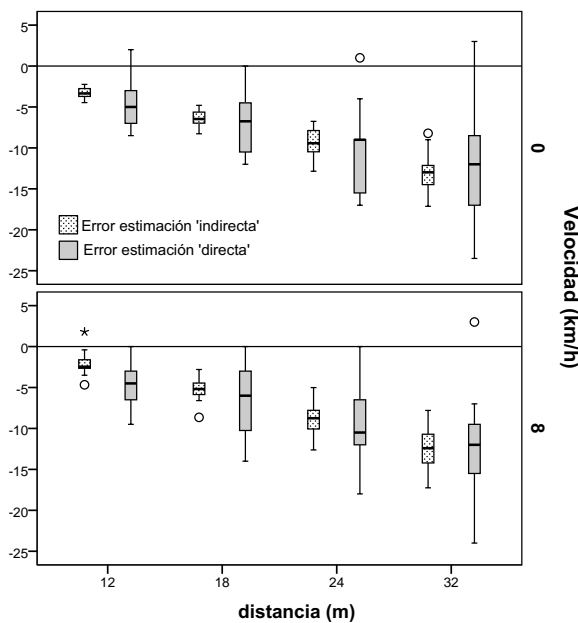


Figura 2: Comparación de las medias de los errores obtenidos con ambos tipos de estimación ('directa' e 'indirecta') para las cuatro distancias consideradas: 12, 18, 24 y 32 m (eje x). En el panel superior para 0 km/h y en el inferior para 8 km/h

sido cuestionados por la posible introducción de sesgos debido a factores como conocimientos previos o creencias propias al observador.⁷ En los métodos indirectos, al emplearse una indicación implícita de la distancia percibida, es mucho menor la intrusión de factores de origen cognitivo. Puede verse en la Fig. 2 un mejor desempeño de los observadores utilizando el método indirecto, ya que en el 63% de los casos considerados hay una reducción del error en la estimación.

El método que utilizamos en este trabajo está basado en el empleado por Norman y colaboradores,¹³ con la diferencia que ellos solicitaban a los observadores el mover el objetivo para construir triángulos

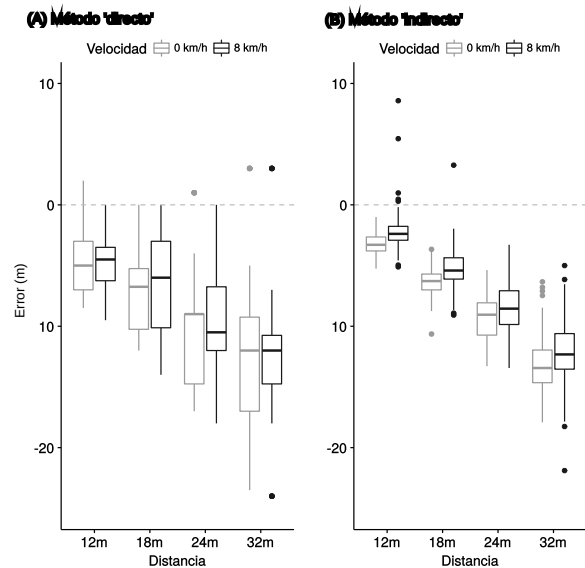


Figura 3: Comparación de los errores obtenidos ambas velocidades (0 y 8km/h) con los dos tipos de estimaciones: 'directa' (panel A) e 'indirecta' (panel B)

equiláteros entre sí mismo, el objetivo y otra estaca fija, lo que según estos autores ya había sido probado antes por Blank en 1952 e Higashiyama en 1981. Lo interesante de nuestra propuesta es que el triángulo rectángulo que pedimos armar al sujeto se basa en el hecho de que aunque tendemos a comprimir las distancias frontales, somos buenos estimando las distancias en el plano fronto-paralelo.^{2,15} De esta manera, si consideramos la Fig. 1 podemos decir que d2 puede ser una buena aproximación de la distancia egocéntrica d1. Norman y colaboradores¹³ encuentran en sus resultados experimentales que el valor medio de la compresión en profundidad en las distancias indicadas por los sujetos es del 36,3%. Nuestros observadores al igualar perceptualmente d1 con d2 muestran la compresión ya citada en la literatura, la cual es de un 31% con el método indirecto en condiciones estáticas y de un 28,5% en movimiento propioceptivo. En la

Fig. 3 puede verse que en ambos métodos y ambas velocidades existe dicha compresión del espacio visual frontal para todas las distancias, pero en todos los casos el error es menor en la condición en movimiento. En el método directo o juicio verbal (panel A) tanto los errores como la dispersión son mayores que los obtenidos usando el método indirecto (panel B), notándose en este caso que aunque aumente la distancia a estimar, el error absoluto se mantiene constante. Esto es confirmado por el análisis estadístico, el cual muestra que los juicios perceptuales realizados de manera indirecta tienen menor error y variabilidad (en los datos aquí presentados, casi el 50% menos).

Al igual que otros trabajos experimentales al aire libre en campo abierto,^{11,13} encontramos una pronunciada compresión a lo largo del eje frontal mientras que, por otro lado, también se evidencian diferencias en la misma dependiendo de la tarea empleada y de características intrínsecas al sujeto, lo que es confirmado por el análisis estadístico. Sin embargo, un dato sumamente relevante es que el error en la estimación se ve reducido debido al movimiento propioceptivo del observador. Esto implica que la representación del espacio que nos rodea se ve afectado por nuestro propio movimiento, por lo que el espacio visual mapeado en esas condiciones sería más preciso que aquel mapeado de forma estática. Esto sin duda tiene un valor ecológico ya que el cerebro necesita mejor información de distancia cuando debe controlar los movimientos del cuerpo en el espacio al realizar alguna acción específica.

REFERENCIAS

1. S. Anstis. Aftereffects from jogging. *Exp Brain Res*, 103(3):476–8, jan 1995.
2. J. A. Aznar-Casanova, J. A. Da Silva, N. P. Ribeiro-Filho, and J. E. Santillán. ¿Es el espacio visualmente percibido un espacio métrico? *Estud Psicol-Madrid*, 30(3):345–371, 2009.
3. J. A. Da Silva. Scales for perceived egocentric distance in a large open field: comparison of three psychophysical methods. *Am J Psychol*, 98(1):119–144, 1985.
4. M. J. Doumen, A. M. Kappers, and J. J. Koenderink. Horizontal-vertical anisotropy in visual space. *Acta Psychol*, 123(3):219–239, 2006.
5. F. H. Durgin, A. Pelah, L. F. Fox, J. Lewis, R. Kane, and K. A. Walley. Self-motion perception during locomotor recalibration: more than meets the eye. *J Exp Psychol Human*, 31(3):398–419, jun 2005.
6. G. T. Fechner. *Elemente der Psychophysik*. Elements of Psychophysics. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1966.
7. W. C. Gogel. Cognitive factors in spatial responses. *Psychology*, 17:213–225, 1974.
8. I. P. Howard and A. Howard. Vection: the contributions of absolute and relative visual motion. *Perception*, 23(7):745–51, jan 1994.
9. P. W. Kong, T. M. Koh, W. C. Tan, and Y. S. Wang. Unmatched perception of speed when running overground and on a treadmill. *Gait Posture*, 36(1):46–48, 2012.
10. M. F. Land. The Operation of the Visual System in Relation to Action. *Curr Biol*, 22(18):R811–R817, mar 2012.
11. J. M. Loomis, J. A. Da Silva, N. Fujita, and S. S. Fukusima. Visual space perception and visually directed action. *J Exp Psychol Human*, 18(4):906–921, 1992.
12. J. M. Loomis and J. W. Philbeck. Measuring spatial perception with spatial updating and action. In R. L. Klatzky, B. MacWhinney, and M. Behrmann, editors, *Embodiment, Ego-space and Action*, pages 1–39. Taylor & Francis, New York, 2008.
13. J. F. Norman, C. E. Crabtree, A. M. Clayton, and H. F. Norman. The perception of distances and spatial relationships in natural outdoor environments. *Perception*, 34(11):1315–1324, 2005.
14. J. J. Rieser, H. L. Pick, D. H. Ashmead, and A. E. Garing. Calibration of human locomotion and models of perceptual-motor organization. *J Exp Psychol Human*, 21(3):480–97, jun 1995.
15. M. Wagner. The metric of visual space. *Percept Psychophys*, 38:483–495, 1985.
16. Y. Yabe, H. Watanabe, and G. Taga. Treadmill experience alters treadmill effects on perceived visual motion. *PloS One*, 6(7):e21642, jan 2011.

Agradecemos a la CPN Luciana Raquel Castillo, personal de Apoyo del ILAV - CONICET/UNT, el asesoramiento estadístico para el presente trabajo.