



Psicologia em Pesquisa

<https://periodicos.ufjf.br/index.php/psicologiaempesquisa>



Estimación de la percepción de distancia durante la locomoción

Estimação da percepção de distância durante a locomoção

Distance perception estimation during locomotion

Javier Enrique Santillán¹ & José Fernando Barraza²

¹ Universidad Nacional de Tucumán. *E-mail:* jsantillan@herrera.unt.edu.ar *ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-2402-7860>

² Universidad Nacional de Tucumán. *E-mail:* jbarraza@herrera.unt.edu.ar *ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-9126-8808>

RESUMEN

En este artículo de revisión abordamos el problema de la percepción de distancia durante la locomoción. La misma implica una construcción mental del entorno que nos rodea que debe ser realizada de una manera rápida y precisa, pues la información es crucial para poder interactuar correctamente con el ambiente y los objetos que se encuentran en él. En buena parte del tiempo nosotros y el mundo que nos rodea nos encontramos en un continuo movimiento relativo, por lo que nuestra experiencia perceptual estaría moldeada por las complejas interacciones entre la información provista por los sentidos y por la percepción del propio movimiento. El tratar de adquirir datos de la percepción de distancia con el observador en movimiento implica requerimientos diferentes a la situación cuando se encuentra estático. Ello lleva a buscar soluciones y nuevas alternativas metodológicas. Esto es ejemplificado a partir de los trabajos experimentales realizados utilizando la cinta de correr como plataforma de investigación en campo abierto.

PALABRAS CLAVE:

Percepción visual; Percepción de distancia; Percepción espacial; Psicofísica.

RESUMO

Neste artigo de revisão, abordamos o problema da percepção da distância durante a locomoção. Isto implica uma construção mental do ambiente que nos rodeia, que deve ser realizada de maneira rápida e precisa, pois a informação é crucial para poder interagir corretamente com o ambiente e com os objetos encontrados nele. Na maior parte do tempo, nós e o mundo à nossa volta estamos em um movimento relativo contínuo, sendo nossa experiência perceptiva moldada pelas complexas interações entre as informações fornecidas pelos sentidos e pela percepção do próprio movimento. Tentar adquirir dados de percepção de distância com o observador em movimento implica requisitos diferentes para a situação quando ela é estática. Isso leva à busca de soluções e novas alternativas metodológicas. Isso é exemplificado pelo trabalho experimental realizado com a esteira como plataforma de pesquisa em campo aberto.

PALAVRAS-CHAVE:

Percepção visual; Percepção de distância; Percepção espacial; Psicofísica.

ABSTRACT

In this review article we address the problem of distance perception during locomotion. It implies a mental construction of the environment that surrounds us that must be carried out in a fast and precise way, since this information is crucial to be able to correctly interact with the environment and the objects in it. In much of the time we and the world around us are in a continuous relative movement, so our perceptual experience would be shaped by the complex interactions between the information provided by the senses and by the perception of our movement itself. Trying to acquire distance perception data with the observer in motion implies different requirements to the situation when it is static. This leads to seeking solutions and new methodological alternatives. This is exemplified from the experimental work carried out using the treadmill as a research platform in the open field.

KEYWORDS:

Visual perception; Distance perception; Space perception; Psychophysics.

Informações do artigo:

Javier Enrique Santillán
jsantillan@herrera.unt.edu.ar

Recebido em: 30/04/2020

Aceito em: 15/07/2020

Aún sin ser aficionado, ¿quién no se ha deleitado y sorprendido al ver alguna de las proezas de los deportistas de alto rendimiento? Observar a un gran futbolista como Lionel Messi correr a toda velocidad llevando el balón mientras esquiva a varios de sus contrincantes para luego terminar disparando contra el arco contrario con gran precisión, nos lleva a pensar sobre ¿cómo consigue lograr tal hazaña? y ¿qué procesos físicos, psicofisiológicos y mentales se encuentran involucrados? Si bien estos son casos extremos, donde las notorias capacidades individuales son además perfeccionadas con años de exhaustivo entrenamiento, hay ciertos aspectos perceptuales y cognitivos que son comunes con las demás personas. El problema sería: ¿cómo

es que generamos, a partir de la información sensorial, una correcta representación de nuestro entorno físico para actuar adecuadamente en él?

La representación mental del espacio y la distancia

Esa construcción mental del entorno que nos rodea debe ser realizada de una manera rápida y precisa, pues la información es crucial para poder interactuar correctamente con el ambiente y los objetos que se encuentran en él. Es una representación interna de dicho ambiente producida a partir de información perceptual sobre la configuración física, así como de información cognitiva adquirida en el transcurso vital, y se la denomina “espacio visual” (Loomis, 2003). Si bien nuestra experiencia personal está moldeada por múltiples y complejas interacciones entre las distintas modalidades sensoriales, en este proceso la visión suele ser dominante, ya que brinda información espacial muy detallada, influyendo incluso la percepción y estimación de distancias basadas en otros sentidos como la audición o el tacto (Eimer, 2004).

No obstante el tópico de la “percepción de distancia” ha estado presente desde los inicios de la psicología experimental, es posiblemente en los últimos 50 años que se hayan realizado contribuciones más sistemáticas originadas en programas de investigación destinados a ese objetivo. Una de ellas es que, aunque la correspondencia entre la distancia física y la distancia percibida son lineales en el espacio peripersonal (< 2 m), a medida que se incrementan las distancias físicas en unos pocos metros comienzan a aparecer distorsiones sistemáticas en el espacio percibido (Da Silva, Aznar-Casanova, Ribeiro-Filho, & Santillán, 2006), lo que ha llevado a caracterizar al espacio visual como “anisotrópico” (Doumen, Kappers, & Koenderink, 2006), término que indica que las dimensiones percibidas dependen de la dirección como de la orientación. Entender cómo nuestro cerebro lidia con este problema es todo un desafío.

Percepción visual y locomoción

En ese sentido, existen estudios que analizan lo que sucede cuando el observador se encuentra con objetos a distancias cada vez mayores en espacios abiertos (ver por ejemplo: Da Silva, 1985; Norman, Crabtree, Clayton, & Norman, 2005), pero estos trabajos se realizaron considerando un punto estable de visión. Sin embargo, retomando el ejemplo inicial, vemos que la situación suele ser más complicada aún, pues

en buena parte del tiempo nosotros y el mundo que nos rodea nos encontramos en un continuo movimiento relativo, por lo que nuestra experiencia perceptual estaría moldeada por las complejas interacciones entre la información provista por los sentidos y por la percepción del propio movimiento. De hecho una de las funciones más relevantes del sistema visual es el brindar información consistente que permita guiar las acciones mientras el cuerpo se encuentra en movimiento, haciendo esto de una manera que compensa cualquier discontinuidad en la visión ya sea por un cambio en la orientación de la mirada o, por ejemplo, debida a un parpadeo (Land, 2012). Estudios experimentales han demostrado que es tan relevante la información proporcionada por la percepción visual que incluso en ausencia de otro indicio de movimiento, es suficiente para inducir una sensación ilusoria de movimiento o “vection” (Howard & Howard, 1994).

Compensado el movimiento propio

Es así que toda la información debe ser integrada en una representación interna que da cuenta del movimiento del propio cuerpo respecto al entorno físico, siendo la misma aprendida y calibrada a través de la experiencia (Wolpert & Flanagan, 2001). Se sabe que también en su construcción se tiene en cuenta el conocimiento de las características del propio cuerpo en ese momento, tales como el tamaño (Sugovic, Turk, & Witt, 2016), la edad (Sugovic & Witt, 2013) o el esfuerzo (demanda energética) que implicará la acción a ser iniciada (Proffitt, Stefanucci, Banton, & Epstein, 2003; Stefanucci, Proffitt, Banton, & Epstein, 2005). De hecho hay autores que proponen que nuestra percepción visual del entorno se ve influida por nuestra evaluación de la capacidad para actuar en él en función de la energía necesaria para realizar una acción específica, lo que supone una especie de ventaja adaptativa que nos permite tomar mejores decisiones respecto al comportamiento a adoptar ante una situación determinada (Witt, 2011).

En la vida diaria, al estar las circunstancias cambiando constantemente, se produce una situación dinámica que lleva a re-calibrar y actualizar la relación entre las diferentes fuentes de información que contribuyen a dicha representación interna (Durgin, Pelah, Fox, Lewis, Kane, & Walley, 2005) y se produce también un reajuste de las acciones motoras (Rieser, Pick, Ashmead, & Garing, 1995). En el caso de nuestro jugador de fútbol, mientras se encuentra corriendo velozmente hacia el arco, la imagen a partir de la cual

estimó su distancia ya quedó desactualizada por estar él en movimiento y debe ser recalibrada al momento de patear la pelota. Esto lo hemos modelado a partir de la ecuación $D_f = D_i - v \cdot \Delta t$ (Santillán & Barraza, 2019), donde D_f representa la distancia estimada al momento de ejecutar la acción, D_i la distancia al momento de iniciar la acción, considerando que en ese ínterin el sujeto se movió $v \cdot \Delta t$ que sería la distancia a ser compensada, siendo v la velocidad que llevaba y Δt el tiempo transcurrido entre el momento de iniciar la acción y el de finalizarla. Para lograr dicha compensación es fundamental la información del movimiento propio, la que puede ser dividida en dos tipos: la proveniente de señales internas -llamada idiótética o interoceptiva- pues se origina por sensaciones producidas por fuerzas, aceleraciones y presiones en lugares específicos como el sistema vestibular, los gravitoceptores viscerales, los receptores musculares y articulares, o los mecanoreceptores de la piel; y la llamada alotética o exteroceptiva proveniente de la estimulación de sentidos tales como la visión, la audición y el tacto. En el caso de la visión, el “flujo óptico” brinda información de navegación, orientación personal y aspectos relevantes de movimiento del mundo tridimensional (Gibson, 1985; Harris et al., 2002; Koenderink & Doorn, 1976) permitiendo una estimación rápida y eficiente de la propia velocidad (Larish & Flach, 1990; Warren, 1982), la cual también sirve para estimar la distancia de desplazamiento. La relación entre el flujo óptico y la percepción del propio movimiento fue estudiada por Durgin y colaboradores (Durgin, 2009; Durgin & Gigone, 2007; Durgin et al. 2005) quienes encontraron que la sensación visual de la velocidad de movimiento en profundidad decrecía cuando el observador corría sobre una cinta de correr, esto es, que la velocidad percibida era resultante de una sustracción de la componente de velocidad interoceptiva a la componente de velocidad provista por el flujo óptico. Esta idea fue propuesta primero por Barlow y Földiák (1989) para explicar la mejora en la discriminación visual cuando dos fuentes de información están correlacionadas. Según Durgin et al., esa teoría puede también aplicarse a la correlación entre información visual e interoceptiva, lo que también es apoyado por los resultados de Frenz y colaboradores (Frenz, Lappe, Kolesnik, & Bührmann, 2007) quienes encuentran que la distancia de traslación percibida es siempre subestimada en los entornos de realidad virtual.

La cinta de correr como plataforma de investigación

Varios estudios han validado la cinta de correr como instrumento de investigación, al utilizarla para conocer los efectos de la desincronización entre la información visual y la provista por el cuerpo, ya que si bien uno tiene la sensación de estar corriendo hacia adelante a cierta velocidad, sucede por otro lado que la velocidad del flujo óptico es nula (Anstis, 1995; Durgin et al., 2005).

Esta desincronización parece manifestarse también en dos conocidos “*after-effect*” o “efectos posteriores” producidos por correr un tiempo sobre la cinta. El primero es que si la persona baja de la cinta y trata de correr en el lugar con los ojos cerrados (sin referencia visual), se desplazará hacia adelante sin darse cuenta de ello; el segundo es que si al bajar trata de caminar sin visión hacia un objetivo previamente determinado, caminará una distancia mayor de la que estimaba visualmente (Rieser, Pick, Ashmead, & Garing, 1995). Estos efectos parecen ser debidos a compensaciones inadecuadas producidas por situaciones donde las expectativas perceptuales (resultado de la actividad física) se encuentran en conflicto con la percepción del propio movimiento, poniendo en evidencia esa representación interna multimodal que integra las fuentes de información interoceptivas y exteroceptivas. Otros trabajos han demostrado que esa desincronización también se manifiesta como sesgos en la percepción de la velocidad (Kong, Koh, Tan, & Wang, 2012) y del movimiento (Yabe & Taga, 2008; Yabe, Watanabe, & Taga, 2011).

Considerando los resultados conseguidos por otros investigadores, decidimos emplear esta plataforma para nuestro trabajo experimental, buscando responder cómo la información visual y motora del propio movimiento influye la percepción de distancia. Para ello fue necesario hacer algunas modificaciones al equipamiento, de manera que se pudiera bloquear la visión del sujeto en determinados momentos en los cuales el experimentador debía realizar otras tareas que no tenían que ser vistas por los participantes. Para lograr la estimulación controlada de la visión desde la posición del corredor en la cinta, se diseñó un dispositivo basado en un monitor LCD transparente ubicado en frente del campo de visión, el cual mediante un *software* adecuado permitía generar un flujo óptico de densidad y velocidad controlada a partir de un patrón de puntos aleatorios que se movían en profundidad. Con esta configuración pudimos ir testeando diferentes condiciones

experimentales: sólo estimulación visual (con y sin flujo óptico inducido), sólo estimulación motora (visión normal o limitada), variantes de estimulación motora y visual (combinaciones manipulando ambas variables simultáneamente).

Un aspecto importante, que debe ser tenido en cuenta al realizar experimentos con la cinta de correr, es que los sujetos deben tener un período de adaptación. Esto se debe a que el cuerpo necesita un tiempo para acostumbrarse al movimiento, especialmente cuando hay una asincronía entre la información interoceptiva y exteroceptiva. Coincidente con trabajos anteriores (Durgin et al., 2005), encontramos que un tiempo de adaptación de dos minutos corriendo a la velocidad empleada en la medición (nosotros utilizamos sobre todo 4 y 8 Km/h) era suficiente para lograr la adaptación, tanto en atletas como en no-atletas (Asaf, Santillán, & Barraza, 2014).

Las limitaciones de esta metodología se deben principalmente a la alta carga física que representa para los participantes, ya que deberán correr por un cierto tiempo -probablemente en reiteradas ocasiones - y en condiciones de exigencias tales como mantener cierta velocidad mientras realizan las tareas indicadas. Esto restringe el rango de edad y condición psicofísica de los sujetos, tornando obligatorio el chequeo médico de los mismos previo a su participación.

Estimando distancias en movimiento

Puede diferenciarse dos tipos de experimentos al estimar la distancia percibida: aquellos que solicitan al observador un juicio absoluto de distancia -generalmente relacionados con tareas vinculadas a ubicar algo en el espacio- y producen datos basados en distancias egocéntricas (donde el marco de referencia es el mismo observador), o los que piden efectuar un juicio relativo de distancia -frecuentemente vinculados a tareas sobre el tamaño o intervalos de distancias entre objetos- y que producen observaciones de distancias exocéntricas (donde el marco de referencia es externo al observador) (Aznar-Casanova, Da-Silva, Ribeiro-Filho, & Santillán, 2009). Estas suelen ser aludidas como “distancia egocéntrica” (hacia un punto específico) y como “distancia exocéntrica” (entre dos puntos específicos). Por otro lado, si consideramos el lugar donde se efectúan las estimaciones, podemos tener en función de la cantidad de pistas o indicios de distancia (Cutting

& Vishton, 1995) lugares con condiciones reducidas -generalmente situaciones de laboratório- o lugares con condiciones con gran disponibilidad -situaciones reales-. Un caso intermedio son las condiciones “naturalísticas”, donde si bien uno se encuentra en un espacio natural, se efectúa algún tipo de modificación o simplificación en el mismo para facilitar la labor experimental (Santillán, 2009).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el tipo de indicación de distancia, que puede ser directa (explícita) o indirecta (implícita). El método directo suele ser realizado de forma verbal (indicación en metros, por ejemplo), y tiende a permitir al observador efectuar una serie de cálculos o toma de referencias que hace muy difícil realizar repeticiones con él ya que el sujeto memoriza las estimaciones. Por eso en muchos casos es preferible la indicación indirecta de distancia, la cual suele estar basada en una acción propia (p.e. caminar hasta un punto determinado, arrojar una bolsa con semillas, etc.) o referida a una acción externa. En nuestro caso, desarrollamos un método indirecto que llamamos “de indicación de distancia en el plano frontoparalelo” (Santillán, Barraza, & Asaf, 2018) el cual consistía en ubicar en la línea de visión del observador un objetivo al cual él debía indicar la distancia, pero lo hacía a partir de la distancia exocéntrica entre dicho objetivo y otro punto que era móvil. Para ello, un asistente se colocaba próximo al objetivo. En el brazo del lado del sujeto tenía un brazalete con un listón de alta visibilidad del mismo tamaño y color que el que se encontraba en la parte superior del objetivo. El asistente caminaba desde el objetivo y en forma paralela al plano frontal hasta que el observador consideraba que la distancia caminada (distancia objetivo-brazalete) era igual a la distancia egocéntrica (frontal) entre él y el objetivo. En ese momento debía decir “alto”. El asistente se detenía y marcaba su posición en el suelo utilizando un pin codificado que no podía ser visto desde la posición del observador y el cual permitía recolectar, *a posteriori*, todas las estimaciones realizadas. Si bien es necesario instruir al sujeto a focalizar su atención en los listones de alta visibilidad tratando de minimizar la presencia del asistente u de otros elementos en el campo visual, tiene la ventaja de ser un método rápido para coleccionar muchas medidas, especialmente cuando el sujeto se encuentra corriendo continuamente en la cinta y uno debe trabajar de prisa para evitar los efectos del cansancio.

Consideraciones finales

Aunque generalmente caracterizamos el espacio que nos rodea mediante una serie de propiedades geométricas, tendemos a creer que la percepción del mismo está basada en una transformación directa de dichas propiedades para crear una imagen mental interna idéntica. Sin embargo, esa suposición no es consistente con toda una serie de discrepancias que vienen siendo puestas en evidencia mediante la investigación experimental. El estudio de la percepción de distancia ha mostrado que la distancia percibida - uno de los aspectos más elementales del “espacio visual”- no tiene una relación lineal con su contraparte en el espacio real. Al modificar las condiciones en las cuales los observadores realizan las estimaciones de distancia, variando por ejemplo las características o la disponibilidad de los indicios o su ubicación en el espacio, vemos que las distancias indicadas difieren de diferentes maneras de las correspondientes distancias físicas. Y lo mismo puede observarse cuando uno considera un sujeto en movimiento, situación sumamente compleja en la cual -para crear una representación adecuada- debe tenerse en cuenta además la información sobre lo que está haciendo el propio cuerpo, estimando por ejemplo la velocidad de su traslación en el espacio. En el caso del movimiento por sus propios medios (locomoción), a través de los experimentos realizados en un ambiente naturalístico, hemos podido comprobar que de igual manera a lo encontrado en otros trabajos (Loomis, Da Silva, Fujita, & Fukusima, 1992; Norman et al., 2005) se aprecia una notoria compresión a lo largo del eje frontal, aunque el error en la estimación se ve reducido debido al movimiento propioceptivo del observador. La conclusión más relevante en este sentido es que, aunque la representación del espacio que nos rodea se ve afectada por nuestro propio movimiento, en esas condiciones será más precisa que cuando es mapeada encontrándonos estáticos. Aparentemente la ventaja ecológica sería el contar con mejor información de distancia cuando se debe controlar los movimientos del cuerpo para realizar una acción específica, tal como patear un balón hacia el arco contrario.

El tratar de adquirir datos de la percepción de distancia con el observador en movimiento implica requerimientos diferentes a la situación cuando se encuentra estático. Ello lleva buscar soluciones y nuevas alternativas metodológicas. Un aparato que ha resultado de utilidad en este sentido, es la cinta de correr. Con

ciertas adaptaciones permite coleccionar informaciones muy interesantes, incluso en situaciones naturalísticas en campo abierto. En nuestro caso, al combinarla con un dispositivo que permitía ver el ambiente y los objetos en él a la vez que superponía un flujo óptico (cuyos parámetros podían ser establecidos con todo detalle), nos permitió realizar una serie de experimentos en los cuales podíamos producir estimulaciones motora y visual de manera separada o conjunta, controlando ambas con la precisión necesaria. Los métodos psicofísicos también deben ser escogidos concienzudamente, pues no todos se muestran adecuados en la situación de movimiento propioceptivo. Es por ello que debimos desarrollar y validar un método de indirecto de estimación de distancia que nos permitiera recolectar información de forma rápida y con el menor sesgo posible. Los resultados obtenidos al aplicarlo mostraron algunos primeros datos interesantes (Santillán & Barraza, 2019): por ejemplo, que la distancia era subestimada cuando la estimulación visual con el flujo óptico estaba presente y los sujetos no se movían; pero por el contrario, cuando eran estimulados visualmente y corrían en la cinta, no había compresión en las distancias percibidas. Una posible explicación es que existe un mecanismo de compensación para la estimación de distancia cuando corremos, calibrando la percepción a partir de la información de velocidad de traslación que es obtenida modulando la información visual (básicamente el flujo óptico) a partir de la información interoceptiva (Durgin et al., 2005).

Será necesario continuar con los esfuerzos para lograr enriquecer nuestra comprensión y conocimientos referidos a la manera en que integramos las informaciones exteroceptivas e interoceptivas en marcos internos de referencia, y la forma en que los actualizamos constantemente para poder realizar acciones sumamente complejas en el medio ambiente en que nos encontramos. Sin embargo, seguramente incluso así continuaremos maravillándonos y aplaudiendo a muchos deportistas y atletas que no dejan de sorprendernos con sus destrezas.

Agradecimientos

La investigación que sustenta este artículo fue apoyada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la República Argentina con el proyecto PIP 0545, y por la Universidad Nacional de Tucumán con el proyecto SCAIT-PIUNT E646.

Referencias

- Anstis, S. (1995). Aftereffects from jogging. *Experimental Brain Research*, 103(3), 476-478.
- Asaf, D. A., Santillán, J. E., & Barraza, J. F. (2014). Visuo-Motor interaction in the estimation of distance : Athletes vs. No-Athletes. In A. Braidot, & A. Hadad (Eds.), VI Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2014, *IFMBE Proceedings 49* (pp. 265-268). Paraná, Argentina: Springer Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13117-7_69
- Aznar-Casanova, J. A., Da-Silva, J. A., Ribeiro-Filho, N. P., & Santillán, J. E. (2009). ¿Es el espacio visualmente percibido un espacio métrico? *Estudios de Psicología*, 30(3), 345-371.
- Barlow, H. B., & Földiák, P. (1989). Adaptation and decorrelation in the cortex. In R. Durbin, C. Miall, & G. Mitchison (Eds.), *The computing neuron* (pp. 54-72). New York, NY: Addison-Wesley.
- Cutting, J. E., & Vishton, P. M. (1995). Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In W. Epstein, & S. J. Rogers (Eds.), *Handbook of perception and cognition. Perception of Space and Motion*. (Vol. 5, pp. 69-117). San Diego, CA: Academic Press.
- Da Silva, J. A. (1985). Scales for perceived egocentric distance in a large open field: comparison of three psychophysical methods. *The American Journal of Psychology*, 98(1), 119-144. <https://doi.org/10.2307/1422771>
- Da Silva, J. A., Aznar-Casanova, J. A., Ribeiro-Filho, N. P., & Santillán, J. E. (2006). Acerca da métrica da percepção do espaço visual. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 69(1), 127-135.
- Doumen, M. J., Kappers, A. M., & Koenderink, J. J. (2006). Horizontal-vertical anisotropy in visual space. *Acta Psychologica*, 123(3), 219-239.
- Durgin, F. H. (2009). When walking makes perception better. *Current Directions in Psychological Science*, 18(1), 43-47.
- Durgin, F. H., & Gigone, K. (2007). Enhanced optic flow speed discrimination while walking: Contextual tuning of visual coding. *Perception*, 36(10), 1465-75.

- Durgin, F. H., Pelah, A., Fox, L. F., Lewis, J., Kane, R., & Walley, K. A. (2005). Self-motion perception during locomotor recalibration: more than meets the eye. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(3), 398-419.
- Eimer, M. (2004). Multisensory integration: How visual experience shapes spatial perception. *Current Biology*, 14(3), R115-R117. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.01.018>.
- Frenz, H., Lappe, M., Kolesnik, M., & Bührmann, T. (2007). Estimation of travel distance from visual motion in virtual environments. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 4(1), 1-18.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Harris, L. R., Jenkin, M. R., Zikovitz, D., Redlick, F., Jaekl, P., Jasiobedzka, U. T., ... Allison, R. S. (2002). Simulating self-motion I: Cues for the perception of motion. *Virtual Reality*, 6(2), 75-85. <https://doi.org/10.1007/s100550200008>.
- Howard, I. P., & Howard, A. (1994). Vection: the contributions of absolute and relative visual motion. *Perception*, 23(7), 745-751. <https://doi.org/10.1068/2Fp230745>.
- Koenderink, J. J., & Doorn, A. J. V. (1976). The singularities of the visual mapping. *Biological cybernetics*, 24(1), 51-59.
- Kong, P. W., Koh, T. M., Tan, W. C., & Wang, Y. S. (2012). Unmatched perception of speed when running overground and on a treadmill. *Gait Posture*, 36(1), 46-48.
- Land, M. F. (2012). The operation of the visual system in relation to action. *Current Biology*, 22(18), R811-R817. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.06.049>
- Larish, J. F., & Flach, J. M. (1990). Sources of optical information useful for perception of speed of rectilinear self-motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(2), 295-302. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.16.2.295>
- Loomis, J. M., Da Silva, J. A., Fujita, N., & Fukusima, S. S. (1992). Visual space perception and visually directed action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(4), 906-921. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.4.906>

- Loomis, J. M. (2003). Visual space perception: phenomenology and function. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 66(5), 26-29. <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-27492003000600004>
- Norman, J. F., Crabtree, C. E., Clayton, A. M., & Norman, H. F. (2005). The perception of distances and spatial relationships in natural outdoor environments. *Perception*, 34(11), 1315-1324. <https://doi.org/10.1068/p5304>
- Proffitt, D. R., Stefanucci, J., Banton, T., & Epstein, W. (2003). The role of effort in perceiving distance. *Psychological Science*, 14(2), 106-112.
- Santillán, J. E. (2009). *A estrutura do espaço visual e a percepção de colinearidade no campo aberto: análise de procedimentos, teste de modelos e aspectos cognitivos* (PhD Thesis). Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP.
- Santillán, J. E., Barraza, J. F., & Asaf, D. A. (2018). Estimación de distancia egocéntrica en movimiento: comparación de dos métodos psicofísicos. *Anales AFA*, 29(Espec), 20-24. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2018.inVisionT.20>
- Santillán, J. E., & Barraza, J. F. (2019). Distance perception during self-movement. *Human Movement Science*, 67(1), 102496. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102496>
- Stefanucci, J., Proffitt, D., Banton, T., & Epstein, W. (2005). Distances appear different on hills. *Attention, Perception & Psychophysics*, 67(6), 1052-1060.
- Rieser, J. J., Pick, H. L., Ashmead, D. H., & Garing, A. E. (1995). Calibration of human locomotion and models of perceptual-motor organization. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 21(3), 480-497. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.21.3.480>
- Sugovic, M., & Witt, J. K. (2013). An older view on distance perception: older adults perceive walkable extents as farther. *Experimental Brain Research*, 226(3), 383-391. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3447-y>
- Sugovic, M., Turk, P., & Witt, J. K. (2016). Perceived distance and obesity: It's what you weigh, not what you think. *Acta Psychologica*, 165, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.01.012>

- Warren, R. (1982). *Optical transformation during movement: Review of the optical concomitants of egomotion* (AFOSR-TR-82-1028). Columbus, OH: Ohio State University Research Foundation.
- Witt, J. K. (2011). Action's effect on perception. *Current Directions in Psychological Science*, 20(3), 201-206. <https://doi.org/10.1177/0963721411408770>
- Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology*, 11(18), R729-R732. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(01\)00432-8](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(01)00432-8).
- Yabe, Y., & Taga, G. (2008). Treadmill locomotion captures visual perception of apparent motion. *Experimental brain research*, 191(4), 487-494. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1541-3>
- Yabe, Y., Watanabe, H., & Taga, G. (2011). Treadmill experience alters treadmill effects on perceived visual motion. *PloS ONE*, 6(7), e21642. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021642>