

Universidad de La Habana
Facultad de Matemática y Computación



Título de la tesis

Autor:

Marié del Valle Reyes

Tutores:

Dr. Mitchell Valdes-Sosa
Nombre del segundo tutor

Trabajo de Diploma
presentado en opción al título de
Licenciado en Ciencia de la Computación

Fecha

github.com/username/repo

Dedicación

Agradecimientos

Agradecimientos

Opinión del tutor

Opiniones de los tutores

Resumen

Resumen en español

Abstract

Resumen en inglés

Índice general

Introducción	1
1. Estado del Arte	5
2. Marco Teórico	9
3. Detalles de Implementación y Experimentos	10
Conclusiones	11
Recomendaciones	12
Bibliografía	13

Índice de figuras

Ejemplos de código

Introducción

El cerebro humano se concibe como un sistema complejo que controla y regula la mayoría de las funciones del cuerpo y de la mente. Este órgano desempeña un papel esencial en la percepción y el procesamiento de la información, debido a que es el encargado de recibir, interpretar y responder a los estímulos del entorno, lo cual permite a los individuos interactuar de manera efectiva con su mundo. La percepción implica la interpretación y organización de los estímulos sensoriales para formar una representación consciente de la realidad. El cerebro procesa la información visual, auditiva, táctil y otras modalidades sensoriales, integrándola para construir una experiencia coherente y significativa del entorno circundante.

En la percepción visual, los hemisferios cerebrales se especializan en funciones diferentes, a pesar de colaborar estrechamente en el procesamiento de la información. Se ha observado que para procesar aspectos globales y locales de estímulos visuales Flevaris y Robertson 2016, el hemisferio derecho muestra una inclinación hacia lo global y el hemisferio izquierdo muestra una preferencia local. Esta asimetría funcional podría explicarse en términos de las frecuencias espaciales (SF), asociadas con diferentes niveles de un estímulo visual. Las frecuencias espaciales describen cómo varía la información visual en términos de patrones de luz y sombra en una escena. Estos patrones pueden involucrar detalles finos o cambios suaves en la luminosidad. En el contexto visual, las SF más bajas se asocian comúnmente con aspectos globales, mientras que las SF más altas se asocian con aspectos locales. En apoyo a esta idea, varios estudios han revelado un sesgo hacia SF más bajas en el hemisferio derecho y SF más altas en el hemisferio izquierdo Flevaris y Robertson 2016. Esto implica que el hemisferio derecho puede ser más eficiente en procesar información visual relacionada con la configuración global de un estímulo, mientras que el hemisferio izquierdo podría destacarse en detalles locales más finos. Además, se han encontrado vínculos entre la selección atencional global/local y las frecuencias espaciales de los estímulos Flevaris y Robertson 2016. No obstante, cualquier teoría que se derive de estas consideraciones debe tener en cuenta que distintos aspectos de un estímulo visual pueden ser percibidos como globales en un contexto y como locales en otro. Por ejemplo, la percepción de un árbol puede considerarse global en comparación con una sola hoja, pero local en relación con un bosque. Es crucial reconocer que la función de cualquier

frecuencia espacial (SF) depende del contexto en el que se presenta.

La teoría DFF (Double Filtering by Frequency) de especialización hemisférica representa un mecanismo flexible que permite adaptarse a la tarea visual específica y al contexto en cuestión. Esta, postula que el procesamiento de frecuencias espaciales (SF) sigue dos etapas distintas. En la primera etapa, la atención elige un rango de SF de los espectros entrantes que sea más apropiado para la tarea visual actual. El rango de SF seleccionado se envía de manera uniforme a ambos hemisferios del cerebro. En la segunda etapa, se manifiestan las diferencias entre los hemisferios. El hemisferio derecho funciona como un filtro de paso relativamente bajo, dando énfasis a las frecuencias más bajas dentro del rango inicialmente seleccionado, mientras que el hemisferio izquierdo opera como un filtro de paso relativamente alto, resaltando la información de las frecuencias más altas. De esta manera, una porción particular del espectro SF puede ser preferida por el hemisferio derecho en un caso y por el hemisferio izquierdo en otro caso, según las características del estímulo y la tarea en cuestión.

Una posible herramienta para evaluar y medir la lateralización hemisférica se presenta a través de la medición de los campos receptivos de la población (pRF) mediante resonancia magnética funcional (fMRI) Dumoulin y Wandell 2008 . Los pRF constituyen modelos cuantitativos que describen la respuesta combinada de las neuronas dentro de un vóxel de fMRI (vértice cortical). Estos modelos suelen estimar la posición y el tamaño de la sección del campo visual que afecta a un vóxel específico Wandell y Jonathan Winawer 2015.

La medición de respuestas de frecuencia espacial (SF) en los pRF también se ha convertido en un enfoque relevante, especialmente en áreas visuales tempranas (área visual primaria, V2, V3), ofreciendo perspectivas adicionales sobre la sintonización de SF en relación con el tamaño del pRF. Investigaciones recientes Broderick et al. 2022 han demostrado que la sintonización de la frecuencia espacial de un pRF tiende a disminuir a medida que aumenta su tamaño, lo que sugiere una posible relación entre la lateralización hemisférica y las características de procesamiento de la información visual en el cerebro. Estas observaciones brindan una valiosa perspectiva para comprender cómo la lateralización hemisférica puede estar vinculada a las propiedades de los campos receptivos de la población.

Existen bases de datos públicas de pRF, que cubren amplias extensiones de la corteza cerebral, lo que hace posible la prueba de la lateralidad de las propiedades de pRF en las distintas áreas visuales. Para examinar las diferencias derecha/izquierda en el tamaño del pRF,

El objetivo general de este estudio es determinar de manera sistemática si existen diferencias en las propiedades de los campos receptivos entre los hemisferios izquierdo y derecho en áreas visuales de orden intermedio y superior. Para alcanzar este propósito, se emplearán algoritmos computacionales especializados y pruebas estadísticas

rigurosas. El análisis se llevará a cabo mediante la aplicación de estrategias previamente descritas a tres bases de datos pRF. La utilización de algoritmos computacionales permitirá la extracción y comparación de las propiedades de los campos receptivos en ambos hemisferios, mientras que la aplicación de pruebas estadísticas proporcionará una evaluación cuantitativa de la significancia de las posibles diferencias identificadas.

Para lograr el objetivo general del presente trabajo se trazan los siguientes objetivos específicos:

- Estudio del estado del arte sobre el preprocesamiento de las resonancias magnéticas funcionales.
- Estudiar el estado del arte sobre los modelos de campos receptivos poblacionales.
- Estudiar los elementos teóricos de la lateralidad hemisférica cerebral.
- Implementar y evaluar las estrategias concebidas para la examinación de las diferencias en ambos hemisferios cerebrales en el tamaño de los pRF.

En lo siguiente, esta tesis se divide en cuatro capítulos. En el Capítulo 2, titulado "Marco Teórico-Conceptual", se realiza un análisis detallado del estado actual de la ciencia y tecnología en las áreas relevantes de la esta investigación. En el Capítulo 3, titulado "Concepción y Diseño de las Estrategias", se describe en detalle la metodología para abordar la investigación sobre la lateralidad hemisférica, incluyendo aspectos clave del enfoque analítico. Detalles técnicos de la implementación del sistema se presentan en el Capítulo 4, titulado "Implementación y Experimentación". En este capítulo, se explora cualitativamente la validez de la solución implementada, aprovechando las herramientas disponibles. Se describen los métodos y técnicas utilizadas para evaluar la lateralidad hemisférica en áreas visuales de orden intermedio y superior, destacando los resultados y observaciones obtenidas durante la experimentación. En la parte del desenlace, se presenta el Capítulo 5, donde se exponen las conclusiones de la investigación. Se destacan los logros clave en relación con los objetivos planteados, proporcionando un resumen de los hallazgos más significativos. Además, se presentan recomendaciones que señalan futuras direcciones de investigación, brindando perspectivas para la continuidad del estudio sobre la lateralidad hemisférica y el procesamiento visual. Finalmente, la bibliografía utilizada para respaldar la base científica de la solución propuesta y los anexos complementarios se incluyen en secciones respectivas, facilitando la exploración de temas relacionados y proporcionando una base sólida para la validación y respaldo de la investigación realizada.

Amplia evidencia ha demostrado que los hemisferios son asimétricos en el procesamiento de información más global y más local en un estímulo visual: estudios cognitivos (Hillger y Koenig, 1991; Martin, 1979; Sergent, 1982), computacionales (Ivry y Robertson, 1998), neuropsicológico (Delis et al., 1986; Lamb et al., 1990; Robertson y Delis, 1986; Robertson y Lamb, 1991; Robertson et al., 1988) y neurofisiológico (Fink et al., 1997; Iglesias-Fuster et al., 2015; Han y Chen, 1996; Han et al., 2002, 2000; Heinze et al., 1998; Martinez et al., 1997; Weissman y Woldorff, 2005) han encontrado diferencias hemisféricas funcionales en global versus procesamiento local, con el hemisferio derecho del cerebro demostrando un sesgo global y el hemisferio izquierdo demostrando un sesgo local (Ivry y Robertson, 1998; Robertson e Ivry, 2000). La interpretación de estos hallazgos es más complicada si consideramos el hecho de que el nivel en el que se percibe un objeto en particular puede variar. Por ejemplo, cuando vemos un bosque, un árbol en el bosque es un elemento local en la escena global, pero si centramos la atención en el árbol, se convierte en el nivel global, mientras que las hojas, las ramas y el tronco son elementos locales. Por lo tanto, cualquier teoría del procesamiento global y local debe proporcionar una explicación de cómo el sistema perceptivo define los niveles global y local para dar lugar a esta asimetría hemisférica funcional. Una hipótesis dominante sobre cómo se diferencian los niveles globales y locales en el cerebro es en términos de sus frecuencias espaciales (FS).

Capítulo 1

Estado del Arte

Asimetría hemisférica en humanos en la percepción visual y relación con frecuencia espacial de los estímulos visuales

La asimetría hemisférica indica que cada hemisferio del cerebro tiene especializaciones únicas en el procesamiento de la información visual, contribuyendo de manera distinta a la comprensión y percepción del mundo visual.

En Flevaris y Robertson 2016 se profundiza en la asimetría hemisférica del cerebro y la relación entre la percepción global/local y el procesamiento de frecuencias espaciales (SF) en estímulos visuales. Se revisan investigaciones que sugieren que las frecuencias bajas (LSF) se asocian con la percepción global, procesadas predominantemente por el hemisferio derecho, mientras que las altas (HSF) se vinculan con la percepción local, manejadas por el hemisferio izquierdo.

El artículo expone que existen diversos estudios cognitivos, neuropsicológicos y neurofisiológicos donde se han encontrado diferencias hemisféricas funcionales en el procesamiento global/local, con el hemisferio derecho del cerebro demostrando un sesgo global y el hemisferio izquierdo demostrando un sesgo local. Por ejemplo, al presentar visualizaciones de letras de Navon (Navon 1977) visuales derecho e izquierdo los resultados revelan que los participantes identifican más rápido la letra global cuando se presenta en el campo visual izquierdo (proyectado al hemisferio derecho) y más rápido la letra local cuando se presenta en el campo visual derecho (proyectado al hemisferio izquierdo). Este sesgo también se ve respaldado por investigaciones con pacientes con lesiones cerebrales, donde se identificó que un grupo de pacientes con lesiones centradas en el hemisferio derecho experimentaban dificultades selectivas en la percepción de elementos globales en estímulos de letras de Navon, mientras que otro grupo de pacientes con lesiones centradas en el hemisferio izquierdo manifestaba selectivamente problemas para percibir elementos locales. Estudios de fMRI y de electroencefalograma (EEG) también respaldaron esta asimetría.

La relación entre las LSF y la percepción global, así como entre las HSF y la

ver si
escribi
abre-
viatura
antes

percepción local, se evidenció en experimentos donde los sujetos participaron en la detección de rejillas de SF en tareas global/local. Se observó que eran más eficientes en la detección de rejillas LSF después de prestar atención a una forma global, mientras que eran más hábiles en la detección de rejillas HSF después de focalizar su atención en las formas locales. Además, investigaciones adicionales han demostrado que la identificación de una rejilla sinusoidal con líneas "más gruesas" respalda un proceso del hemisferio derecho sesgado hacia los LSF, mientras que la identificación de líneas "más delgadas" respalda un proceso del hemisferio izquierdo sesgado hacia los HSF.

Mapas Retinotópicos

Un mapa retinotópico es una organización de la corteza visual en el cerebro que refleja la disposición espacial de la retina. Se cumple que puntos cercanos en la retina se corresponden con puntos cercanos en la corteza visual, lo cual implica que la disposición espacial de las imágenes en la retina se conserva en la representación cortical. Estos mapas son fundamentales para entender cómo el cerebro procesa la información visual y cómo se traducen las imágenes visuales en percepciones.

En Wandell y Jonathan Winawer 2011 se aborda el mapeo retinotópico en el cerebro humano utilizando resonancia magnética funcional (fMRI). Se enfoca en los avances realizados en los últimos 25 años en la comprensión de los mapas visuales del campo en el cerebro humano, destacando el progreso significativo en las tecnologías de fMRI y en los métodos experimentales.

estoy
diciendo
lo mismo
dos veces

En Noah C. Benson, Butt et al. 2012 se examina la organización retinotópica del córtex estriado, demostrando que la topología superficial del cerebro puede predecir con precisión la función retinotópica interna. Utilizando fMRI, se hallaron en los participantes las medidas utilizadas para describir la localización de las respuestas neuronales en el córtex visual (ángulo polar y excentricidad), y se desarrolló un modelo algebraico para ajustar estos datos.

En Noah C Benson y Jonathan Winawer 2018 se introduce un enfoque de análisis bayesiano para mapear mapas retinotópicos en el cerebro humano. Se presenta un modelo que combina datos retinotópicos (ángulo polar y excentricidad) y un atlas retinotópico preexistente a través de inferencia bayesiana, mejorando así la precisión y completitud de los mapas retinotópicos.

definicion
atlas?

Modelos de Campo Receptivo de Población

El campo receptivo de población (pRF) es un concepto en neurociencia que describe un modelo que representa cómo un grupo de neuronas en una región específica del cerebro responde colectivamente a un estímulo visual. Este modelo permite entender mejor la actividad y la organización de la corteza visual, mostrando cómo diferentes

áreas procesan información visual en conjunto, en lugar de enfocarse en las respuestas de neuronas individuales.

En Dumoulin y Wandell 2008 se formula un modelo matemático del pRF utilizando una función Gaussiana que describe cómo la respuesta neuronal varía con la distancia desde el centro del campo receptivo. Incluye parámetros como la posición del centro del pRF, su tamaño, y la magnitud de la respuesta. La función Gaussiana se ajusta a los datos de actividad neuronal, obtenidos a través fMRI, para estimar las características del pRF en una población neuronal específica.

En Zuiderbaan et al. 2012 se introduce un modelo de pRF basado en la función Diferencia de Gaussianas (DoG), mejorando la capacidad de representar respuestas inhibitorias y la supresión periférica en la corteza visual.

En Kay et al. 2013 se desarrolla un modelo de pRF con una no linealidad estática compresiva, es decir, reduce la amplitud de las respuestas a medida que aumenta la intensidad del estímulo. Este modelo explica que la respuesta total a estímulos múltiples es menor que la suma de respuestas individuales.

En Amano et al. 2009 se analizan los mapas de campo visual y los tamaños de los pRF en el complejo MT+ humano, usando fMRI. Hallaron que el tamaño de los pRF aumenta progresivamente desde V1/2/3 hasta LO-1/2 y TO-1/2, siendo TO-2 el área con los pRF más grandes. También observaron que dentro de cada mapa, el tamaño de los pRF aumenta con la excentricidad.

En J. Winawer et al. 2010 se examina la organización del mapa visual hV4 y la corteza occipital ventral a través de fMRI y técnicas de pRF.

En Schwarzkopf et al. 2014 se investigan los campos receptivos de población (pRF) en personas con trastornos del espectro autista (TEA).

En Wandell y Jonathan Winawer 2015 se destaca la utilización de modelos pRFs para caracterizar las respuestas neurales a diferentes estímulos y tareas visuales y se enfoca en la aplicación de pRFs para entender la atención, la plasticidad y las diferencias en condiciones psiquiátricas y neurológicas.

En Welbourne et al. 2018 se analiza cómo la corteza visual humana procesa la información cromática a través de mediciones de campos receptivos de población (pRF) usando fMRI.

En Noah C. Benson, Jamison et al. 2018 del Human Connectome Project, los pRF se utilizan para analizar la organización retinotópica de la corteza visual y subcortical en 181 adultos sanos.

En de Himmelberg et al. 2021 se comparan las propiedades de los pRFs de dos conjuntos de datos diferentes: uno de la Universidad de Nueva York (NYU) y otro del Human Connectome Project (HCP) (Noah C. Benson, Jamison et al. 2018).

Análisis de modelos de representación en el sistema visual humano

Las representaciones en el sistema visual humano se refieren a cómo el cerebro interpreta y procesa la información visual que recibe a través de los ojos. Incluyen desde la percepción básica de formas, colores y movimientos, hasta la interpretación compleja de escenas, rostros y expresiones. Con el objetivo de entender mejor la visión humana, se han desarrollado modelos que combinan la neurociencia, la psicología y la inteligencia artificial.

En Henriksson et al. 2008 se midieron curvas de sintonización de frecuencia espacial en áreas como V1, V2, VP, V3, V4v, V3A, y V5+, utilizando fMRI. Se observó que la frecuencia espacial óptima disminuye con el aumento de la excentricidad visual y varía según la ubicación retinotópica. Estos hallazgos apoyan la idea de que diferentes áreas visuales procesan la información visual en distintas escalas espaciales.

En Aghajari et al. 2020 se aplican un modelo log-Gaussiano para estimar la sintonización de frecuencia espacial a nivel de cada vóxel cerebral, revelando cómo varía la sensibilidad a la frecuencia espacial en el córtex visual temprana. Se miden respuestas a estímulos visuales de diferentes frecuencias espaciales, a través de fMRI. Los resultados indican que la frecuencia espacial preferida disminuye con la excentricidad visual y varía en función de la ubicación retinotópica. Además, se observa que el ancho de banda de sintonización depende de la excentricidad y está correlacionado con el pico de frecuencia espacial preferida.

En Kay 2011, octubre se propone el desarrollo de modelos de campo receptivo en la corteza visual primaria utilizando fMRI. Critica los métodos convencionales como la *medición de curvas de sintonización* y la *clasificación de patrones multivariados*, y propone en su lugar la estimación del campo receptivo, método que permite medir respuestas a una amplia gama de estímulos y desarrollar modelos que describan cómo los estímulos se traducen en respuestas neuronales.

En Broderick et al. 2022 se desarrollaron modelos para analizar la sintonización de la frecuencia espacial en la corteza visual primaria humana. Se ajustaron curvas de sintonización log-normal a las respuestas de grupos de vóxeles en diferentes excentricidades, que permiten estimar la respuesta promedio de la BOLD en diferentes frecuencias espaciales. Los resultados muestran que la frecuencia espacial preferida varía inversamente con la excentricidad y se ve influenciada por la orientación del estímulo. Constituye una ampliación a la investigación previa sobre la sintonización de la frecuencia espacial en el córtex visual humano, como la realizada por Aghajari et al. 2020.

ver si
explico
que es

Capítulo 2

Marco Teórico

Mapa Retinotópico Bayesiano

En el contexto del estudio de Benson et al. (2012), el "ángulo polar" y la "excentricidad" se refieren a medidas utilizadas para describir la localización de las respuestas neuronales en el córtex visual. El ángulo polar indica la posición angular de un estímulo visual en el campo visual, como su posición relativa de arriba a abajo o de izquierda a derecha. La excentricidad, por otro lado, se refiere a la distancia de un estímulo visual desde el punto de fijación central en el campo visual, es decir, qué tan lejos está del centro de la visión. Estas medidas son clave para entender cómo el córtex visual mapea la información visual del mundo externo. Explicar en que consiste

pRF

Explicar la modelación de los pRF

Periodo Preferido

Ver modelo de periodo preferido de BRoderick

Capítulo 3

Detalles de Implementación y Experimentos

Datos

Conclusiones

Conclusiones

Recomendaciones

Recomendaciones

Bibliografía

- Aghajari, S., Vinke, L. N., & Ling, S. (2020). Population spatial frequency tuning in human early visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 123(2), 773-785. <https://doi.org/10.1152/jn.00291.2019> (vid. pág. 8).
- Amano, K., Wandell, B. A., & Dumoulin, S. O. (2009). Visual Field Maps, Population Receptive Field Sizes, and Visual Field Coverage in the Human MT+ Complex. *Journal of Neurophysiology*, 102(5), 2704-2718. <https://doi.org/10.1152/jn.00102.2009> (vid. pág. 7).
- Benson, N. C. [Noah C.], Butt, O. H., Datta, R., Radoeva, P. D., Brainard, D. H., & Aguirre, G. K. (2012). The Retinotopic Organization of Striate Cortex Is Well Predicted by Surface Topology. *Current Biology*, 22(21), 2081-2085. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.09.014> (vid. pág. 6).
- Benson, N. C. [Noah C.], Jamison, K. W., Arcaro, M. J., Vu, A. T., Glasser, M. F., Coalson, T. S., Van Essen, D. C., Yacoub, E., Ugurbil, K., Winawer, J., & Kay, K. (2018). The Human Connectome Project 7 Tesla retinotopy dataset: Description and population receptive field analysis. *Journal of Vision*, 18(13), 23. <https://doi.org/10.1167/18.13.23> (vid. pág. 7).
- Benson, N. C. [Noah C.], & Winawer, J. [Jonathan]. (2018). Bayesian analysis of retinotopic maps. *eLife*, 7, e40224. <https://doi.org/10.7554/eLife.40224> (vid. pág. 6).
- Broderick, W. F., Simoncelli, E. P., & Winawer, J. (2022). Mapping spatial frequency preferences across human primary visual cortex. *Journal of Vision*, 22(4), 3. <https://doi.org/10.1167/jov.22.4.3> (vid. págs. 2, 8).
- Dumoulin, S. O., & Wandell, B. A. (2008). Population receptive field estimates in human visual cortex. *NeuroImage*, 39(2), 647-660. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.09.034> (vid. págs. 2, 7).
- Flevaris, A. V., & Robertson, L. C. (2016). Spatial frequency selection and integration of global and local information in visual processing: A selective review and tribute to Shlomo Bentin. *Neuropsychologia*, 83, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.10.024> (vid. págs. 1, 5).

- Henriksson, L., Nurminen, L., Hyvarinen, A., & Vanni, S. (2008). Spatial frequency tuning in human retinotopic visual areas. *Journal of Vision*, 8(10), 5-5. <https://doi.org/10.1167/8.10.5> (vid. pág. 8).
- Himmelberg, M. M., Kurzawski, J. W., Benson, N. C., Pelli, D. G., Carrasco, M., & Winawer, J. (2021). Cross-dataset reproducibility of human retinotopic maps. *NeuroImage*, 244, 118609. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118609> (vid. pág. 7).
- Kay, K. N. (2011, octubre). Understanding Visual Representation by Developing Receptive-Field Models. En N. Kriegeskorte & G. Kreiman (Eds.), *Visual Population Codes* (pp. 133-162). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8404.003.0009> (vid. pág. 8).
- Kay, K. N., Winawer, J., Mezer, A., & Wandell, B. A. (2013). Compressive spatial summation in human visual cortex [Publisher: American Physiological Society]. *Journal of Neurophysiology*, 110(2), 481-494. <https://doi.org/10.1152/jn.00105.2013> (vid. pág. 7).
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9(3), 353-383. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90012-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(77)90012-3) (vid. pág. 5).
- Schwarzkopf, D. S., Anderson, E. J., De Haas, B., White, S. J., & Rees, G. (2014). Larger Extrastriate Population Receptive Fields in Autism Spectrum Disorders. *The Journal of Neuroscience*, 34(7), 2713-2724. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4416-13.2014> (vid. pág. 7).
- Wandell, B. A., & Winawer, J. [Jonathan]. (2011). Imaging retinotopic maps in the human brain. *Vision Research*, 51(7), 718-737. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.08.004> (vid. pág. 6).
- Wandell, B. A., & Winawer, J. [Jonathan]. (2015). Computational neuroimaging and population receptive fields. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(6), 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.03.009> (vid. págs. 2, 7).
- Welbourne, L. E., Morland, A. B., & Wade, A. R. (2018). Population receptive field (pRF) measurements of chromatic responses in human visual cortex using fMRI. *NeuroImage*, 167, 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.022> (vid. pág. 7).
- Winawer, J. [J.], Horiguchi, H., Sayres, R. A., Amano, K., & Wandell, B. A. (2010). Mapping hV4 and ventral occipital cortex: The venous eclipse. *Journal of Vision*, 10(5), 1-1. <https://doi.org/10.1167/10.5.1> (vid. pág. 7).
- Zuiderbaan, W., Harvey, B. M., & Dumoulin, S. O. (2012). Modeling center-surround configurations in population receptive fields using fMRI. *Journal of Vision*, 12(3), 10-10. <https://doi.org/10.1167/12.3.10> (vid. pág. 7).