

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
Escuela de Tecnología Médica



TESIS PROFESIONAL

Para optar al título profesional de Tecnólogo Médico con mención en Oftalmología y Optometría

“¿Cómo el contexto modula la forma en que exploramos el mundo a través de los movimientos oculares?”

Alumno: Cristian Sanzana Luengo
Tutores: Iván Plaza Rosales, Rodrigo Montefusco Siegmund

Dr. Iván Plaza Rosales

Dr. Rodrigo Montefusco Siegmund

Fecha: 30 de noviembre 2022

ACTA CURSO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

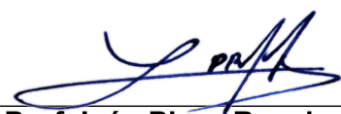
El **Sr. Cristian Alfonso Sanzana Luengo**, estudiante de Tecnología Médica con Mención en Oftalmología y Optometría, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de estudio, realizó durante el décimo semestre de la carrera, la Tesis Profesional titulada: **“¿Cómo el contexto modula la forma en que exploramos el mundo a través de los movimientos oculares?”** dirigida por el **Prof. Dr. Iván Plaza Rosales, PhD**, académico del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y el **Prof. Dr. Rodrigo Montefusco PhD**, académico de la universidad Austral de Chile.

La Escuela de Tecnología Médica designó para su corrección una Comisión integrada por: **Dra. Andrea Helo PhD**, académico del Departamento de Fonoaudiología, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y el **Dr. Pedro Maldonado PhD**, académico Departamento de Neurociencia, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

La calificación obtenida se detalla a continuación:

Corrector 1 Andrea Helo	6.44	25%
Corrector 2 Pedro Maldonado	6.77	25%
Tutor(es) Guía: Iván Plaza y Rodigo Montefusco		
Evaluación intermedia	6.50	25%
Nota final tutor	6.90	25%
Nota final tesis profesional	6.65	

En consecuencia el estudiante **Cristian Alfonso Sanzana Luengo** aprueba satisfactoriamente la asignatura.



Prof. Iván Plaza Rosales
Coordinador(a) curso
Trabajo de Investigación



Prof. Hernán Torres.
PEC curso
Trabajo de Investigación

Dedicatoria

A mi perrito Snoopy, a mi familia y toda la gente que me quiere.

Agradecimientos

A mi familia y mis mascotas,
por la compañía y apoyo todos estos años.

Muchas gracias a mis profesores tutores,
por su disposición y atención que entregaron durante el trabajo.

Índice

Portada	1
Acta de Notas	3
Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Índice	6
Resumen	7
Introducción	8
¿Qué es y cuál es la importancia del contexto en la exploración visual?	10
Características visuales relevantes para la percepción	12
Rol y origen cortical de los Movimientos Oculares	13
Elementos determinantes la exploración visual	14
Mapa de prioridad	17
Comportamiento de los movimientos oculares según el contexto	17
Metodología	22
Resultados	22
Discusión	25
Conclusión	28
Referencias	29

Resumen

Los movimientos oculares y la actividad cerebral asociada a ellos observada durante la ejecución de distintas tareas ha sido descrita por múltiples estudios. A pesar de que existe evidencia científica respecto a cómo funcionan los distintos sistemas involucrados en la dirección de la mirada, aún no se entiende por completo cómo el contexto modula los movimientos oculares. Mediante una revisión de la literatura que incluye reportes sobre investigación básica y clínica, revisiones sistemáticas y metaanálisis con el propósito de describir la manera en que el contexto modula el patrón de los movimientos oculares, abarcando estudios de su comportamiento en entornos controlados, semi-controlados y cotidianos en un contexto natural. Para ello se acudió a la base de datos PubMed con los términos MeSH eye movements, eye movement measurements, central nervous system, visual perception. Aplicando los criterios de inclusión se obtuvo 50 artículos, de los cuales se elaboraron un diagrama de flujo y tabla para resumir la información descrita en los trabajos. Se concluye que la exploración visual es modulada según su contexto involucrando saliencia, aferencias top-down, semántica y sintaxis de la escena, historial y recompensas, ejemplificando con distintos experimentos que describen los movimientos oculares medidos. Pese a los estudios encontrados, esta sigue siendo un área en desarrollo, de la cual existe un amplio campo de estudio por explorar.

Introducción

Para interactuar de manera óptima con el entorno, es fundamental inferir correctamente las características del mundo que nos rodea. Si esas inferencias son correctas, el sujeto podrá actuar para buscar o crear un entorno que posibilite su supervivencia continua (1). El cerebro y sus procesos perceptivos permiten interpretar estímulos del entorno transducidos por nuestros órganos sensoriales (2). Interactuar con el entorno no es una acción que dependa exclusivamente de nuestros sistemas sensoriales, sino que además se requiere de un sistema motor que ejecute estas acciones y dependiendo del órgano sensorial, estructurar una forma de orientar o dirigirlo para percibir algún objeto de interés según las prioridades establecidas por el cerebro para la tarea en ejecución.

El sistema visual entrega la información que requieren tanto el sistema motor como el sistema de mirada para realizar dichas acciones (3). Para cumplir esta tarea debe interpretar la información visual que transduce la retina, lo cual se logra a través de las vías visuales ventral y dorsal. Tradicionalmente se ha descrito la primera vía, también conocida como vía del qué, como la encargada de reconocer objetos presentes en la escena, mientras que la segunda vía determina la ubicación de estos objetos en el espacio y sus desplazamientos, clasificándose como la vía del dónde (4). Nuevos modelos basados en evidencia reciente proponen una vía ventral que muestrea de forma selectiva espacios focales y una vía dorsal que rastrea casi todo el espacio con un sesgo foveal reducido (5). Los últimos avances también sugieren la existencia de una tercera vía lateral con funcionalidad semejante a la vía dorsal que incorpora diferentes aspectos de visión, acción y lenguaje, denominada como la vía del cómo (6).

Por otro lado, el sistema de mirada se destaca por la acción del Campo Ocular Frontal (conocido por su sigla en inglés FEF) el cual se encarga de producir los movimientos sacádicos voluntarios que cumplen la función de proyectar un objeto de interés en la fovea en base a una

orden, objetivo o memoria (3). La respuesta creada en el FEF entrega información al colículo superior (CS), estructura crucial a nivel del mesencéfalo, el cual en conjunto con información a la vía dorsal esta encargada de codificar movimientos de orientación que pasan por el tronco encefálico y determina a través de las ráfagas neuronales hacia dónde dirigir la mirada, mientras que las Neuronas de Pausa Omnidireccionales (sigla en inglés OPN) señalan cuando mirar (7).

La evidencia respalda que la orientación hacia los estímulos sensoriales está modulada por señales ascendentes y descendentes. Esta interacción dinámica es fundamental para las teorías actuales de la atención visual (2,8,9). En esta línea, se ha descrito que el comportamiento de los movimientos oculares depende de una competencia por la atención de factores ascendentes (*bottom-up*) y descendentes (*top-down*). Los factores ascendentes corresponden a propiedades características de los elementos observados. Mientras que los factores descendentes son cognitivos y dependientes de la intención del observador (10).

Con toda la evidencia mencionada surge la pregunta “¿Cómo el contexto modula la forma en que exploramos el mundo a través de los movimientos oculares?”. La presente revisión describe la manera en que el contexto interviene en el patrón de los movimientos oculares, abarcando estudios que analizan su comportamiento en entornos controlados, ambientes naturales y situaciones cotidianas. Este trabajo reúne los avances en esta área, que ha migrado desde el laboratorio a entornos y tareas cotidianas con la intención de comprender de manera integral los mecanismos involucrados en estas acciones (11).

Esta revisión establece un punto de partida para futuros trabajos de investigación en áreas tanto clínicas como de ciencias básicas aplicadas, permitiendo el desarrollo a futuro de marcadores de carácter biomédico para la detección de patologías en pacientes que presenten alteraciones en sus patrones de observación, mejorar el desarrollo de tecnologías de análisis de imagen con Machine Learning, entre un sin fin de otras posibles aplicaciones.

I. ¿Qué es y cuál es la importancia del contexto en la exploración visual?

La Real Academia Española define el contexto como el entorno físico o de situación, político, histórico, cultural o de cualquier otra índole, en el que se considera un hecho. Para el área de la neurociencia, el contexto refiere a un escenario de naturaleza compleja compuesta por elementos cambiantes que son relevantes para el comportamiento del sujeto en estudio (12). Para que la persona pueda situarse en el contexto que la rodea, requiere del uso de sus sentidos y los procesos perceptivos asociados a cada uno de ellos. El sentido de la visión nos permite formar una imagen del entorno que nos rodea, para facilitar la interacción con los elementos que lo componen. Para lograr esto se requiere de la transducción de ondas electromagnéticas en impulsos nerviosos. En este caso las ondas transducidas se encuentran en lo que se denomina espectro de luz visible, estimado entre los 310 a 1100 nm (13).

a. Determinación del contexto visual

La información transducida en la retina parte desde las células ganglionares de la retina (CGR), recorriendo el nervio óptico (NO) hasta transformarse en el tracto óptico, luego de decusar un porcentaje importante de fibras a nivel del quiasma óptico, el cual atraviesa el Cuerpo Geniculado Lateral (CGL), donde se distribuye la información en vías parvocelular y magnocelular. Las primeras contienen principalmente información de color, mientras que la segunda contiene información referente al movimiento (14). Desde el CGL el tracto se divide en radiaciones ópticas hasta llegar a la corteza visual primaria (V1) en la corteza occipital, sector en el cual se lleva a cabo la integración de la información visual binocular a partir de la información entregadas por estas vías, teniendo periodos de actividad tempranos y tardíos para permitir la consciencia de movimiento (14,15). Desde este punto la información recibida en V1 se distribuye en las vías dorsal y ventral encargadas de determinar el qué y el dónde de la escena observada de forma funcional y anatómicamente independientes (16). Actualmente

estos conceptos se encuentran en activa discusión y actualización, sugiriendo una relación más dinámica, flexible y contexto-dependiente para estas vías (17). La vía dorsal contiene la información magnocelular e integra información de dirección, orientación y movimiento, mientras que la ventral contiene información parvocelular, integrando color y formas complejas (18). La información de estas vías llega a diferentes partes de la corteza visual secundaria, con cada una de sus partes cumpliendo la integración de distintos rasgos de la escena observada. En el caso de la vía visual ventral, esta pasa por V2 y V4, sectores dedicados a determinar la correspondencia de contornos, contornos ilusorios y contornos definidos por textura, selectividad de curvatura y color de luminancia no variable. Por otro lado, la vía visual dorsal va hacia MT integrando información desde V2 para facilitar el análisis del espacio y la planificación de acciones (19).

b. Modelos de procesamiento de imagen

La forma en que la imagen y los rasgos de esta son integrados en el cerebro siguen un modelo de procesamiento de carácter jerárquico y feed-forward. Esto quiere decir que los niveles de integración de información parten desde la información de bajo nivel tales como líneas y bordes, hasta llegar a información de alto nivel como el análisis e integración de formas y objetos. Para lograr esto la información avanza desde V1 hacia el resto de los segmentos de la corteza visual secundaria (20). Actualizaciones a este modelo consideran que no está compuesto solamente por la integración en la forma anteriormente mencionada, asumiendo exclusivamente un carácter bottom-up, por el contrario, además incluyen en el proceso la información entregada por nuestra memoria y la interpretación de la información recibida y relacionada con las tareas en ejecución, en otros términos, aferencias top-down son integradas en el proceso de percepción visual entregando significancia semántica. En base a la acción conjunta de ambos procesos se va entregando una interpretación de lo observado considerando la acción de la memoria visual (21).

II. Características visuales relevantes para la percepción

Las características visuales de la escena visual observada tales como contraste, luminosidad, color, movimiento de orientación y profundidad son procesadas bajo la influencia de funciones cognitivas como la expectativa y la atención de la persona sobre lo que está siendo observado, permitiendo la percepción del entorno y el reconocimiento de los objetos que lo componen (22).

Algunos estudios han descrito las características como luminosidad, color y contraste como las más importantes para percibir el mundo (23,24). La luminancia depende de la cantidad de luz efectiva que incide sobre la superficie de un objeto, dependiendo de la cantidad de luz que el objeto refleje, este se observará con mayor o menor brillo. A su vez, la luz reflejada por esta superficie según sus propiedades químicas y físicas facilitará la percepción del color. Asimismo, el contraste de una imagen estará determinado por las diferencias de luminosidad presente entre los objetos y permitirá diferenciar las formas y separaciones de cada uno (24).

Por otra parte, la velocidad de los objetos observado es determinada en relación con la orientación del objeto, la cual comienza en V1 y se integra usando las señales locales de movimiento en V5, considerando que el contorno del objeto en movimiento es perpendicular a su orientación. Las neuronas en V5 son selectivas para la dirección particular del movimiento, de patrones más complejos, usando como base el movimiento individual (19).

La profundidad es una característica que permite determinar la forma de un objeto, pero principalmente su ubicación en el espacio, la integración de esta información comienza en V1, lugar donde las neuronas reciben información de ambos ojos. La profundidad percibida se debe al conjunto de claves monoculares sumada a la disparidad binocular provocado por las diferencias de foco entre los objetos observados (25).

III. Rol y origen cortical de los Movimientos Oculares

En el proceso de observación del entorno, nuestra capacidad de observarlo está limitada a la resolución que nuestros ojos permiten. Considerando que la fovea es el sector de nuestra retina el cual adquiere imágenes con la mayor agudeza visual, es necesario desplazar nuestros ojos para incorporar el resto de la información relevante para nuestro cerebro según la tarea que esté en ejecución (7).

Para lograr esto, la orden de movimiento es generada por distintas áreas del cerebro. Por una parte, se encuentra el FEF ubicada en el área 8 de Brodmann o región prefrontal cortical, el cual integra estímulos de regiones tales como el Campo Ocular Suplementario (SEF, por sus siglas en inglés), Cingulado (CEF) y Parietal (PEF), Corteza Prefrontal Dorsolateral (DLPFC) y áreas de la Corteza Parietal Posterior (PPC), Surco Intraparietal (IS), entre otros (26,27) con el propósito de generar los estímulos que determinarán una gran variedad de movimientos oculares, tales como sacadas voluntarias guiadas por estímulos visuales o guiados por memoria (26). El SEF ubicada en el área 6 de Brodmann, cumple la función de contribuir al FEF con información requerida para modificar los tiempos de respuesta de los movimientos oculares, permitiendo de esta forma la postergación de la iniciación del movimiento sacádico cuando sea necesario, influyendo a su vez en el tiempo de duración de la mirada sobre un objeto de interés (28). Otra área de relevancia es el IS que cumple con un conjunto de funciones relacionadas con la coordinación perceptual y motora en base a tareas, involucrándose en el manejo de la atención visual, percepción de profundidad, acercamiento, señalización y manipulación con movimiento de manos (18). La suma de las aferencias provenientes de las diferentes áreas permite la elaboración del estímulo usado para fovealizar los objetos (30).

La evidencia actual permite confirmar que nuestros ojos se mueven de forma constante, incluso cuando intentamos fijar nuestra mirada. Debido a lo anterior, se han descrito los movimientos microsacádicos como el principal contribuidor a la restauración de la visibilidad

de objetivos borrosos durante la fijación, teniendo una mayor eficacia cuando estos son de carácter múltiple, permitiendo un efecto de sumación temporal que reconstruye la imagen para el observador (31).

IV. Elementos determinantes la exploración visual

La exploración visual es una acción guiada. A mayor cantidad de elementos involucrados, esta será más eficiente. Entre los principales elementos encargados de esta tarea se ha descrito la guía por saliencia bottom-up, la suma de características top-down, tipo de escena visual, el historial de búsqueda y características asociadas a recompensa (8). A pesar del desarrollo de teorías que promueven la idea de “el ganador se lleva todo” favorecida por quienes impulsan los mapas de saliencia descritos más adelante (32), ninguno de estos elementos codifica en forma exclusiva el objetivo siguiente al cual enfocar la atención, sino que cada uno de ellos contiene la información respecto a qué tan probable es la fovealización en algún lugar de la escena visual observada, información la cual es después ponderada para finalmente entregar la atención y establecer el sector al cual dirigir la mirada (33). A continuación, se describen los elementos determinantes de la exploración visual.

a. Dirección de la exploración visual por saliencia visual

Los mapas de saliencia cumplen por función señalar el lugar al que la persona observará considerando las características percibidas de los objetos presentes en la escena (34). La saliencia dirige la atención a objetos que difieren de sus alrededores bajo la condición de que estas diferencias son suficientemente grandes y ocurren en un set limitado de atributos que guían la atención (35), aumentando a medida que proporcional a la diferencia que el objeto tiene de los distractores y con la homogeneidad de estos (36). Características visuales de bajo nivel como luminancia, color y orientación son procesadas en paralelo y combinadas para formar el mapa de saliencia, describiendo qué tan salientes o interesantes son sectores de la

escena observada por la persona para poder luego determinar a cuál sector dirigir la atención (33,37). En este proceso, el Colículo Superior (conocido por sus siglas en inglés como SC) implementa el modelo computacional del mapa de saliencia por virtud de sus circuitos locales y patrón único de inputs y outputs, siendo computado por vías subcorticales las cuales involucran al pulvinar inferior (PI) y las capas superficiales del SC (sSC), recibiendo aferencias desde el CGL y V1, generando una respuesta que se envía hacia el FEF y capas profundas del SC (dSC) (33).

b. Dirección de la exploración visual por características top-down

Durante el proceso de búsqueda visual, mecanismos top-down influyen en la atención entregada a las características salientes de los objetos presentes. Considerando las características de interés para la persona, ocurre un proceso de sintonización atencional dependiente de la experiencia y aprendizaje para resistir la captura de la atención por rasgos salientes irrelevantes (38). Este es un proceso guiado por factores de alto nivel como la relevancia de la tarea (34), determinando en forma selectiva un peso a atributos de interés como color, tamaño y orientación para definir el objeto de interés de la persona y descartar elementos presentes en la escena que no cumplan con las características esperadas (39,40). A pesar de esto, la exploración visual determinada en forma arbitraria por estas características no es eficiente (41), por lo que dirigir la exploración visual en base a estos factores debe complementarse con los otros factores descritos en esta sección (8).

c. Dirección de la exploración visual por la escena

El entorno que rodea a la persona tiene semántica y sintaxis. La semántica de una escena refiere a la relación global que tienen los objetos con el significado de la escena, mientras que la sintaxis describe el posicionamiento local de los objetos (42). Al igual que la guía por características, esta es dependiente de la experiencia de la persona y procesos de

aprendizaje. Una exposición de 110ms ya permite el desarrollo de la esencia de la escena, la cual contiene información básica de lo observado, como la configuración espacial, color, luminancia y sucesos que ocurren en la escena (43). Aun así, mientras mayor sea la exposición al entorno, mayor será la influencia y precisión que tendrán estos tipos de guías sobre el proceso de dirección de mirada (44). Durante la búsqueda visual, el lenguaje de la escena guiará la dirección de la mirada considerando la relación entre los objetos, por ejemplo, si se le indica a una persona buscar dentro de un dormitorio una almohada, es más probable que dirija la mirada sobre la cama que se encuentra en el lugar (8). Así mismo, como la escena puede dirigir la mirada, las congruencias e incongruencias presentes en esta, pueden alterar la forma en que la búsqueda es guiada, influyendo en procesos de activación cerebral tardíos del conocimiento semántico y/o toma de decisiones (45,46).

d. Dirección de la exploración visual por historial de búsqueda

El rendimiento de la búsqueda visual realizada es influenciado por el rendimiento de las anteriores (8). Procesos de *priming* cumplen un rol importante, demostrándose que el posicionamiento repetido de un objeto de interés en una posición, o la memoria de patrones o rasgos que tiene algún objeto en particular y su contexto pueden disminuir la latencia de la respuesta generada (47). Así como se puede hacer *priming* para características asociadas a un objeto de interés, se puede también aplicar para situaciones en que el objeto de interés no está definido, pero los distractores comparten rasgos o características comunes, proceso conocido como *priming of popout*, el cual acelera el reconocimiento del objeto de interés en la escena durante la exploración visual (48).

e. Dirección de la exploración visual por características de la recompensa

Por sobre los procesos top-down y bottom-up involucrados, se encuentran las interacciones de recompensa y atención participando en la búsqueda visual. En este caso el valor o recompensa incentiva la búsqueda encubierta y abierta modulando la selección temporal y espacial, redirigiendo la atención a un nuevo lugar y selectivamente procesando información de esa locación independiente de su posicionamiento, si es que el estímulo sigue asociado a la recompensa o no, e incluso a la tarea que ejecuta el observador, considerando sesgos inducidos por emoción, priming y regularidades (49).

V. Mapa de prioridad

El conjunto de elementos mencionados anteriormente puede guiar la atención en cualquier momento, pero la atención solo puede ser dirigida a un solo objetivo, por lo que estos deben ser combinados de alguna forma (35). Se ha propuesto la idea de que los distintos elementos compiten por la atención, en un sistema en donde “el ganador se lleva todo”, esto es, que el punto de mayor activación en el mapa es aquel al que se le dirigirá la atención, y por lo tanto la mirada (32). Actualmente, modelos más recientes proponen la combinación y ponderación de los distintos estímulos según la relevancia para la tarea asignada (50).

VI. Comportamiento de los movimientos oculares según el contexto

a. Lectura de textos

Existen múltiples estudios enfocados en la modulación de las sacadas en relación con la lectura de textos, los cuales cuantifican la duración de la fijación entre 309 a 304 ms por palabra y la duración de los movimientos sacádicos entre 32 y 35 ms, independiente del paradigma de lectura en estudio (51). La distancia entre sacada durante la lectura cubre un arco de 1 a 2° (52). Mientras mayor sea la frecuencia de palabras, menor será la duración de la fijación en estas, a la vez que habrá mayor probabilidad de salto de palabras mientras mayor sea la

predictibilidad de la oración (53). Durante el proceso de lectura, la red de control de movimientos oculares compuesta por FEF, Campo Ocular Suplementario (sigla en inglés SEF) y el IS son activados al igual que en procesos de observación de escenas, pero se destaca que en este proceso existe mayor actividad del FEF lateral, a diferencia del FEF medial que presenta mayor actividad durante la visualización de escenas (54). Los estudios revisados permiten distinguir una relación clara entre las funciones de selección visual que realiza el FEF y el control de movimientos oculares generando señales descendentes, los cuales se concretan en los movimientos oculares observados durante el proceso de lectura ya descritos anteriormente. Estudios realizados en la lectura de caracteres chinos han propuesto que el procesamiento del texto en el hemisferio izquierdo del cerebro no comienza hasta que la información necesaria haya sido transferida desde el hemisferio derecho del cerebro, logrando la cognición semántica de los caracteres entre los 100 a 160 ms después de la aparición de los caracteres objetivos en el área de procesamiento perceptual posterior del cerebro (55).

b. Exploración visual en imágenes

Estudios realizados en la observación de imágenes ha permitido determinar la influencia de factores como luminancia, contraste, cantidad de información, memoria y tipos de tareas en los movimientos oculares. Durante la observación de imágenes en tareas cognitivas se ha reportado una duración promedio de la fijación de 290 ms ($\sigma = 155$ ms), mientras que la amplitud promedio de los movimientos sacádicos fue de $2,73^\circ$ ($\sigma = 2,18^\circ$) (56). Otro estudio al comparar la amplitud de las sacadas entre cuatro tareas diferentes, esta fue de menor amplitud en condiciones de exploración libre en comparación a tareas de búsqueda, memoria y evaluación de qué tan agradables eran las imágenes observadas (concepto denominado agradabilidad por el autor del estudio), pero con el transcurso del tiempo aumentaron la su amplitud aun manteniendo una diferencia significativa en comparación a las otras tres tareas, mientras que la duración de la fijación fue mayor para las tareas de exploración libre y memoria

en comparación a búsqueda y evaluación de agradabilidad (57). Otra comparación entre tareas de búsqueda visual y memorización mostró que la tarea influye en número de fijaciones, duración de la mirada en objetos específicos y las áreas fijadas, pero al igual que el estudio anterior confirman similitudes entre la duración individual de la fijación y la amplitud promedio de la sacada (58).

Por otro lado, experimentos que prueban el efecto de la luminancia en los movimientos oculares indican que a medida que esta disminuye, degradando el estímulo, existe un aumento en la duración de las fijaciones. Sin embargo, al aumentar la luminancia no hubo una disminución en la duración de las fijaciones comparable (59). En cuanto a los efectos de la borrosidad en la fijación, se observó que un aumento de esta provocaba un aumento en la duración de las fijaciones a una razón de 4,11 ms por ciclos por imagen, donde los ciclos por imagen corresponden a la cantidad de veces en que fue aplicado el filtro de paso bajo para generar la imagen borrosa al eliminar frecuencias espaciales altas (60).

c. Exploración visual en tareas cotidianas

Desde el comienzo del nuevo milenio, avances tecnológicos han permitido la realización de estudios sobre el comportamiento de movimientos oculares en tareas cotidianas, donde se ha podido evaluar la influencia de la escena, memoria de trabajo y funciones de priming en los movimientos oculares realizado. Estos estudios han demostrado que la sensibilidad de la persona a los cambios en la escena es baja (61), donde la percepción de la esencia de la escena, su diseño y esquema son importantes para la determinación de los movimientos oculares siguientes (62). Los estudios realizados en situaciones del mundo real entregan mayor libertad al observador para ejecutar movimientos oculares, mientras se mantiene un set específico de metas conductuales a realizar añadiendo además factores como la escala espacial, ángulo visual e información de profundidad para el análisis del observador (63). En

tareas como la preparación alimentos, se ha discutido que la disminución de fijación en objetos irrelevantes es impulsada por un cambio desde fijación guiada por la saliencia, a una guiada por la tarea en ejecución, combinando tanto mecanismos bottom-up como top-down (64). Se ha medido fijaciones de hasta 1500 ms en acciones prolongadas de las manos que requieren de guía continua tales como la extracción de mantequilla de maní de un jarro, su esparcimiento, el trasvase de líquidos o el desarme del nudo de una bolsa, mientras que fijaciones de 100ms o menos cumplieron con el propósito de corregir posicionamiento de la mirada, guiar el alcance de un objeto de interés (63). Los movimientos oculares realizados durante la ejecución de tareas cotidianas se han clasificado para el desarrollo de modelos computacionales según la función que ejercen, sea esta localizar, direccionar, guiar y chequear, para lograr el conjunto de submetas que componen jerárquicamente la tarea a realizar (65).

d. Movimientos oculares en tareas de locomoción

Estudios sobre el comportamiento de los movimientos oculares en tareas de caminata en entornos naturales han tratado de describir la exploración visual del entorno, usando como variables la dirección en que se dirige la mirada, el tipo de terreno transitado (llano, medio y accidentado) y la posición de las piernas. A partir de ellos se ha determinado que las personas ajustan el comportamiento de su mirada al tipo de terreno que transitan manteniendo una ventana de anticipación temporal constante de 1,5 segundos, independiente de las condiciones de este (66), disminuyendo la distancia recorrida entre pasos y la distancia a la que se observa, buscando obstáculos a medida que aumenta la complejidad del terreno transitado (67). Dentro de esta ventana de anticipación temporal, los observadores evaluados dirigieron la mirada hacia el lugar en que se posicionaría aproximadamente el segundo a cuarto paso a realizar. Los resultados indicaron que la mirada estaba fuertemente relacionada con la localización de futuros pasos en terrenos medios y accidentados, mientras que en terrenos

llanos los observadores no fijaron de forma preferente los lugares en que situarían eventualmente sus pies (66,67).

e. Seguimiento de objetos

Estudios que intentan evaluar la relación entre movimientos oculares y sistema motor, se determinó que el comportamiento de la visión varía dependiendo de qué desplaza el objeto en seguimiento: en caso de que sea el mismo observador quién desplaza el objeto de interés, la latencia del movimiento ocular en relación con el objeto es de -19,4 ms, mientras que cuando el desplazamiento no depende del observador esta es de 110,23 ms. A partir de estos experimentos se determinó que las señales predictivas descendentes simples son poco probables de respaldar una coordinación óptima, pero existe una fuerte coordinación entre el sistema motor y la dirección de movimientos oculares (68). Los comportamientos observados durante este tipo de estudios están asociados a actividad cerebral de la corteza frontal y en áreas de detección de movimientos, tratándose de una respuesta de carácter predictivo más que una reacción sensorial inmediata (69). Por otra parte la estrategia con la que objetos en movimiento de relevancia son interceptados varía según la precisión del seguimiento ocular que pueden realizar: la estrategia de quienes interceptan correctamente de forma temprana dependen de heurística cognitiva, mientras que aquellos que interceptan objetos correctamente de forma tardía usan la precisión de sus movimientos oculares de seguimiento, lo que indica que estrategias de intercepción están adaptadas a lo proficiente que es el sistema de seguimiento visual de la persona (70).

Metodología

Se realizó búsqueda en el repositorio PubMed utilizando los términos MeSH eye movements, eye movement measurements, central nervous system, visual perception conectados por operadores booleanos OR, AND y NOT, usando el término de búsqueda (((("Central Nervous System"[Mesh]) AND "Eye Movements"[Mesh]) AND "Eye Movement Measurements"[Mesh]) AND "Visual Perception"[Mesh]). Se seleccionaron publicaciones con estudios realizados en humanos publicadas desde el año 2000 en adelante, en los idiomas inglés y español. Se excluyeron trabajos realizados en pacientes que presentan patologías y estudios que hayan medido movimientos oculares con el propósito de descartar su influencia en la actividad cerebral medida. Se estableció énfasis en publicaciones que describan movimientos oculares según la tarea realizada por el observador. Para complementar la revisión, se revisó publicaciones de autores relevantes en el área usando el motor de búsqueda Google Scholar.

Resultados

Mediante la estrategia de búsqueda realizada se encontraron 157 textos, se leyó títulos y resúmenes de los 157 estudios potenciales para excluir publicaciones que no cumplieran con los criterios de inclusión quedando 107 artículos excluidos. Luego de esta etapa, se leyó individualmente el contenido de los artículos para decidir en la elegibilidad de los 50 restantes.

Extracción de datos

Se utilizó una tabla de extracción de datos para recopilar los datos relevantes de los artículos incluidos. Los datos incluyeron lo siguiente: (1) Características del estudio: autores; (2) Factores que modulan movimientos oculares; (3) Principales resultados del estudio.

Síntesis de resultados

En base a los resultados obtenidos se creó un diagrama de flujo y tabla que resumen los factores que determinan y modulan los movimientos oculares, es decir el contexto y el sujeto (Ver Figura 1). En relación a los estudios que responden la pregunta de investigación ¿Cómo el contexto modula la forma en que exploramos el mundo a través de los movimientos oculares?, se encontraron los siguientes elementos de exploración visual analizados en las metodologías de los artículos; lectura de textos, imágenes fijas, tareas cotidianas, tareas de locomoción, seguimiento de objetos.



Figura 1: Diagrama de flujo de Determinación y Modulación de movimientos oculares. Es posible destacar una dependencia a factores como el contexto y aquellos propios del sujeto.

Contexto modulador de la exploración visual	Autor y año	Influencia en el Comportamiento de los movimientos oculares
Lectura de textos	Schuster et al. 2016	A mayor frecuencia de palabras, menor tiempo de duración de la fijación, con mayor probabilidad de salto de palabras mientras mayor sea la predictibilidad de la oración.
	Kornrumpf et al. 2017	En condiciones de lectura sacádica, se requirieron entre 2,4 a 2,6s para leer una lista completa de palabras. La duración de la fijación promedio es de 309 y 304ms por palabra, con una duración de sacadas de 32 y 35ms.
Exploración visual en imágenes	Castelhana et al. 2009	La tarea que realiza el observador influye en número de fijaciones, duración de la mirada en objetos específicos y las áreas fijadas, pero la duración individual de la fijación y la amplitud promedio de la sacada de tareas de búsqueda visual y memorización son similares.
	Henderson y Choi. 2015	Durante la observación de imágenes en tareas cognitivas se ha reportado una duración promedio de la fijación de 290 ms ($\sigma = 155$ ms), mientras que la amplitud promedio de los movimientos sacádicos fue de $2,73^\circ$ ($\sigma = 2,18^\circ$).
Exploración visual en tareas cotidianas	Hayhoe et al. 2003	Se ha medido fijaciones de hasta 1500 ms en acciones prolongadas de las manos que requieren de guía continua, mientras que fijaciones de 100ms o menos cumplieron con el propósito de corregir posicionamiento de la mirada o guiar el alcance de un objeto de interés.
Tareas de locomoción	Matthis et al. 2018	Las personas ajustan el comportamiento de su mirada al tipo de terreno que transitan manteniendo una ventana de anticipación temporal constante de cerca de 1,5 segundos, independiente de las condiciones de este.
Seguimiento de objetos	Chen et al. 2016	Las señales predictivas descendentes simples son poco probables de respaldar una coordinación óptima, pero existe una fuerte coordinación entre el sistema motor y la dirección de movimientos oculares.

Tabla 1: Principales artículos científicos clasificados según contexto modulador de la exploración visual y la influencia en el comportamiento de los movimientos oculares.

Discusión

En base a los estudios revisados, es posible evidenciar que el contexto está profundamente relacionado con la determinación y modulación de movimientos oculares. Esta modulación se compone por múltiples aristas que incluyen la integración de los estímulos luminosos en la corteza cerebral, el procesamiento de esta información y el contraste de esta con aferencias corticales para finalmente ejercer la respuesta motora. Cada una de estas áreas contiene por sí solas un amplio campo de estudio.

Este trabajo de revisión se enfocó en describir de forma global el resultado de la respuesta motora, considerando estudios que evaluaron el comportamiento de la respuesta ocular ejercida dependiendo de las diferentes condiciones establecidas, tanto en las imágenes presentadas, como las situaciones o tareas a ejecutar.

A pesar de que existen estudios donde se miden los movimientos oculares en diferentes contextos, estos se realizaron con el propósito de eliminar factores de confusión de las medidas de actividad cerebral, de esta forma determinaron las funciones de las distintas áreas de la corteza cerebral en la integración de aferencias (71–73). Por otra parte, se encontró literatura cuyo propósito fue establecer modelos que expliquen cómo las distintas aferencias son ponderadas, para luego determinar el próximo lugar al cual observar o entregar atención (33,35,74).

En esta área de investigación se han estudiado ampliamente los fenómenos asociados a los movimientos oculares. No obstante, estos se concentran en la medición de los movimientos oculares en ambientes controlados, indagando las respuestas ejercidas en tareas de lectura de textos o la observación de imágenes (51–60). Además, en ambos casos se ha evaluado el impacto de la realización de estos en condiciones normales o bajo la alteración de la claridad o sentido que puedan tener las imágenes presentadas durante los experimentos. En cuanto a

los estudios en los que se ha utilizado la metodología de describir estos movimientos a partir de la presentación de imágenes fijas a los participantes, se ha podido esclarecer que la duración de la fijación es controlada por procesos cognitivos asociados con el análisis en tiempo real de las escenas, los cuales son consistentes con modelos computacionales actuales de visión activa para la percepción de escenas (54). Sin embargo, a pesar de los hallazgos descritos, ambas metodologías no han tenido éxito en describir la influencia de otros factores que dependen de la visión binocular.

Por otra parte, existe escasa evidencia en torno a la observación de ambientes reales o la medición de movimientos oculares durante la ejecución de tareas que involucren el uso del cuerpo, los que en su mayoría utilizan metodologías que integran el uso de herramientas tecnológicas de control restringido (63–67). En cuanto a las limitaciones de estos modelos de estudio se ha descrito que existe una mayor dificultad para registrar e interpretar los datos obtenidos por modelos computacionales. En ellos, para facilitar la comprensión de las tareas analizadas los autores las subdividieron en las distintas acciones que las componen (65). Dentro de este marco, destacan los artículos realizados sobre seguimiento de objetos, los que sugieren que existe influencia de estímulos motores aparte de los oculares en la predicción del movimiento de objetos manipulados por el observador, lo que disminuye la latencia del movimiento ocular (68,69).

En relación a las mediciones de diferentes parámetros que definen los movimientos oculares frente a distintos contextos, destacan la duración promedio de la fijación, así como la duración y amplitud de los movimientos sacádicos. En cuanto a la duración de la fijación se observó que esta varía tanto para la lectura de textos, como para la observación de imágenes bajo tareas de carácter cognitivo.

Desde un punto de vista clínico a partir de la presente revisión bibliográfica se propone que la profundización del conocimiento de cómo el contexto modula la forma en que exploramos el mundo a través de los movimientos oculares en pacientes sanos, se podrían crear modelos que permitan analizar en mayor detalle los movimientos oculares de pacientes con patologías neurológicas, psiquiátricas o neuromotoras. Además, se sugiere que este conocimiento puede tener el potencial para desarrollar dispositivos tecnológicos basados en tecnología de Eye Tracking y Machine Learning para apoyar el diagnóstico de dichas patologías que condicionan los movimientos oculares entre otros.

Finalmente, a medida que ha avanzado el desarrollo tecnológico y con el aumento del poder computacional para el procesamiento de datos, el estudio de cómo el contexto modula la forma en que exploramos a través de los movimientos oculares en situaciones de la vida real se ha transformado en un polo con gran potencial gracias a que por una parte se disminuyeron los costos asociados a este tipo de estudios (75) y a que la capacidad de procesamiento de datos aumentó permitiendo la corroboración, perfeccionamiento los métodos diseñados previamente e inclusive la creación de nuevas metodologías. Esto facilitará en un futuro la evaluación del impacto de efectos como la percepción de profundidad, forma, curvaturas, expansión y contracción de volúmenes, entre otros factores que podrían estar involucrados en el proceso de dirección de la mirada (35).

Conclusión

Aunque el estudio de cómo el contexto modula la forma en que exploramos el mundo a través de los movimientos oculares ha sido un área de gran interés científico, este se ha presentado como un terreno desafiante que aún no ha logrado ser descifrado en su totalidad por los investigadores. Lo anterior ocurre, por una parte, por qué es una materia de estudio que integra en su complejidad el contexto en el que se genera el estímulo, y por otra se debe comprender cómo la corteza cerebral integra, procesa y contrasta esta información con otras aferencias corticales para determinar cómo se modulan los movimientos oculares.

Destaca particularmente el caso de situaciones asociadas con la actividad motora asociada a la actividad ocular, con tiempos de fijaciones extremadamente prolongados, lo que podría ser indicativo de que a mayor complejidad de la tarea a realizar, sería esperable encontrar tiempo de fijación más prolongados. De manera que queda un amplio campo de estudio en el área y el posible desarrollo de nuevas investigaciones que evalúen este fenómeno con mayor detención.

En cuanto a la generación de nuevas tecnologías, el aumento del potencial de procesamiento de datos se muestra como un polo de desarrollo para proponer nuevos modelos de estudio o mejorar los ya propuestos, lo que eventualmente podría describir con mayor precisión el comportamiento de los movimientos oculares individualizando con mayor certeza los factores que influyen en la determinación de la mirada.

Referencias

1. Parr T, Friston KJ. Working memory, attention, and salience in active inference. *Sci Rep.* 7 de noviembre de 2017;7(1):14678.
2. Corbetta M, Shulman GL. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nat Rev Neurosci.* marzo de 2002;3(3):201–15.
3. Land MF. Vision, eye movements, and natural behavior. *Vis Neurosci.* enero de 2009;26(1):51–62.
4. Norman J. Two visual systems and two theories of perception: An attempt to reconcile the constructivist and ecological approaches. *Behav Brain Sci.* febrero de 2002;25(1):73–96.
5. Sheth BR, Young R. Two Visual Pathways in Primates Based on Sampling of Space: Exploitation and Exploration of Visual Information. *Front Integr Neurosci.* 22 de noviembre de 2016;10:37.
6. Haak KV, Beckmann CF. Objective analysis of the topological organization of the human cortical visual connectome suggests three visual pathways. *Cortex J Devoted Study Nerv Syst Behav.* enero de 2018;98:73–83.
7. Liversedge SP, Findlay JM. Saccadic eye movements and cognition. *Trends Cogn Sci.* 1 de enero de 2000;4(1):6–14.
8. Wolfe JM. Visual Search: How Do We Find What We Are Looking For? *Annu Rev Vis Sci.* 2020;6(1):539–62.
9. Fecteau J, Munoz D. Saliency, relevance, and firing: a priority map for target selection. *Trends Cogn Sci.* agosto de 2006;10(8):382–90.
10. Theeuwes J. Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychol (Amst).* octubre de 2010;135(2):77–99.
11. Backhaus D, Engbert R, Rothkegel LOM, Trukenbrod HA. Task-dependence in scene perception: Head unrestrained viewing using mobile eye-tracking. *J Vis.* 11 de mayo de 2020;20(5):3.
12. Stark SM, Reagh ZM, Yassa MA, Stark CEL. What's in a context? Cautions, limitations, and potential paths forward. *Neurosci Lett.* 27 de julio de 2018;680:77–87.
13. Sliney DH. What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye.* febrero de 2016;30(2):222–9.
14. Solomon SG. Retinal ganglion cells and the magnocellular, parvocellular, and koniocellular subcortical visual pathways from the eye to the brain. En: *Handbook of Clinical Neurology* [Internet]. Elsevier; 2021 [citado 24 de noviembre de 2022]. p. 31–50. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128213773000180>
15. Koivisto M, Mäntylä T, Silvanto J. The role of early visual cortex (V1/V2) in conscious and unconscious visual perception. *NeuroImage.* 1 de junio de 2010;51(2):828–34.
16. Goodale MA, Milner AD. Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci.* 1 de enero de 1992;15(1):20–5.
17. de Haan EHF, Jackson SR, Schenk T. Where are we now with 'What' and 'How'? *Cortex.* 1 de enero de 2018;98:1–7.
18. Bartolomeo P. Visual objects and their colors. En: *Handbook of Clinical Neurology* [Internet]. Elsevier; 2022 [citado 24 de noviembre de 2022]. p. 179–89. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128234938000225>
19. Prasad S, Galetta SL. Anatomy and physiology of the afferent visual system. En: *Handbook of Clinical Neurology* [Internet]. Elsevier; 2011 [citado 24 de noviembre de 2022]. p. 3–19. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444529039000078>
20. Riesenhuber M, Poggio T. Hierarchical models of object recognition in cortex. *Nat Neurosci.* noviembre de 1999;2(11):1019–25.

21. Herzog MH, Clarke AM. Why vision is not both hierarchical and feedforward. *Front Comput Neurosci* [Internet]. 2014 [citado 10 de noviembre de 2022];8. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fncom.2014.00135>
22. Groen IIA, Silson EH, Baker CI. Contributions of low- and high-level properties to neural processing of visual scenes in the human brain. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 19 de febrero de 2017;372(1714):20160102.
23. Peng X, Van Essen DC. Peaked Encoding of Relative Luminance in Macaque Areas V1 and V2. *J Neurophysiol*. marzo de 2005;93(3):1620–32.
24. Li M, Ju N, Jiang R, Liu F, Jiang H, Macknik S, et al. Perceptual hue, lightness, and chroma are represented in a multidimensional functional anatomical map in macaque V1. *Prog Neurobiol*. mayo de 2022;212:102251.
25. Read J. Early computational processing in binocular vision and depth perception. *Prog Biophys Mol Biol*. enero de 2005;87(1):77–108.
26. Vernet M, Quentin R, Chanes L, Mitsumasu A, Valero-Cabré A. Frontal eye field, where art thou? Anatomy, function, and non-invasive manipulation of frontal regions involved in eye movements and associated cognitive operations. *Front Integr Neurosci* [Internet]. 2014 [citado 15 de noviembre de 2022];8. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnint.2014.00066>
27. Pierrot-Deseilligny C, Milea D, M??ri RM. Eye movement control by the cerebral cortex: *Curr Opin Neurol*. febrero de 2004;17(1):17–25.
28. Stuphorn V, Brown JW, Schall JD. Role of Supplementary Eye Field in Saccade Initiation: Executive, Not Direct, Control. *J Neurophysiol*. febrero de 2010;103(2):801–16.
29. Grefkes C, Fink GR. REVIEW: The functional organization of the intraparietal sulcus in humans and monkeys. *J Anat*. 2005;207(1):3–17.
30. Lobel E, Kahane P, Leonards U, Grosbras M, Lehericy S, Le Bihan D, et al. Localization of human frontal eye fields: anatomical and functional findings of functional magnetic resonance imaging and intracerebral electrical stimulation. *J Neurosurg*. noviembre de 2001;95(5):804–15.
31. McCamy MB, Otero-Millan J, Macknik SL, Yang Y, Troncoso XG, Baer SM, et al. Microsaccadic efficacy and contribution to foveal and peripheral vision. *J Neurosci*. 2012;32(27):9194–204.
32. Itti L, Koch C. Computational modelling of visual attention. *Nat Rev Neurosci*. marzo de 2001;2(3):194–203.
33. Veale R, Hafed ZM, Yoshida M. How is visual salience computed in the brain? Insights from behaviour, neurobiology and modelling. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 19 de febrero de 2017;372(1714):20160113.
34. Tatler BW, Hayhoe MM, Land MF, Ballard DH. Eye guidance in natural vision: Reinterpreting salience. *J Vis*. 27 de mayo de 2011;11(5):5.
35. Wolfe JM, Horowitz TS. Five factors that guide attention in visual search. *Nat Hum Behav*. 8 de marzo de 2017;1(3):1–8.
36. Koehler K, Guo F, Zhang S, Eckstein MP. What do saliency models predict? *J Vis*. 11 de marzo de 2014;14(3):14.
37. Peters RJ, Iyer A, Itti L, Koch C. Components of bottom-up gaze allocation in natural images. *Vision Res*. agosto de 2005;45(18):2397–416.
38. Vatterott DB, Vecera SP. Experience-dependent attentional tuning of distractor rejection. *Psychon Bull Rev*. 1 de octubre de 2012;19(5):871–8.
39. Nordfang M, Wolfe JM. Guided search for triple conjunctions. *Atten Percept Psychophys*. 1 de agosto de 2014;76(6):1535–59.
40. Navalpakkam V, Itti L. Modeling the influence of task on attention. *Vision Res*. enero de 2005;45(2):205–31.

41. Vickery TJ, King LW, Jiang Y. Setting up the target template in visual search. *J Vis.* 9 de febrero de 2005;5(1):8.
42. Võ MLH, Wolfe JM. Differential ERP Signatures Elicited by Semantic and Syntactic Processing in Scenes. *Psychol Sci.* septiembre de 2013;24(9):1816–23.
43. Wu CC, Wick F, Pomplun M. Guidance of visual attention by semantic information in real-world scenes. *Front Psychol* [Internet]. 2014 [citado 4 de mayo de 2022];5. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2014.00054>
44. Pereira EJ, Castelhana MS. Attentional capture is contingent on scene region: Using surface guidance framework to explore attentional mechanisms during search. *Psychon Bull Rev.* 1 de agosto de 2019;26(4):1273–81.
45. Mudrik L, Lamy D, Deouell LY. ERP evidence for context congruity effects during simultaneous object-scene processing. *Neuropsychologia.* enero de 2010;48(2):507–17.
46. Riach M, Holmes PS, Franklin ZC, Wright DJ. Observation of an action with a congruent contextual background facilitates corticospinal excitability: A combined TMS and eye-tracking experiment. *Neuropsychologia.* octubre de 2018;119:157–64.
47. Kristjánsson Á, Wang D, Nakayama K. The role of priming in conjunctive visual search. *Cognition.* agosto de 2002;85(1):37–52.
48. Lamy D, Yashar A, Ruderman L. Orientation search is mediated by distractor suppression: Evidence from priming of pop-out. *Vision Res.* 5 de abril de 2013;81:29–35.
49. Failing M, Theeuwes J. Selection history: How reward modulates selectivity of visual attention. *Psychon Bull Rev.* 2018;25(2):514–38.
50. Liesefeld HR, Müller HJ. A theoretical attempt to revive the serial/parallel-search dichotomy. *Atten Percept Psychophys.* 1 de enero de 2020;82(1):228–45.
51. Kornrumpf B, Dimigen O, Sommer W. Lateralization of posterior alpha EEG reflects the distribution of spatial attention during saccadic reading. *Psychophysiology.* junio de 2017;54(6):809–23.
52. Land M, Mennie N, Rusted J. The Roles of Vision and Eye Movements in the Control of Activities of Daily Living. *Perception.* 1 de noviembre de 1999;28(11):1311–28.
53. Schuster S, Hawelka S, Hutzler F, Kronbichler M, Richlan F. Words in Context: The Effects of Length, Frequency, and Predictability on Brain Responses During Natural Reading. *Cereb Cortex N Y N 1991.* octubre de 2016;26(10):3889–904.
54. Choi W, Henderson JM. Neural correlates of active vision: An fMRI comparison of natural reading and scene viewing. *Neuropsychologia.* agosto de 2015;75:109–18.
55. Wei JH, Peng DL, Yang ZL, Chan TC, Luo YJ. The hemispheric difference of semantic processing of Chinese characters in two dimensions as revealed by ERPs. *Neuroreport.* 4 de diciembre de 2001;12(17):3697–701.
56. Henderson JM, Choi W. Neural Correlates of Fixation Duration during Real-world Scene Viewing: Evidence from Fixation-related (FIRE) fMRI. *J Cogn Neurosci.* junio de 2015;27(6):1137–45.
57. Mills M, Hollingworth A, Van der Stigchel S, Hoffman L, Dodd MD. Examining the influence of task set on eye movements and fixations. *J Vis.* 28 de julio de 2011;11(8):17.
58. Castelhana MS, Mack ML, Henderson JM. Viewing task influences eye movement control during active scene perception. *J Vis.* 13 de marzo de 2009;9(3):6.
59. Calen Walshe R, Nuthmann A. Asymmetrical control of fixation durations in scene viewing. *Vision Res.* julio de 2014;100:38–46.
60. Henderson JM, Olejarczyk J, Luke SG, Schmidt J. Eye movement control during scene viewing: Immediate degradation and enhancement effects of spatial frequency filtering. *Vis Cogn.* 1 de abril de 2014;22(3–4):486–502.
61. Wallis G, Bulthoff H. What's Scene and Not Seen: Influences of Movement and Task Upon What We See. *Vis Cogn.* 1 de enero de 2000;7(1–3):175–90.

62. Rensink RA. The Dynamic Representation of Scenes. *Vis Cogn.* 1 de enero de 2000;7(1–3):17–42.
63. Hayhoe MM, Shrivastava A, Mruczek R, Pelz JB. Visual memory and motor planning in a natural task. *J Vis.* 3 de febrero de 2003;3(1):6.
64. Land MF, Hayhoe M. In what ways do eye movements contribute to everyday activities? *Vision Res.* noviembre de 2001;41(25–26):3559–65.
65. Hayhoe M, Ballard D. Modeling task control of eye movements. *Curr Biol CB.* 7 de julio de 2014;24(13):R622–628.
66. Matthis JS, Yates JL, Hayhoe MM. Gaze and the Control of Foot Placement When Walking in Natural Terrain. *Curr Biol.* 23 de abril de 2018;28(8):1224–1233.e5.
67. Hayhoe MM, Matthis JS. Control of gaze in natural environments: effects of rewards and costs, uncertainty and memory in target selection. *Interface Focus.* 6 de agosto de 2018;8(4):20180009.
68. Chen J, Valsecchi M, Gegenfurtner KR. LRP predicts smooth pursuit eye movement onset during the ocular tracking of self-generated movements. *J Neurophysiol.* 1 de julio de 2016;116(1):18–29.
69. Kowler E, Rubinstein JF, Santos EM, Wang J. Predictive Smooth Pursuit Eye Movements. *Annu Rev Vis Sci.* 2019;5(1):223–46.
70. Fooker J, Yeo SH, Pai DK, Spring M. Eye movement accuracy determines natural interception strategies. *J Vis.* 1 de noviembre de 2016;16(14):1.
71. Anagnostou E, Skrandies W. Effects of temporal gaps between successive fixation targets on discrimination performance and evoked brain activity. *Neurosci Res.* agosto de 2001;40(4):367–74.
72. Akaishi R, Morishima Y, Rajeswaren VP, Aoki S, Sakai K. Stimulation of the frontal eye field reveals persistent effective connectivity after controlled behavior. *J Neurosci Off J Soc Neurosci.* 24 de marzo de 2010;30(12):4295–305.
73. Kelly SP, Foxe JJ, Newman G, Edelman JA. Prepare for conflict: EEG correlates of the anticipation of target competition during overt and covert shifts of visual attention. *Eur J Neurosci.* mayo de 2010;31(9):1690–700.
74. Henderson JM, Hayes TR. Meaning-Based Guidance of Attention in Scenes as Revealed by Meaning Maps. *Nat Hum Behav.* octubre de 2017;1(10):743–7.
75. Ferhat O, Vilariño F. Low Cost Eye Tracking: The Current Panorama. *Comput Intell Neurosci.* 13 de marzo de 2016;2016:e8680541.