

**Antonio Crespo León
Raúl Cabestrero Alonso
Pilar Quirós Expósito**

**METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN BÁSICA:
PARÁMETROS OCULARES Y PROCESAMIENTO
DE LA INFORMACIÓN**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

ÍNDICE

1. De qué trata y por qué se ha realizado este DVD	3
2. ¿A quién va dirigido?	4
3. Objetivos que pretende cubrir	4
4. Comentarios al contenido del DVD	4
4.1. Anatomía ocular	5
4.1.1. Estructuras receptoras del ojo	5
4.1.2. Musculatura del ojo	6
4.2. Tecnología	6
4.2.1. Evolución histórica de los dispositivos de registro	6
4.2.2. Técnicas de registro: videoculografía	7
4.2.3. Procedimiento de calibración	8
4.3. Tipos de movimientos oculares	10
4.3.1. El salto sacádico	11
4.3.2. Fijaciones oculares	12
4.4. Parámetros oculares en el estudio de la atención y percepción visual ..	12
4.4.1. Control atencional endógeno y exógeno y actividad sacádica	12
4.4.2. Control atencional y localización de las fijaciones oculares .	13
4.4.3. Control atencional y duración de las fijaciones	16
5. Orientaciones didácticas	19
6. Glosario de términos	20
7. Referencias	22
8. Bibliografía seleccionada y comentada	24

1. DE QUÉ TRATA Y POR QUÉ SE HA REALIZADO ESTE DVD

En este DVD se exploran las vinculaciones entre la actividad ocular sacádica y el funcionamiento cognitivo, describiendo las diversas técnicas de registro utilizadas (con especial atención al uso de *eye-trackers* o seguidores oculares) y analizando la variación concomitante que se produce en la actividad ocular por mor de la ejecución de tareas de procesamiento de la información.

El estudio del movimiento ocular en general, y de la actividad sacádica en particular, ha sido tradicionalmente abordado desde una perspectiva multidisciplinar. Analizar el movimiento del ojo es una fuente valiosa de información para muchos profesionales. Las perturbaciones en el movimiento es un síntoma que los clínicos utilizan para diagnosticar determinadas patologías; a su vez, para los neurofisiólogos, constituyen una fuente de información que revela la forma en la que el cerebro controla las funciones oculares; finalmente, los psicólogos recurren al registro ocular para dilucidar cómo la información visual del medio es recogida y procesada, poniendo de manifiesto las estrechas vinculaciones que se manifiestan entre percepción, atención y movimientos oculares.

De un tiempo a esta parte, el registro y análisis de la conducta ocular ha ampliado su tradicional ubicación en la neurofisiología, oftalmología, óptica o psicología, extendiéndose a esferas extraordinariamente aplicadas como la publicidad (diseño visual de *spots*), la usabilidad (eficacia que ofrece un entorno visual al usuario, e.g., diseño de Web o interfaces visuales para los usuarios de un software o para personas con discapacidad), medios de comunicación (prensa escrita y digital) o ergonomía cognitiva (ingeniería y factores humanos, e.g., diseño de la aviónica en aeronáutica), áreas en las que, aplicando numerosos conocimientos procedentes de la psicología cognitiva, se pretende asegurar que los diseños visuales capten apropiadamente la atención de observadores y usuarios, así como garantizar la máxima eficacia en la realización de tareas. Finalmente, debemos destacar que, en la última década, se ha producido un espectacular avance en el estudio de los movimientos oculares debido, principalmente, al desarrollo tecnológico que han experimentado los sistemas de registro. Actualmente, se dispone de sistemas no-invasivos que, de forma sencilla, permiten grabar con gran precisión el movimiento del ojo, así como efectuar su análisis cuantitativo posterior mediante sofisticados programas de software.

El presente DVD es el segundo de una serie iniciada con el titulado: *Metodología de investigación básica: proceso de adquisición de señales fisiológicas*, (Grzib, Quirós, Cabestrero y Crespo, 2006) y que complementan al texto: *Fundamentos psicológicos de la actividad cardiovascular y oculomotora* (Cabestrero, Conde-Guzón, Crespo, Grzib y Quirós, 2005). Esta serie de DVDs pretende

proporcionar, a aquellas personas interesadas en el registro de variables fisiológicas, un primer acercamiento a estas técnicas. Específicamente, el presente DVD tiene como propósito fundamental ilustrar un sistema de medición de los movimientos oculares que emplea técnicas de reflexión infrarroja corneal. El objetivo final de este tipo de registros es poner en relación dichos parámetros con diversos fenómenos de procesamiento de la información.

2. ¿A QUIÉN VA DIRIGIDO?

Los contenidos expuestos en la serie tienen una especial relevancia para los alumnos de Psicología en general, especialmente los que están cursando asignaturas de Psicología de la Atención, Psicología de la Percepción, Psicología de la Motivación y la Emoción, Neurofisiología, Neurociencia Cognitiva, Prácticum de Investigación y los del Posgrado, debido a la estrecha vinculación que éstos guardan con los aprendizajes prácticos exigidos en las disciplinas indicadas. Su contenido servirá como ilustración de los procedimientos de investigación en el ámbito de los Procesos Psicológicos Básicos mediante el uso de registros de movimientos oculares. Además, la obra resultará de utilidad a investigadores, profesionales y personas interesadas en estas disciplinas, así como en las tecnologías de registro utilizadas. No obstante, personas ajenas a los contenidos expuestos pueden encontrar de gran interés y utilidad las explicaciones que en él se ofrecen, pues no se ha perdido nunca de vista la claridad expositiva.

3. OBJETIVOS QUE PRETENDE CUBRIR EL DVD

1. Servir de apoyo didáctico a los procedimientos experimentales de estudio de los procesos psicológicos básicos mediante técnicas de *eye-tracking*.
2. Proporcionar conocimientos básicos sobre anatomía ocular.
3. Explicar los distintos tipos de movimientos oculares.
4. Enumerar las diversas técnicas de registro ocular.
5. Señalar los avances tecnológicos vinculados a estas técnicas de registro.
6. Describir los fenómenos ópticos en los que se basan las técnicas de registro.
7. Exponer los procedimientos más relevantes de extracción de los parámetros oculares y el tratamiento de estos datos.
8. Presentar los paradigmas experimentales más habituales en este tipo de estudios.
9. Proporcionar ejemplos de registros oculares (*scan path*).
10. Ilustrar las aplicaciones prácticas de estas técnicas de registro en ámbitos específicos.

4. COMENTARIOS AL CONTENIDO DEL DVD

El proceso perceptivo, como otros procesos psicológicos básicos, le debe mucho al «mecanismo atencional». En la mayor parte de las ocasiones, para percibir un objeto del medio, debemos dirigir nuestra atención a aquellos detalles o elementos que son susceptibles de ser analizados y procesados. De forma habitual, los observadores tienden a dirigir su mirada, mediante el movimiento de sus ojos, a aquellos objetos o elementos del ambiente que captan su atención. Es por esta razón por la que el estudio de los movimientos oculares tiene una especial relevancia para la Psicología. No obstante, en la actualidad, su interés se ha extendido a otros contextos, tales como la publicidad o la ergonomía; áreas éstas en las que se están aplicando numerosos conocimientos procedentes de la psicología cognitiva, con los que se pretende asegurar que los diseños capten

adecuadamente la atención visual de observadores y usuarios, así como garantizar la máxima eficacia en la realización de tareas.

4.1. Anatomía ocular

Antes de comenzar con el estudio propiamente dicho de los movimientos oculares, es conveniente tener unas nociones básicas sobre la anatomía ocular y las implicaciones que la fisiología del ojo tiene en los distintos movimientos oculares. En esta sección del DVD, en consecuencia, se hace un somero repaso de las estructuras anatómicas y funcionales responsables del movimiento de los ojos.

El ojo es uno de los «instrumentos» más maravillosos con los que hemos sido dotados los organismos. Es el órgano especializado en la recogida de la estimulación luminosa del medio. Actúa a modo de intérprete de las ondas electromagnéticas que se reciben del ambiente y envía la correspondiente señal nerviosa al cerebro, órgano este último responsable de la percepción visual humana. Los globos oculares se encuentran insertos en las órbitas oculares del cráneo; son esferas imperfectas que exhiben un radio de unos 12 mm. La superficie más externa del ojo es la córnea, una resistente membrana con pequeño abombamiento, a través de la cuál penetra la luz, y cuyo radio de curvatura es de aproximadamente 8 mm. La distancia entre los centros de ambas esferas oscila alrededor de 5 mm. Posterior a la córnea se dispone la cámara anterior, que contiene el humor acuoso, y que la separa del cristalino. Entre la córnea y el cristalino se ubica el iris, cuya abertura central —la pupila— tiene como misión prioritaria regular la entrada de luz mediante contracciones o dilataciones. La zona interior del ojo que reside tras el cristalino se denomina cámara posterior, y alberga una sustancia gelatinosa denominada humor vítreo, la cual genera suficiente presión externa para que el globo ocular adopte su forma característica.

4.1.1. Estructuras receptoras del ojo

El SNC penetra en el ojo a través del nervio óptico; el punto de entrada genera el disco óptico, que es un punto ciego que carece de células fotorreceptoras. Las células nerviosas fotorreceptoras son los denominados conos y bastones, las cuales se disponen en la retina. Los conos responden ante altos niveles de luz ambiental y son responsables de la visión fotópica, es decir de la visión diurna y del color; por su parte, los bastones responden ante bajas intensidades luminosas y son las células responsables de la visión escotópica que posibilita la visión nocturna. Al ser estimulados por la luz, conos y bastones envían señales a diversas capas de neuronas en la retina que alcanzan la corteza cerebral mediante el nervio óptico.

En el ojo humano, la región especializada en captar detalles visuales es la más rica en conos; esta región se ubica hacia el centro de la retina, con cierto desplazamiento hacia el lado temporal, y se denomina región central, región macular o simplemente mácula lútea, cuyo diámetro es de unos 5 mm. El centro de la mácula dispone de una pequeña depresión denominada *fóvea*, que es la zona de mayor agudeza visual. El diámetro de la *fóvea* es de aproximadamente 1,5 mm y su porción central se denomina *fovéola* y abarca unos 0,3 mm de diámetro; la *fovéola* está constituida por conos extraordinariamente finos y es la región de más extraordinaria agudeza visual. Según nos alejamos de la *fóvea*, el número de conos desciende espectacularmente, se pierde agudeza y se incrementa progresivamente el número de bastones.

Dirigiendo la mirada a un punto de fijación estático, el campo visual completo adopta forma elipsoidal y abarca unos 135° en la dimensión vertical y 160° en la horizontal, valores que, obviamente, pueden variar dependiendo de la anatomía facial particular; sin embargo, el campo visual funcional no suele ir más allá de 30° pues a partir de esta distancia se precisa mover la cabeza para dirigir la mirada hacia una nueva zona y percibir sus detalles. Las proyecciones de más alta agudeza visual subtienden ángulos de unos 2° y residen en la *fóvea*; la visión parafoveal se extiende hasta los 4°; a partir de 5° de ángulo visual se pierde en torno al 50% de la agudeza, disminuyendo espectacularmente hacia la periferia del campo.

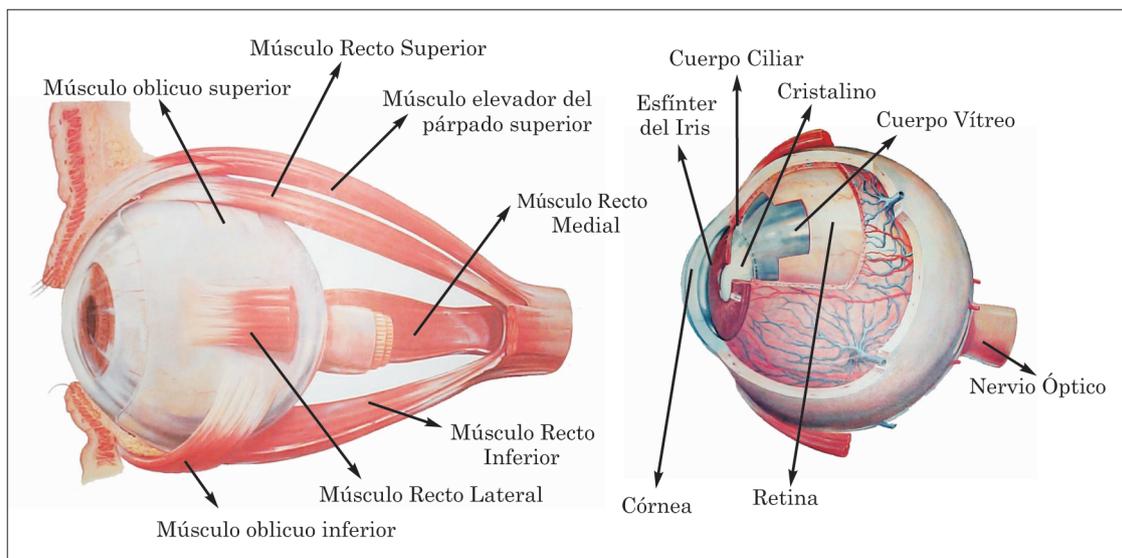


FIGURA 1: Anatomía ocular.

4.1.2. Musculatura del ojo.

Desde un punto de vista cinético, el movimiento del ojo se encuentra controlado por seis músculos extraoculares organizados en pares antagónicos (figura 1). El desplazamiento horizontal del ojo está controlado por el *recto medio* (o *interno*) que lo dirige hacia el lado nasal y el *recto lateral* (o *externo*) que lo dirige hacia la zona temporal. El movimiento vertical es más complejo y depende de la combinación de cuatro músculos: recto superior, recto inferior, oblicuo superior y oblicuo inferior. Suponiendo que nuestro ojo derecho esté orientado temporalmente en su totalidad, serán los músculos recto superior e inferior los responsables de elevar o bajar el ojo respectivamente. Alternativamente, cuando el mismo ojo está orientado hacia la nariz, la actuación del músculo oblicuo inferior lo elevará y la del oblicuo superior lo bajará. En posiciones horizontales intermedias, el desplazamiento vertical del ojo depende de una combinación proporcional de los cuatro músculos indicados: cuando nuestra mirada se dirige al frente, la mitad del movimiento vertical se debe a la actuación del músculo oblicuo superior (o inferior) y otro tanto a la del recto inferior (o superior).

4.2. Tecnología.

4.2.1. Evolución histórica de los dispositivos de registro.

Una vez repasados los conceptos básicos de la anatomía ocular las explicaciones del DVD se centran en los diversos instrumentos que se han utilizado para el registro de los movimientos oculares. Así, se señala que, desde finales del siglo XIX, se han diseñado y construido sofisticados artilugios técnicos para registrar la conducta ocular. En 1878 el oftalmólogo francés Emile Javal dedicó su interés a observar los movimientos oculares que se producían durante la lectura; fue el primero en utilizar el término *sacádico* (derivación del francés antiguo: *sachier*) para referirse a los movimientos característicos que parecían simular la sacudida de la cabeza de un caballo cuando se tira de sus riendas. Javal fue el primero en advertir la existencia de movimientos sacádicos: puso de manifiesto que, durante la lectura, los ojos se mueven a saltos y que, rara vez, se desvían del renglón que está siendo leído. Sin embargo, Javal no pudo estimar con precisión la dimensión del salto ocular (amplitud sacádica) ni la duración de las pausas (fijaciones) que se producían entre saltos. La aparición de los primeros aparatos técnicos favoreció la investigación cinética ocular: el primer mecanismo basado en una cámara de grabación por reflexión corneal fue el utilizado por Dodge

y Cline (1901); se denominó *cámara de lámina fugaz o fotocronógrafo*, y su uso permitió distinguir por primera vez los sacádicos de otros tipos de movimientos oculares (Dodge, 1903). Desde entonces, el avance espectacular de la tecnología ha posibilitado el desarrollo de sofisticados sistemas de registro ocular, especialmente en los últimos años. Los investigadores hemos tenido la suerte de pasar desde los complicados sistemas de registro, altamente invasivos e incómodos para el sujeto, de dificultosa calibración y con continuas pérdidas de registro, a los más modernos que prácticamente permiten plena libertad de movimiento del observador. A ello unido, un avance paralelo ha sido el impulso experimentado por el software de análisis de datos de registro. Hasta no hace muchos años, numerosos seguidores oculares enviaban su señal analógica que debía posteriormente ser almacenada en cintas magnéticas para, posteriormente, analizarse *off line*, requiriendo la elaboración de complejos algoritmos matemáticos con los que determinar la existencia de parpadeos o la misma existencia de fijaciones oculares. En la actualidad, los fabricantes incorporan software —propio o de terceras partes— que, implementado en un simple ordenador portátil, permite no sólo un sencillo análisis de los datos de interés, sino visualizar de forma *on line* la conducta exploratoria que el sujeto está realizando en ese mismo momento.

4.2.2. Técnicas de registro: videoculografía

Existen numerosas técnicas de registro, pero no todas son igualmente eficaces para los propósitos que un investigador persiga. Su uso debe ser sopesado dependiendo del objetivo de la investigación y del contexto psicológico o fisiológico específico. En el DVD se describe en detalle la vídeo-oculografía (VOG). Se trata de una técnica basada en propiedades óptico-físicas del ojo. A estos sistemas se les denomina *eye trackers* o seguidores oculares. Reciben este nombre porque su finalidad no es tanto el registro ocular para estudiar sus propiedades fisiológicas y dinámicas del ojo, sino la de determinar con el mayor grado de precisión la línea de mirada de un sujeto; es decir, determinar a qué zonas de un estímulo está mirando una persona sin necesidad de que ésta lo verbalice explícitamente.



FIGURA 2: Unidad de control del modelo ASL 504. En el monitor izquierdo se visualiza la escena presentada y la línea de la mirada; en el derecho se aprecia el ojo captado por la cámara ocular. El sujeto está ubicado en una dependencia anexa explorando la imagen de las flores que le están siendo presentadas sobre un monitor de ordenador (Laboratorio de Percepción y Movimientos Oculares, Departamento de Psicología Básica II, UNED).

Los *eye trackers* fundamentan su operación en determinadas propiedades ópticas (reflexiones) que exhiben diversas zonas del globo ocular y que, en último término, son las que definirán la técnica utilizada. Estas propiedades se ponen de manifiesto cuando un haz luz imperceptible —generalmente infrarroja— se emite hacia el ojo (figura 3). A partir de ahí, una cámara fotosensible de registro ocular detectará la señal infrarroja luminosa y la transmitirá a una unidad central de control, la cual, convenientemente programada y una vez realizada la calibración previa correspondiente, detectará con precisión el movimiento del globo ocular y, por ende, hacia qué punto del campo visual está mirando una persona. La luz infrarroja se emite hacia el ojo y genera un punto de reflexión corneal; la luz llega hasta el fondo ocular y allí se refleja externamente a través de la abertura pupilar. La cámara fotosensible capta las señales luminosas y las remite a la unidad central del *eye tracker*, donde se computa la línea de mirada mediante un algoritmo que maneja la posición relativa existente entre el punto de reflexión corneal y el centro pupilar.

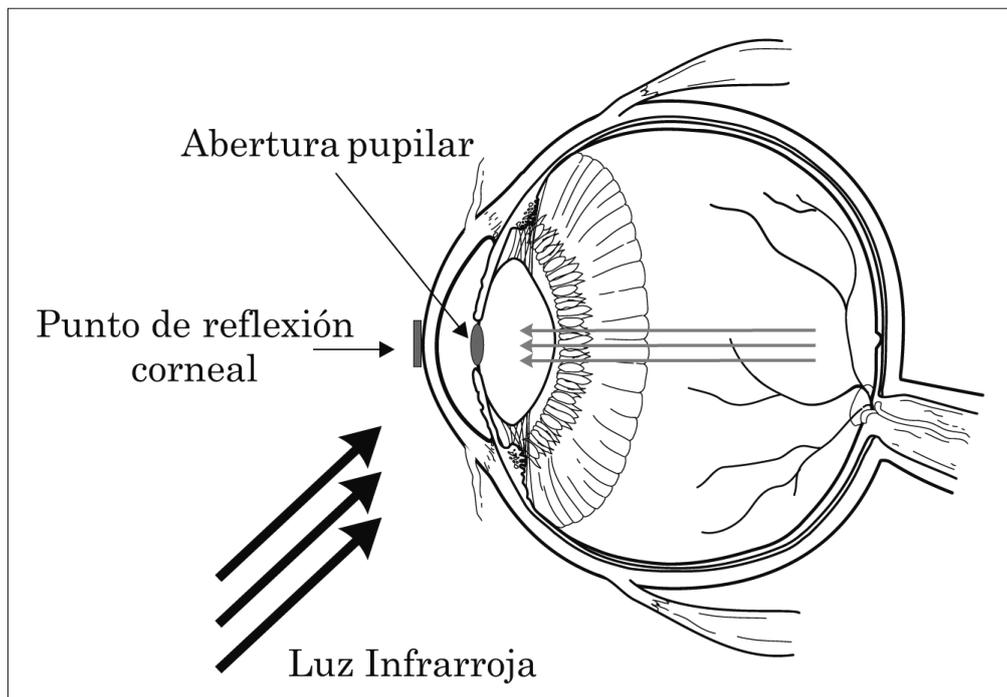


FIGURA 3: Principio de funcionamiento óptico de un *eye tracker* por reflexión corneal infrarroja.

4.2.3. Procedimiento de calibración

Para asegurar una correcta correspondencia entre la línea de mirada del sujeto y los datos obtenidos en el registro es necesario llevar a cabo el procedimiento de calibración. ¿Qué significa calibrar? Cada sujeto tiene sus particularidades —especialmente de anatomía ocular—, lo que obliga al investigador a adaptar el sistema para cada observador con el fin de garantizar unas condiciones óptimas de registro. Calibrar consiste en capturar adecuadamente el ojo (por ejemplo, la reflexión corneal y la pupila) y, a partir de ahí, obligar al sujeto a que mire sucesivamente a una pantalla. Esta pantalla suele estar definida por un conjunto de puntos (nueve puntos en la figura 4). Cada una de las posiciones de mirada no es sino el límite espacial del campo visual sobre el que el *eye tracker* efectuará el registro del ojo. Así, la pantalla de calibración define el espacio horizontal y vertical de registro mediante un sistema de ejes coordenados x e y , tal que cualquier posición de la mirada del sujeto que se registre quedará definida por dichas coordenadas (x, y) . Por norma general, durante la calibración, el experimentador indica al sujeto que mire a cada uno de los puntos y va introduciendo las posiciones mediante un botón del ratón o pulsador.

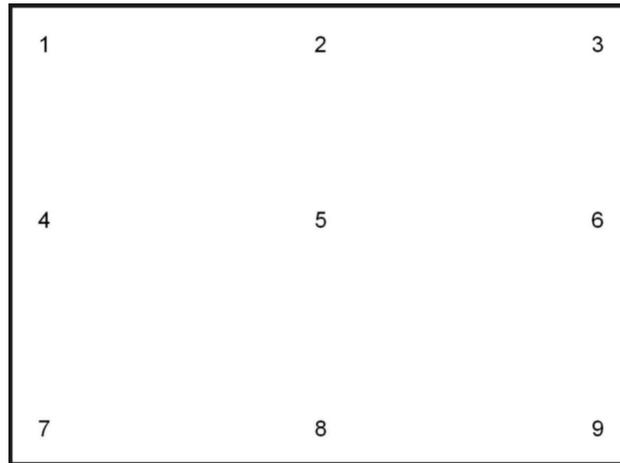


FIGURA 4: *Pantalla de calibración de nueve puntos. Define el espacio visual útil tal que cualquier estímulo a presentar deberá disponerse ubicado en el límite físico definido.*

Una vez obtenido el registro ocular de un individuo, el experimentador dispone de un conjunto de datos que le permitirán reproducir la conducta exploratoria del sujeto. El resultado de un registro ocular es lo que se denomina *scan path* (figura 5). Es una especie de garabato que se puede superimponer a la imagen explorada, reproduciendo los movimientos oculares del sujeto. Los círculos representan las fijaciones oculares —a mayor tamaño del círculo mayor la duración—; las líneas son los saltos sacádicos entre fijaciones —a mayor longitud de la línea mayor amplitud sacádica—. La amplitud sacádica nos indica la extensión del campo visual que está siendo explorada.

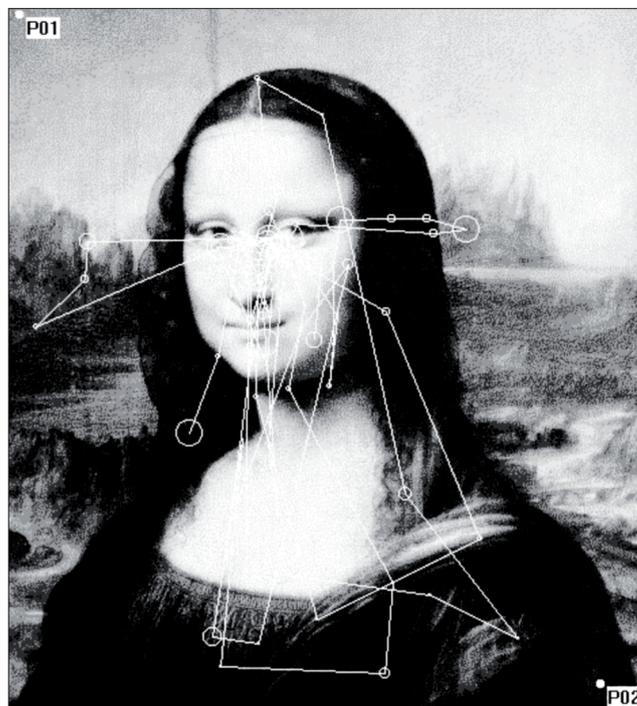


FIGURA 5: *Scan path* sobre la Gioconda. Las líneas representan el vector correspondiente al salto sacádico, mientras que los círculos representan las fijaciones oculares. Cuanto mayor es el tamaño del círculo mayor es la duración de la fijación ocular.

Por norma general, los fabricantes incorporan poderosas herramientas de software que permiten realizar análisis meticulosos de los datos registrados. Aunque cada fabricante tiene su propio software, en esencia, todo registro en bruto consta de cuatro elementos básicos. Suponiendo que trabajásemos con una cámara de 50 Hz. dispondríamos de un registro con líneas cada 20 ms que indicarían: el periodo temporal de la exploración, la posición X del ojo, la posición Y, y el tamaño pupilar. A partir de aquí, el software depura los datos y se calculan las fijaciones oculares siguiendo los algoritmos expuestos anteriormente. Por norma general, en las imágenes se definen zonas o áreas de interés (AOIs) sobre las que recaen las fijaciones (figura 6). Las AOIs nos van a permitir hacer análisis estadísticos comparativos entre unas y otras, considerando el número de fijaciones que ha recibido cada una, la duración media de las mismas, el número de entradas en una AOI (*dwells* o miradas) y/o las amplitudes sacádicas.

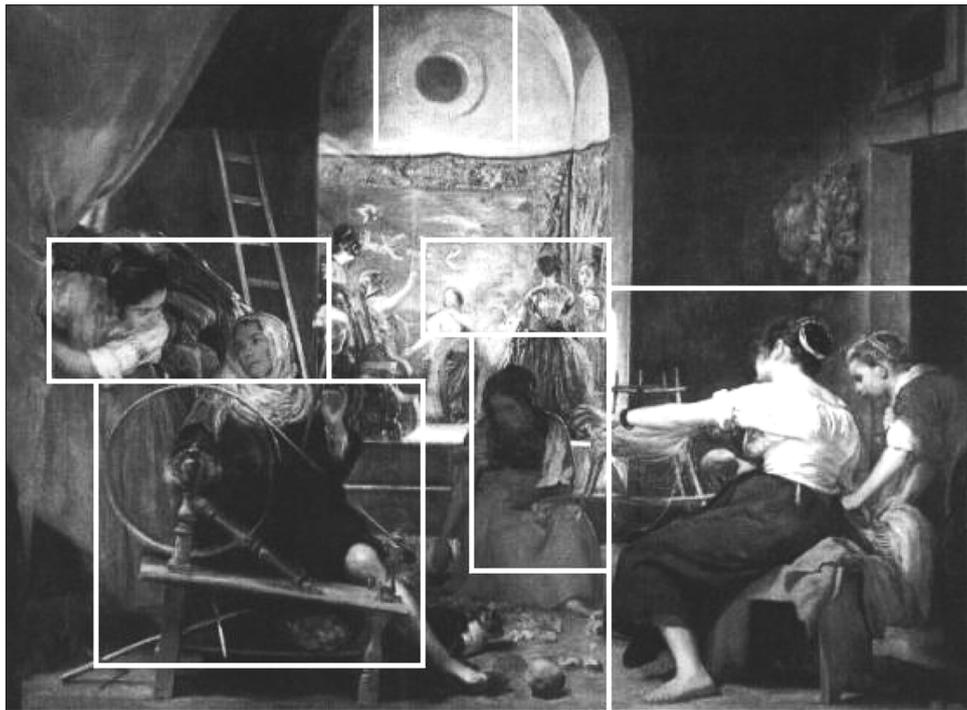


FIGURA 6: *Scan path* con áreas de interés.

4.3. Tipos de movimientos oculares

Para el profano, el movimiento del ojo puede parecer una actividad relativamente simple: una imperfecta *esfera ocular* orbita en dirección izquierda/derecha y arriba/abajo, pareciendo detenerse a veces cuando se dirige la mirada hacia algún objeto o zona del espacio. Sin embargo, la realidad contradice este pensamiento intuitivo. Contrariamente a esta supuesta experiencia, hay dos aspectos que deben tenerse muy presentes. Primero, el ojo de una persona (sin patologías) nunca está totalmente estático, la realidad es que se están produciendo continuamente pequeños micro movimientos. Segundo, el ojo no se mueve aleatoriamente de una posición a otra, sino que sigue una conducta propositiva o teleológica; así, cuando desplazamos nuestros ojos, lo hacemos por dos motivos: para dirigir la mirada hacia aquellos objetos de interés que deben ser procesados cognitivamente y para que las imágenes se dispongan adecuadamente en la fovea y obtengamos una percepción lo más nítida posible (Leigh y Zee, 1991).

A pesar de la complejidad y multitud de movimientos oculares, en el DVD se ha decidido conceder especial relevancia a los movimientos sacádicos ya que son los que más directamente se encuentran vinculados con la exploración y, por consiguiente, con la atención visual.

4.3.1. El salto sacádico

Los sacádicos son los movimientos oculares más rápidos y característicos. Su finalidad es la de disponer los estímulos en la fovea, que es la zona de mayor agudeza visual. Ejecutamos sacádicos cuando, por ejemplo, exploramos el ambiente o leemos; tal es su importancia durante el procesamiento visual que, a lo largo de un día, se ha estimado que una persona puede ejecutar una media de unos 230.000.

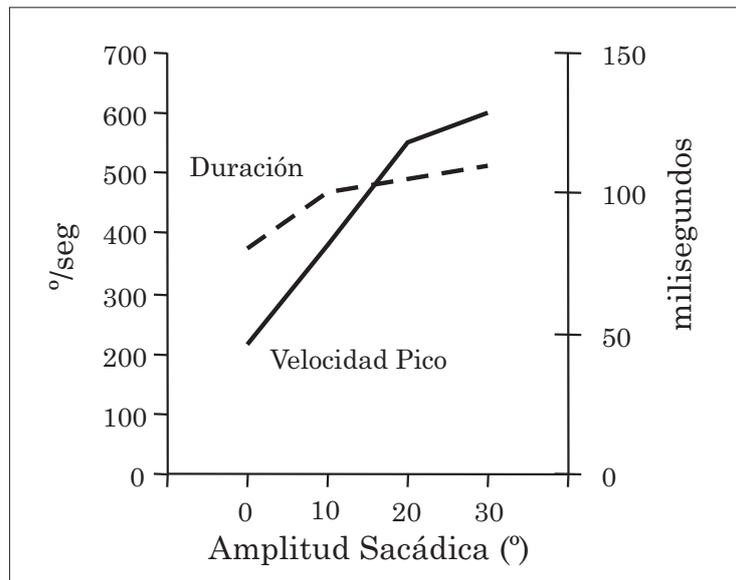


FIGURA 7: Relaciones entre amplitud sacádica, velocidad y duración.

Un sacádico se caracteriza por un rasgo particular (figura 7): la relación directa existente entre la amplitud sacádica y la velocidad punta, así a mayor amplitud del movimiento, mayor velocidad. A esta relación se le denomina *the main relation*. Observe que un sacádico de 30° puede alcanzar velocidades de 600%/seg.; incluso se han detectado velocidades de hasta 700 %/seg. con amplitudes sacádicas de 80°. Sin embargo, es posible que, en estas últimas medidas, se solape el movimiento ocular con el desplazamiento de la cabeza, pues el área de desplazamiento de un sacádico, manteniendo la cabeza estática, es de unos 30°. Los sacádicos, por tanto, aparentan ser movimientos balísticos, dada la velocidad que alcanzan y porque una vez iniciados resulta dificultosa su paralización. Un segundo parámetro del sacádico concierne a su duración, que también está vinculada directamente a la amplitud sacádica: un movimiento sacádico que se desplace 30° ocupa poco más de 100 ms. Finalmente, un tercer parámetro, con enorme repercusión en el ámbito del control del procesamiento de la información, se refiere a la *latencia sacádica*; es decir, el tiempo que transcurre desde la aparición de un estímulo al inicio del movimiento sacádico. La latencia sacádica en condiciones estándar oscila entre 175-250 ms., con una distribución asimétrica negativa (Becker, 1991; Leigh y Zee, 1991). Además es importante destacar que, entre sacádicos sucesivos, existe un *periodo refractario motor* de unos 175 ms., con un rango que oscila entre 100 y 200 ms (Becker, 1991; Carpenter, 1988; Leigh y Zee, 1991; Young y Sheena, 1975).

Durante la ocurrencia del sacádico se ocasiona el denominado fenómeno de *supresión sacádica*, es decir, durante el movimiento, la recogida de información visual del medio queda prácticamente interrumpida (aunque no en su totalidad). Una experiencia que permite comprobar el fenómeno de supresión sacádica consiste en ponerse delante de un espejo y tratar de observar el movimiento de nuestros propios ojos: casi con toda la seguridad, lo único que podremos percibir será una imagen estática de los mismos y nunca el movimiento porque cada vez que éste se realiza se interrumpe la recogida de información.

Los sacádicos pueden ser involuntarios o voluntarios. Un sacádico involuntario está altamente automatizado y su ejecución estaría controlada estímulamente: e.g., tras escuchar un estrepitoso ruido se ocasiona una respuesta de orientación y se dirigen los ojos hacia el lugar de donde proviene. También son sacádicos involuntarios los ejecutados en la fase REM (*rapid eye movements*) del sueño. Por su parte, los sacádicos voluntarios están dirigidos por metas, siendo la persona la que pone en marcha los mecanismos cognitivos adecuados para ejecutar el movimiento, con objeto de dirigir la mirada hacia la zona que es de su interés, tal y como sucede cuando se contempla un cuadro. Es por ello que el registro de los movimientos sacádicos, y de las fijaciones oculares que entre ellos se disponen, permitirá a los investigadores extraer interesantes conclusiones acerca de la actividad cognitiva que se pone en marcha en determinadas actividades, como la exploración visual o la lectura.

4.3.2. Fijaciones oculares

Entre saltos sacádicos se disponen las fijaciones oculares. En ellas los ojos permanecen relativamente estables para enfocar una zona concreta de la escena durante periodos de tiempo muy breves, por término medio entre 200 a 350 ms. Como se ha mencionado anteriormente, el término «fijación» no denota que el ojo esté totalmente estacionario. Durante lo que denominamos fijaciones oculares, se ocasionan micro movimientos de fijación involuntarios, con una amplitud generalmente inferior a 1° de ángulo visual, y cuya misión es ubicar la imagen lo más exactamente posible en la fóvea. Con lo cual, se suele definir funcionalmente una fijación como el momento en el que el ojo se queda relativamente estable dentro de un área de 1° x 1° de ángulo visual, durante al menos 100 ms. Una fijación ocular es un complejo proceso, en el que se han identificado dos componentes que pueden estar más o menos solapados (Salthouse y Ellis, 1980; Viviani, 1990): un primer componente queda definido por el periodo refractario motor entre movimientos sacádicos de unos 175 ms., con un rango que oscila entre 100 y 200 ms.; un segundo componente está vinculado al procesamiento cognitivo (con una duración mínima de unos 50 ms.), el cual está influido por numerosos factores, pero en el que se determina qué zonas del estímulo se atienden, cómo se integra la información anterior y venidera, a qué zonas de la periferia visual se debe prestar atención y a qué zonas de la escena se dirigirá la siguiente fijación ocular. Por ello, las fijaciones son el parámetro ocular más ampliamente utilizado por los psicólogos de la percepción y la atención.

4.4. Parámetros oculares en el estudio de la atención y percepción visual

Como sabemos, durante la ejecución de un movimiento sacádico —debido a la velocidad pico que éste puede alcanzar y a la naturaleza balística— es prácticamente imposible recoger información significativa que ayude a redirigir el ojo, ocasionándose el fenómeno de *supresión sacádica*. Este fenómeno, unido a la naturaleza balística del sacádico, tienen una importante consecuencia que repercute en su programación, y es que el salto sacádico no puede decidirse durante el tiempo que ocupa su ejecución, sino que debe computarse durante la fijación ocular precedente. El control y la programación sacádica han estado estrechamente vinculados al control atencional.

4.4.1. Control atencional endógeno y exógeno y actividad sacádica

El mecanismo atencional es fundamental durante el control del procesamiento. La información directamente atendida es la que se dispone en la fóvea; pero, dado que ésta es una diminuta zona del campo visual, es necesario recurrir a un adecuado escrutinio atencional periférico para garantizar una correcta programación del salto sacádico. Antes de pasar a analizar las relaciones entre movimientos oculares y atención debemos diferenciar el control atencional exógeno del endógeno y los cambios atencionales abiertos de los encubiertos.

Un aspecto importante en el estudio de la cognición visual lo constituye el conocimiento que tenemos acerca de los mecanismos de control atencional. Una primera posibilidad es que las propiedades de los estímulos del medio controlen nuestra atención, con independencia de las metas que persigamos: en este sentido es conocido que la aparición súbita de un estímulo puede controlar nuestra atención (Yantis y Jonides, 1990) dirigiendo nuestra mirada hacia el mismo, por muy irrelevante que pueda ser para la tarea (Theeuwes et al., 1999). En estos casos el control atencional es exógeno (o extrínseco), está estrechamente relacionado con mecanismos de procesamiento *bottom-up* (abajo-arriba), y se dice que está dirigido por estímulos que, de forma involuntaria, están dirigiendo la atención. La posibilidad alternativa es que los cambios atencionales estén controlados por nuestras propias metas y propósitos, tal que controlemos la atención hacia aquellas fuentes de información relevantes para la tarea en curso. Hablaríamos ahora de un control atencional endógeno (o intrínseco), estrechamente relacionado con mecanismos de procesamiento *top-down* (arriba-abajo), que estaría dirigido por metas o planes que, de forma voluntaria, dirigen la atención.

Un desplazamiento atencional exógeno resulta difícil de inhibir o suprimir, aunque no imposible. Suponga, por un momento que, caminando, escucha un estrepitoso ruido tras de usted; el sonido captará su atención de manera abierta e involuntaria, siendo su respuesta más probable la de girarse para ver qué ha sucedido. Por su parte, un desplazamiento atencional endógeno hace referencia a la presencia de un estímulo simbólico que debe ser interpretado; por ello, una vez iniciado, puede ser modificado e incluso suprimido. En el ejemplo, cabe la posibilidad de que el ruido que usted escucha sea de un cohete que unos traviesos niños han explotado; pero, al reconocer el sonido, usted decide no dirigir en este caso su atención y seguir su camino. Observe que, en el primer caso, el sonido no es identificado conceptualmente y, de forma involuntaria, está controlando su atención, mientras que en el segundo supuesto usted está poniendo en marcha mecanismos de interpretación cognitiva.

Una cuestión añadida es cómo se selecciona la información del entorno mediante cambios atencionales abiertos o cambios atencionales encubiertos. Habitualmente, cuando exploramos un ambiente existe una estrecha relación entre movimientos atencionales y movimientos oculares. Por norma general, nuestra mirada se dirige hacia aquellas zonas a las que prestamos atención durante la exploración de una escena. En estas situaciones se produce un cambio atencional *abierto* que permite dirigir el sacádico hacia la zona de interés. Sin embargo, no es menos cierto que, en otras ocasiones, puede producirse un cambio atencional *encubierto* hacia otras zonas del campo visual —periferia— a pesar de que nuestra mirada permanezca relativamente estable durante el tiempo que ocupa una fijación ocular. En conclusión, la relación entre cambio atencional y movimientos oculares, aún siendo estrecha, es de parcial interdependencia: la ejecución de un sacádico exige redirigir la atención hacia una zona relevante de la escena, aunque es factible realizar cambios atencionales encubiertos que no precisan de movimientos sacádicos.

Avanzando un paso más, debemos interrogarnos ahora acerca de las relaciones existentes entre atención y movimiento ocular cuando la tarea exige ejecutar un sacádico. En este ámbito existen dos grandes categorías de teorías. Una primera —la que cuenta con mayor evidencia empírica— admite que, para que se ejecute un sacádico, la atención debe orientarse previamente a la zona hacia la que se dirigirá el salto; la propuesta alternativa admite sistemas de control independientes, tal que un sacádico hacia una dirección determinada no requerirá preceptivamente de un cambio atencional previo.

4.4.2. Control atencional y localización de las fijaciones oculares

Hasta ahora, se han discutido las relaciones entre actividad sacádica y atención. El sacádico dirige la mirada hacia la zona de interés visual y permite disponer la información en la fovea. Entre sacádicos se disponen las fijaciones oculares, que son otro de los parámetros a los que se recurre habitualmente para intentar comprender el funcionamiento cognitivo en tareas como la lectura o la exploración visual de escenas. Los *scan paths* resultantes se verán altamente influen-

ciados por las demandas que imponga la tarea o por los propios objetivos y metas que persiga el observador. Por ejemplo, Buswell (1935) demostró que las personas que visualizaban imágenes (obras de arte) no lo hacían de forma arbitraria sino que, dependiendo de las instrucciones suministradas, tendían a dirigir su mirada hacia aquellas zonas supuestamente más informativas. También Yarbus (1967), utilizando la obra *Un visitante inesperado* de Repin, comprobó que si solicitaba a los sujetos estimar la edad de las personas de la escena las fijaciones tendían a concentrarse en los rostros, mientras que si requería que se dieran detalles sobre el contexto las fijaciones tendían a localizarse de forma más dispersa sobre otros elementos materiales de la escena. Mackworth y Morandi (1967) dividieron en sesenta y cuatro regiones un par de fotografías: un grupo de sujetos juzgó en una escala el grado de información que suministraba cada región, teniendo en cuenta la facilidad con la que serían reconocidas en posteriores presentaciones. Con posterioridad, a otro grupo de sujetos les fue solicitada una exploración libre de ambas fotografías con objeto de decidir cuál de las dos preferían. Los resultados mostraron tres datos de interés: primero, una elevada relación entre el grado de información asignado a cada zona y el número de fijaciones que recibía; segundo, las zonas informativas tendían a recibir fijaciones en los primeros dos segundos de exploración, sugiriendo que la región más informativa era mucho más rápidamente detectada que la menos informativa. Tercero, las zonas estimadas como de baja información apenas recibían fijaciones.

Los trabajos citados anteriormente parecen sugerir que la ubicación de las fijaciones oculares está determinada por la información presente en las diferentes regiones de la escena, información que es útil para la tarea de exploración encomendada. Sin embargo, estos trabajos exhiben una debilidad metodológica que no se ha controlado: cuando se habla de zonas informativas no sabemos muy bien si el término *información* alude a elementos puramente perceptivos, es decir, a rasgos visuales del estímulo que pondrían en marcha mecanismos *bottom-up*; o si, alternativamente, en la región existe una información de naturaleza semántica que exigiría interpretación conceptual con la consiguiente participación de procesos *top-down* —e.g. el significado conceptual de una región de la imagen y su importancia dependiendo de la tarea exigida—. Esta disociación es de gran importancia, pues si utilizamos las fijaciones oculares como parámetros de procesamiento, debemos saber si éstas reflejan operaciones puramente visuales, operaciones cognitivas de carácter semántico, o una combinación de ambas y, en este último caso, se haría preciso conocer, según el transcurso temporal del procesamiento, de qué forma se combinan los procesos de naturaleza visual con aquellos otros de índole conceptual. Por ello, para disociar entre ambas posibilidades, el primer paso obliga a diseñar condiciones en las que se mantenga constante la información visual de la escena manipulando la información semántica presente (Henderson y Hollingworth, 1998, 1999).

Loftus y Mackworth (1978) fueron uno de los primeros grupos de investigación que afrontaron esta disociación. Propusieron el concepto de *informatividad semántica* que alude al grado en el que un objeto en una escena es predecible en el contexto de la misma: así, un objeto congruente con una escena (e.g. un tractor en una granja o un pulpo en el fondo marino) es algo muy predecible y, por tanto, su informatividad es baja; sin embargo, un pulpo en una granja o un tractor en el fondo del mar es algo incongruente, poco predecible, y, por tanto, en estas situaciones, los mismos estímulos dispondrían ahora de alta informatividad semántica. Loftus y Mackworth pidieron a sus sujetos que explorasen imágenes como las descritas durante cuatro segundos, con el propósito de afrontar un test de memoria posterior. Analizando el patrón de exploración visual los resultados mostraron que existía una alta probabilidad de que los participantes tendieran a fijarse en los objetos inconsistentes (con alta informatividad) con posterioridad al primer sacádico sobre la escena, lo que parecía indicar que la detección de las zonas con importancia semántica era temprana durante la exploración de una imagen. Congruente con esta propuesta, son los datos más recientes obtenidos en trabajos experimentales realizados en el contexto del control atencional. Por ejemplo, Gordon (2004) mostró a sus sujetos escenas con objetos incongruentes (muy informativos) o congruentes (poco informativos) durante breves periodos de tiempo. Tras su retirada aparecía una máscara que incluía una marca o señal (*probe*). Los sujetos debían detectar, lo más rápidamente posible, la presencia de la señal e identificar el estímulo que ocupaba dicha posición (*spatial-probe task*). Los resultados mostraron que los TRs ante señales que se ubicaban en

posiciones ocupadas por objetos informativos fueron mucho menores que los correspondientes TRs para los poco informativos, datos que fueron interpretados como una tendencia a localizar la atención visual hacia las zonas más significativas de una escena durante los primeros 150 ms aproximadamente.

Curiosamente, trabajos posteriores no han ratificado los descubrimientos previos de Loftus y Mackworth, demostrando que éste no parece ser el patrón general de ubicación de las fijaciones durante los primeros momentos de exploración de una imagen. Algunos investigadores han discutido exhaustivamente la posibilidad de que el trabajo de Loftus y Mackworth pueda verse afectado por algún tipo de error técnico o metodológico (Henderson y Hollingworth, 1998, 1999): al parecer, los resultados obtenidos pudieron estar contaminado debido al sistema de *eye tracking* utilizado (propio de la época), que proporcionaba muy baja resolución. A ello unido, es factible que en sus escenas existiera una alta correlación entre informatividad semántica e informatividad visual, de tal modo que lo que se creía que era debido a la primera lo fuera, en realidad, a la segunda. Finalmente, las escenas de Loftus y Mackworth fueron visualmente muy simples, especialmente cuando se comparan con las empleadas en los estudios posteriores; la simplicidad visual puede evitar la presencia de enmascaramiento periférico, siendo mucho más fácil para los observadores proceder directamente con el análisis semántico de los objetos presentes en la escena: en este sentido, las amplitudes sacádicas medias en el trabajo de Loftus y Mackworth oscilaron en torno a los 7°, mientras que en los trabajos posteriores, utilizando imágenes visualmente más complejas, rondaron entre los 3° y 4° de ángulo visual. Por su parte, el trabajo de Gordon (2004) debe ser manejado con cierta cautela en el contexto que nos ocupa por tres razones. Primera, desde un punto de vista metodológico no utiliza técnicas directas de *eye tracking*, sino un paradigma experimental de detección de una señal (*probe*) ubicada espacialmente, por lo que sus inferencias se basan en datos de TRs exclusivamente. Segunda, dados los brevísimos tiempos de exposición estimular, en este trabajo se están analizando más bien los cambios atencionales encubiertos hacia zonas de mayor o menor informatividad, pero no se pueden extraer conclusiones fiables acerca de cómo transcurre temporalmente la exploración visual de escenas en periodos mucho más amplios. Finalmente, las exigencias de la tarea son distintas a las de otros trabajos realizados en este contexto, pues las instrucciones suministradas al sujeto insisten en la detección de la señal espacial y en la identificación semántica del objeto que allí se ubica; es por ello que las demandas propias de la tarea, desde el primer momento, puedan estar obligando al sujeto a poner en marcha mecanismos *top-down* en detrimento de los *bottom-up*, favoreciendo la interpretación conceptual de las diversas regiones de la escena.

Otros trabajos más controlados, utilizando técnicas de movimientos oculares, comunican resultados no coincidentes con los de Loftus y Mackworth (1978) ni con los de Gordon (2004). Por ejemplo, De Graef, Christiaens y d'Ydewalle (1990) diseñaron una tarea de búsqueda visual en las que los sujetos debían explorar durante ocho segundos dibujos que correspondían a escenas de la vida real (una cocina, la barra de un bar...), debiendo detectar el número de no-objetos que descubrían. Un no-objeto correspondía a una forma volumétrica abstracta que no tenía nada que ver con el contexto de la escena presentada (e.g., la presencia de un tetraedro situado sobre la encimera de una cocina). Utilizando una disposición semejante a la de Loftus y Mackworth, el grupo de De Graef no encontró evidencia alguna de que los objetos semánticamente informativos (no-objetos) recibieran fijaciones mucho antes que los objetos consistentes: en su trabajo, las primeras ocho fijaciones se dirigieron por igual a no-objetos que a objetos y, con posterioridad, los sujetos tendieron a fijarse antes en estos últimos.

Henderson, Weeks y Hollingworth (1999) también reportan evidencia empírica en el mismo sentido. En un primer experimento utilizaron una tarea semejante a la de Loftus y Mackworth, manipulando la informatividad semántica presente en una escena mediante la congruencia (e.g., una escena de una barra de bar en la que puede aparecer un vaso de cóctel o un microscopio, junto con la escena de laboratorio inversa). A los sujetos se les permitió explorar las imágenes durante 15 segundos, indicándoles que, con posterioridad, realizarán un test de memoria. Los resultados mostraron tres datos de interés: primero, después del primer sacádico era equiprobable que el sujeto se fijase en el objeto informativo o en el no informativo; segundo, el número

medio de sacádicos que transcurrieron antes de dirigir la primera fijación hacia el objeto fue semejante tanto para los objetos informativos como para los no informativos (once fijaciones previas); tercero, la amplitud sacádica que dirigió el ojo hacia el *target* fue semejante con independencia del tipo de objeto. En un segundo experimento, el grupo de Henderson diseñó una tarea de búsqueda visual con la pretensión de analizar las relaciones entre informatividad semántica y tiempo transcurrido hasta ubicar la primera fijación en el objeto. Por ejemplo, a los sujetos se les indicó que localizasen un vaso de cóctel (bien en la escena de laboratorio o bien en la escena del bar). La lógica del trabajo fue simple: si los primeros momentos de exploración visual están determinados por mecanismos cognitivos de interpretación semántica los objetos con alta informatividad (incongruentes con la escena: el vaso de cóctel en el laboratorio) serán identificados y fijados mucho más rápidamente que los no informativos (congruentes con la escena: el vaso de cóctel en el bar). Los resultados obtenidos no se adecuaron a las predicciones: detectar un objeto altamente informativo, requirió más fijaciones (un promedio de 3,5 fijaciones después del primer sacádico en la escena), que las empleadas para detectar el no informativo (3 fijaciones).

Una segunda cuestión que se ha analizado en los diversos trabajos se refiere a la densidad o número de fijaciones que, en el transcurso de la exploración, recibe una zona local de la escena. En este caso nos referimos, una vez definida una zona de interés local en la imagen y fijada una primera vez, al número total de fijaciones que recibe, o al número de veces que el sujeto redirige su mirada a la misma zona; tanto un caso como otro son indicios de que la zona está siendo atendida y, ahora sí, procesada semánticamente. La mayor parte de la investigación proporciona evidencia favorable al respecto. Ya hemos visto cómo las fijaciones en los trabajos de Buswell o los de Yarbus tienden a concentrarse y redirigirse a las áreas locales con contenido altamente significativo para la tarea que se exige; también Loftus y Mackworth (1978) demostraron en su trabajo que la zona local con alta informatividad (e.g., el pulpo en la granja) concentró la mayor parte de fijaciones; finalmente los resultados de Henderson et al. (1999) sugieren que, durante la presentación de escenas expuestas 15 segundos, el número de veces que la mirada retornaba a los objetos con alta informatividad fue significativamente superior (3,3 miradas) que lo que lo hizo hacia los no informativos (2,6 miradas).

A modo de resumen de la evidencia empírica podemos concluir que, las fijaciones oculares, durante el primer momento de exploración visual de una escena, no parecen estar dirigidas por el propósito de proceder a realizar un análisis semántico de las zonas locales específicas, sino que están en mayor medida dirigidas por el análisis de propiedades visuales. Durante los primeros momentos de exploración visual, la primera fijación permite identificar semánticamente la escena de forma global (la temática de la escena, lo que podría ser favorable a la propuesta de Loftus y Macworth, 1978 o la de Gordon, 2004), dirigiéndose las siguientes fijaciones a realizar un análisis perceptivo de la orientación y la ubicación —tanto a nivel global como a nivel local— de las diversas regiones. Evidencia añadida a esta propuesta proviene de determinados trabajos que han presentado escenas normales y la misma imagen filtrada a paso bajo (Mannan, Ruddock, Wooding, 1995, 1996, 1997): durante el primer segundo y medio no aparecen diferencias en la ubicación de las primeras fijaciones entre la imagen normal —cuyo contenido semántico es aparente— y las filtradas a paso bajo —en las que es imposible deducir un contenido semántico, pues sólo son visibles formas globales—. Por tanto, parece que las primeras fijaciones sirven, probablemente, para crear una representación visual de la escena explorada que permita un ulterior análisis foveal pormenorizado, en el que las subsecuentes fijaciones se redirijan y concentren sobre aquellas regiones locales de la escena que disponen de alta carga informativa y que son importantes semánticamente en función de la tarea exigida (Henderson y Hollingworth, 1999).

4.4.3. Control atencional y duración de las fijaciones

Se han analizado hasta el momento algunas cuestiones vinculadas a la ubicación de las fijaciones sobre la escena. Si el número de fijaciones que recibe un imagen, o el número de veces que se redirige la mirada, es un parámetro habitualmente utilizado cuando se analizan los *scan paths* o recorridos visuales, no es menos importante el análisis de la duración de la fijación ocular.

Ciertos trabajos experimentales (Henderson y Hollingworth, 1998) han realizado estimaciones de la duración media de una fijación ocular durante la exploración de escenas dependiendo del tipo de imagen utilizada (dibujos, fotografías o escenas por ordenador en 3-D). La figura 8 representa la distribución de frecuencias de la duración de las fijaciones y de las amplitudes sacádicas en función del tipo de imagen presentada. Como se observa, las distribuciones fueron bastante semejantes ante las diversas imágenes: el rango de valores de la fijación osciló desde los 100 ms hasta los 1000 ms, siendo el valor medio de la duración de unos 320 ms y la moda de 220 ms; para la amplitud sacádica, la moda reportada fue de unos $0,5^\circ$ de ángulo visual. En la misma figura se comparan los datos de exploración de imágenes con los obtenidos en una tarea de lectura utilizando el mismo sistema de *eye tracking*. La duración modal fue semejante tanto para las tareas de exploración escenas como para la tarea de lectura, aunque la variabilidad fue mucho menor en lectura, descubriéndose en esta última escasas fijaciones que superasen los 340 ms. Por su parte, como se puede apreciar en el gráfico, la amplitud sacádica modal es mucho más amplia para tareas de lectura pero, igualmente, mucho menos variable. En conclusión, parece que, en comparación con tareas de lectura, las propiedades temporales de las fijaciones oculares cuando exploramos imágenes o escenas tienden a exhibir mucha mayor variabilidad que las descubiertas en tareas de lectura.

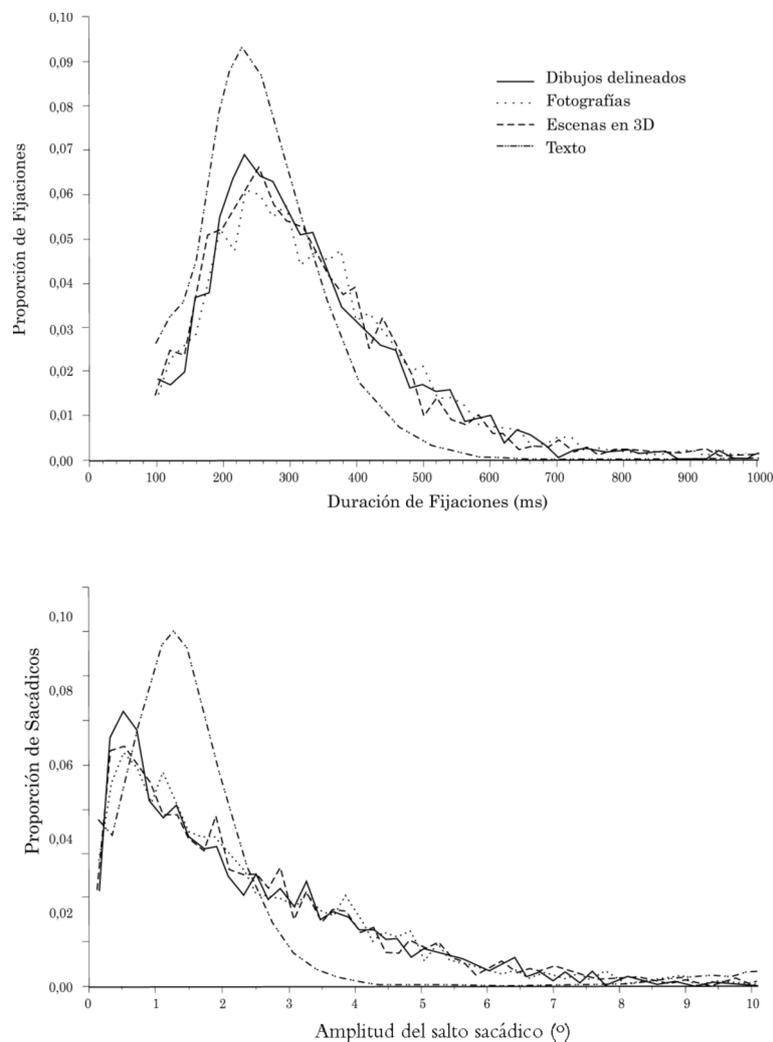


FIGURA 8: Distribución de frecuencias de la duración de las fijaciones y de las amplitudes sacádicas en función del tipo de imagen presentada (adaptado de Henderson y Hollingworth, 1998).

Datos semejantes a los aquí expuestos han sido reportados por otros autores (Leigh y Zee, 1991; Salthouse y Ellis, 1980; Viviani, 1990): la duración de una fijación en condiciones normales de exploración de imágenes, esto es, cuando es precedida por un sacádico, oscila entre 175-500 ms, con duraciones medias de 250-350 ms, dependiendo de la tarea, y con picos de hasta 1000 ms; durante la exploración visual los tiempos mínimos rara vez descienden de 175 ms, ni siquiera cuando se establecen manipulaciones con objeto de facilitar la tarea al sujeto e intentar que la fijación sea de menor duración.

Las operaciones implicadas durante las fijaciones son variadas. Se ha descubierto la participación de diversas actividades vinculadas al procesamiento de la información: (A) procesar la información foveal para asegurar la recogida de los contenidos más pertinentes; (B) ejecutar un muestreo del campo periférico redirigiendo encubiertamente la atención; y (C) planificar el siguiente salto sacádico. La información más detallada del estímulo que se está percibiendo se adquiere al inicio de la fijación, durante la fase de procesamiento foveal, mientras que la información periférica se recoge durante una fase posterior de la fijación (Viviani, 1990).

Con respecto a los componentes de procesamiento implicados en la duración de una fijación, la investigación ha puesto de manifiesto algunos datos de interés. Si el sujeto dispone su ojo estático, mirando hacia un punto de fijación, el tiempo mínimo necesario que garantiza la identificación estimular es de unos 100 ms. No obstante, 50 ms de exposición estimular permiten captar aproximadamente un 75% de la información (Salthouse y Ellis, 1980). En tareas de exploración de imágenes —en las que se produce desplazamiento ocular— la duración mínima del procesamiento cognitivo en el periodo de la fijación se ha estimado en unos 100-150 ms (Viviani, 1990). Además, analizando los efectos secuenciales de las fijaciones oculares, se ha demostrado que, si en la fijación previa se ha recogido suficiente información para tomar una decisión cognitiva, la fijación consecuente verá reducida su duración; este resultado es interesante y puede ser explicado mediante un mecanismo de pre-procesamiento periférico: dado que durante una fijación no sólo se atiende a la zona que se circunscribe a la *fóvea*, sino también a la periferia, la información allí contenida es preprocesada. Si se redirige la mirada hacia una zona periférica se deduce que la fijación será ahora de menor duración que si la zona hubiera quedado fuera del campo visual y se mirase por primera vez (Nattkemper y Prinz, 1986, 1990).

Sabemos que los sacádicos desplazan el ojo para disponer en la *fóvea* la información relevante del medio. También conocemos que, debido al fenómeno de supresión sacádica, no se recoge información alguna durante el movimiento ocular sobre la que tomar decisiones en el momento de dirigir el ojo. Por consiguiente, la programación del salto sacádico no parece decidirse durante su ejecución sino que ésta debe computarse durante la fijación ocular precedente. Durante el periodo de duración de una fijación ocular, la investigación tiende a admitir un modelo de naturaleza secuencial que operaría de la siguiente forma (Henderson, 1992): los primeros momentos de una fijación parecen dedicarse al análisis del estímulo foveal para, posteriormente, procesar el campo visual periférico, sobre cuya información se planificaría la ejecución del siguiente salto sacádico. Por consiguiente, el análisis de la imagen foveal se realizará en un momento temporal temprano y para su identificación no se precisará de información periférica añadida; sin embargo, una adecuada programación sacádica requerirá información periférica que se debe adquirir en un estadio ulterior.

La información foveal es de gran importancia durante los primeros momentos de una fijación, de modo que, si interrumpimos el procesamiento foveal temprano, la fijación tenderá a incrementar su duración. La manera más habitual de interrumpir un procesamiento es mediante el enmascaramiento o mediante la degradación de la imagen. Así, podemos enmascarar (un simple óvalo de ruido visual) o también degradar (manipulando contrastes o mediante el deterioro) la imagen foveal o la periférica durante una fijación ocular, y analizar cómo ello repercute en algunos parámetros oculares vinculados al procesamiento (duración y número de las fijaciones o amplitud sacádica). Por ejemplo, algunos grupos de investigación han utilizado tareas de búsqueda visual de localización de no-objetos. El aspecto más importante de estos trabajos no es tanto evaluar la eficacia que exhiben los sujetos en la detección de los no-objetos, sino analizar cómo determinados parámetros oculares se ven afectados cuando se enmascara o se degrada la infor-

mación foveal durante la fijación ocular. Utilizando *eye trackers* (junto a otros sofisticados procedimientos técnicos de enmascaramiento —paradigmas de escotoma y ventana móvil—) se ha descubierto que la degradación foveal de la imagen, desde su presentación hasta aproximadamente los primeros 100-120 ms, supone un incremento proporcional de la duración de la fijación ocular y, como consecuencia, un mayor tiempo total de exploración de la escena (van Diepen y d'Ydewalle, 2003; Van Diepen, De Graef y d'Ydewalle, 1995).

Análoga evidencia empírica se descubre también en el ámbito de la lectura, donde se ha descubierto que un enmascaramiento foveal que se aplique una vez transcurridos 50 ms desde el inicio de la fijación no tiene apenas efecto sobre el ritmo de lectura del sujeto (Rayner et al. 1981). Por tanto, parece que, durante los primeros milisegundos de duración de una fijación, la mayor parte del procesamiento cognitivo se ejecuta accediendo a la información contenida en la imagen foveal, admitiéndose que la información periférica, siguiendo las propuesta del modelo secuencial, no ejerce influencia en las primeras etapas, sino en las posteriores, cuando, una vez extraída la información foveal, se muestrea el campo periférico y se planifica el siguiente salto sacádico.

Sin embargo, investigaciones más recientes apuntan hacia la importancia que adquiere la información periférica durante los primeros momentos de una fijación. Por ejemplo, van Diepen y d'Ydewalle (2003) realizaron un conjunto de trabajos experimentales en los que analizaron cómo el enmascaramiento temprano, tanto foveal como periférico, afectaba a determinados patrones de conducta ocular. Utilizaron tareas de exploración de escenas en las que se insertaban no-objetos, debiendo el sujeto detectarlos de forma semejante a lo ya descrito anteriormente. Sus resultados demostraron que el enmascaramiento foveal temprano incrementaba la duración de la fijación ocular y el tiempo total de exploración de las escenas; paralelamente, debido al incremento en la duración de las fijaciones, se observó un decremento en el número de las mismas sobre la escena visual a explorar; finalmente, la amplitud del salto sacádico (medida mediante la amplitud del sacádico posterior a la fijación enmascarada) no se vio afectada. Sin embargo, sí que se descubrieron importantes efectos ocasionados por el enmascaramiento periférico temprano. Éste ocasionó un ligero incremento en la duración de la fijación, así como del tiempo total dedicado a la exploración visual de la escena, pero de mucha menor magnitud que el incremento descubierto en la condición de enmascaramiento foveal. El efecto más sorprendente fue el relacionado con la programación sacádica, reduciéndose la amplitud sacádica del siguiente salto (en grados de ángulo visual) conforme se incrementó la duración de la máscara periférica. Esta reducción de la amplitud sacádica fue debida a la falta de información disponible para planificar el salto sacádico, ocasionada por el enmascaramiento, debido a que el sacádico debe limitarse en su extensión y, por tanto, la hipotética ventana de exploración visual parece quedar reducida.

Tomados en conjunto, estos resultados son de gran importancia y sugieren dos hechos de indudable valor para un modelo de procesamiento cognitivo y control ocular: en los primeros momentos temporales de una fijación se está procesando de forma prioritaria la información foveal (tal como propone el modelo secuencial), pero también, en menor medida, se inicia un muestreo de la información periférica. Segundo, el sistema visual no espera a que se desenmascare la periferia para programar el salto sacádico: éste debe planificarse en el momento adecuado con independencia de la información de que se disponga. Si la información periférica no está disponible por encontrarse enmascarada se recurrirá a la información foveal para planificar el siguiente sacádico. Por consiguiente, resulta obvio que cuanto más inadecuado sea el muestreo de la información periférica (por estar enmascarado o degradado) el sacádico será menos amplio.

5. ORIENTACIONES DIDÁCTICAS

El DVD que le presentamos ha sido estructurado atendiendo a la secuenciación lógica que exige un primer contacto con el tema. En este sentido, se avanza desde los conocimientos más generales a los más específicos, permitiendo que los contenidos, al ser introducidos en este orden, sirvan de guía para la comprensión.

En consecuencia, le invitamos a que inicialmente lo visualice siguiendo el orden de los distintos capítulos, para poder tener una visión general sobre las técnicas de registro de los movimientos oculares y, posteriormente, incida en aquellos aspectos que le hayan suscitado más curiosidad. La propia estructura de este soporte le permitirá localizar con facilidad aquellos fragmentos en los que usted esté más interesado. Complementariamente, le sugerimos que recurra, bien a la presente guía didáctica (la mayoría de los aspectos tratados en ella replican, tanto la estructura como el contenido del DVD, con objeto de que sirvan de material complementario a los aspectos ilustrados —en este sentido, cabe reseñar que algunos contenidos se han ampliado para mejorar su comprensión—), bien al texto titulado *Fundamentos psicológicos de la actividad cardiovascular y oculomotora* (Cabestrero, Conde-Guzón, Crespo, Grzib y Quirós, 2005), para ampliar la información presentada. En ellos encontrará una descripción mucho más detallada que le permitirá llegar a un conocimiento más profundo, tanto de la tecnología descrita como de las teorías que explican los movimientos oculares que acontecen en el procesamiento de la información.

Recordamos al lector que el objetivo de este DVD no es otro que servir de introducción a aquellas personas interesadas en el registro de los movimientos oculares y su aplicación en distintos ámbitos psicológicos. En este sentido, se proporcionan abundantes ejemplos prácticos recogidos en el manejo de dichas técnicas en el laboratorio. No obstante, resulta indudable que, para un adecuado manejo de los sistemas de registro, es necesario un entrenamiento prolongado.

6. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ángulo visual	Ángulo que subtende un objeto determinado de la escena respecto del ojo del observador. Se suele medir en grados de arco.
AOIs (Areas Of Interest —Áreas de interés—)	Zonas predefinidas y delimitadas en una escena visual sobre las que se pretende analizar parámetros de movimiento ocular.
Bastones	Fotorreceptores sensibles a la luz de baja intensidad.
Calibración de un seguidor de movimientos oculares	Procedimiento mediante el cual se asegura una correcta correspondencia entre la línea de mirada del sujeto y los datos obtenidos en el registro.
Células fotorreceptoras	Células de la retina sensibles a la luz (conos y bastones).
Congruencia informativa	Grado en el que el contenido semántico de un objeto de la escena se corresponde con el contexto en el que se encuentra. Un objeto con alta congruencia informativa podría ser un microscopio en un laboratorio. Por el contrario, un objeto con baja congruencia informativa sería una copa de cóctel en un laboratorio.
Conos	Fotorreceptores responsables de la agudeza visual cuando existe buena iluminación.
Control atencional	Mecanismo por el que la atención es dirigida a un determinado objeto de la escena en función de las exigencias de la tarea.
Córnea	Tejido transparente que cubre la parte anterior del ojo.
Cristalino	Tejido trasparente situado detrás del iris del ojo. Su función es focalizar la imagen sobre la retina.
Enmascaramiento foveal	Deterioro de un estímulo mediante una máscara que impide la visión de la información situada en la fovea.

Enmascaramiento periférico	Deterioro de un estímulo mediante una máscara que impide la visión periférica.
Eye-tracker o seguidor ocular	Dispositivo que permite el registro de las variaciones de posición del ojo durante la exploración visual.
Fijación ocular	Parámetro ocular que describe aquellos momentos en los que los ojos permanecen relativamente estables con el objeto de enfocar una zona concreta de la escena durante periodos de tiempo muy breves en torno a 250-300 ms. Se estima que una fijación se corresponde con momentos en los que el ojo permanece relativamente quieto durante al menos 100 ms dentro de un área de 1° x 1° de ángulo visual.
Filtro paso bajo	Filtro visual caracterizado por permitir el paso de las ondas con frecuencias espaciales por debajo de un valor determinado y atenuar las frecuencias más altas a dicho valor.
Fóvea	Pequeña depresión en la retina con alta densidad de conos. Constituye la zona de mayor agudeza visual.
Fovéola	Parte central de la fóvea constituida por conos extraordinariamente finos. Es la región de mayor agudeza visual.
Informatividad semántica	Grado en el que un objeto en una escena es predecible en el contexto de la misma.
Latencia sacádica	Tiempo que transcurre desde la aparición de un estímulo al inicio del movimiento sacádico.
Mácula lútea	Zona situada en el centro de la retina, de unos 5 mm de diámetro, rica en conos y especializada en captar detalles. El centro de la mácula dispone de una pequeña depresión denominada fóvea.
Modelos de Control Compartido	Conjunto de teoría que establecen que el control atencional media en la programación de los sacádicos. Entienden que la atención no puede ser mantenida en una localización mientras que los ojos son dirigidos a otra localización distinta.
Modelos de Control Independiente	Conjunto de teorías que establecen que los ojos pueden ser dirigidos a una localización espacial sin necesidad de que se produzca un cambio atencional concomitante o previo.
Procesamiento cognitivo	Conjunto de manipulaciones que la mente hace sobre la información que maneja.
Programación sacádica	Proceso mediante el cual el individuo proyecta su próximo salto sacádico en función de la información obtenida durante la fijación ocular.
Pupila	Abertura generada por el iris que regula la entrada de luz al ojo. Cuanta más luz llega al mismo más pequeño se hace su diámetro.
Reflexión infrarroja corneal	Cambio de dirección de un haz de luz infrarroja cuando éste incide sobre la córnea durante el registro del movimiento del ojo.

Salto sacádico	Movimiento fundamentalmente voluntario de los ojos que permite visualizar diversas zonas de una escena. Se utilizan para dirigir la mirada y, de este modo, facilitar la recogida de información. Su objetivo es el de disponer la imagen visual en la fóvea.
Scan path	Representación gráfica que muestra el recorrido ocular exploratorio sobre una imagen
Técnica de escotoma móvil	Técnica experimental que consiste en superponer un disco negro sobre la zona donde recae la mirada del observador, disponiendo éste exclusivamente de visión periférica.
Técnica de ventana móvil	Técnica experimental que consiste en enmascarar toda la escena, salvo una ventana que coincide con la mirada, lo que significa que el observador sólo dispone de visión foveal.
Videoculografía	Método de registro del movimiento del ojo basado en las propiedades óptico-físicas del mismo. A los aparatos técnicos de videoculografía se les denomina eye trackers o seguidores oculares. Reciben este nombre porque su finalidad no es tanto el registro ocular para estudiar sus propiedades fisiológicas y dinámicas del ojo, sino la de determinar con el mayor grado de precisión la línea de mirada de un sujeto.
Visión parafoveal	Porción de visión que se produce con las regiones más excéntricas de la fóvea.

7. REFERENCIAS

- BECKER, W. (1991). Sacaddes. En R.H.S. Carpenter (Dir.), *Eye movements* (pp. 95-137). Londres: MacMillan.
- BUSWELL, G. T. (1935). *How people look at pictures*. Chicago: University Press.
- CABESTRERO, CONDE-GUZÓN, CRESPO, GRZIB y QUIRÓS (2005). *Fundamentos psicológicos de la actividad cardiovascular y oculomotora*. Madrid: UNED.
- CARPENTER, R.H.S. (1988). *Movements of the eyes*. (2.^a ed.). Londres: Pion
- DE GRAEF, P., CHRISTIAENS, E. Y D'YDEWALLE, G. (1990). Perceptual effects of scene context on object identification. *Psychological Research*, 52, 317-329.
- DODGE, R. (1903). Five types of eye-movement in the horizontal meridian plane of the field of regard. *American Journal of Physiology*, VIII, 307-329.
- DODGE, R. y CLINE, T. S. (1901). The angle velocity of eye-movements. *Psychological Review*, 8, 145-157.
- GORDON, R. D. (2004). Attentional allocation during the perception of scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(4), 760-777.
- Grzib, Quirós, Cabestrero y Crespo, (2006). *Metodología de investigación básica: proceso de adquisición de señales fisiológicas*. Madrid: UNED.
- HENDERSON, J. M. (1992). Visual attention and eye movement control during reading and picture viewing. En K. Rayner (Dir.), *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading* (pp. 260-283). Nueva York: Springer-Verlag.
- HENDERSON, J. M. y HOLLINGWORTH, A. (1998). Eye movements during scene viewing: An overview. En G. Underwood (Dir.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 269-293). Oxford: Elsevier.

- HENDERSON, J. M. y HOLLINGWORTH, A. (1999). High-level scene perception. *Annual Review of Psychology*, 50, 243-271.
- HENDERSON, J. M., WEEKS JR., P. A. y HOLLINGWORTH, A. (1999). Eye movements during scene viewing: Effects of semantic consistency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 210-228.
- LEIGH, R. J. y ZEE, D.S. (1991). *The neurology of eye movements*. Philadelphia: Davis.
- LOFTUS, G. R. y MACKWORTH, N. H. (1978). Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 565-572.
- MACKWORTH, N. H. y MORANDI, A.J. (1967). The gaze selects informative details within pictures. *Perception and Psychophysics*, 2, 547-552.
- MANNAN, S., RUDDOCK, K. H. y WOODING, D. S. (1995). Automatic control of saccadic eye movements made in visual inspection of briefly presented 2-D images. *Spatial Vision*, 9, 363-386.
- MANNAN, S., RUDDOCK, K. H. y WOODING, D. S. (1996). The relationship between the location of spatial features and those of fixations made during visual examination of briefly presented images. *Spatial Vision*, 10, 165-188.
- MANNAN, S., RUDDOCK, K. H. y WOODING, D. S. (1997). Fixation sequences made during visual examination of briefly presented 2D images. *Spatial Vision*, 11, 157-178.
- NATTKEMPER, D. y PRINZ, W. (1986). Saccade amplitude determines fixation duration: Evidence from continuous search. En J.K. O'Regan y A. Lévy-Schoen (Dir.), *Eye movements: From physiology to cognition* (pp. 285-292). Amsterdam: North-Holland.
- NATTKEMPER, D. y PRINZ, W. (1990). Local and global control of saccade amplitude and fixation duration in continuous visual search. En R. Groner, G. d'Ydewalle y R. Parham (Dir.), *From eye to mind: Information acquisition in perception, search, and reading* (pp. 91-101). North-Holland: Elsevier.
- RAYNER, K., INHOFF, A. W., MORRISON, R. E., SLOWIACZEK, M. L. y BERTERA, J. H. (1981). Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 167-179
- SALTHOUSE, T. A. y ELLIS, C. L. (1980). Determinants of eye fixation duration. *American Journal of Psychology*, 93, 207-234.
- THEEUWES, J., KRAMER, A. F., HAHN, S., IRWIN, D. E. y ZELINSKY, G. J. (1999). Influence of attentional capture on oculomotor control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1595-1608.
- VAN DIEPEN, P. M. J. y d'Ydewalle, G. (2003). Early peripheral and foveal processing in fixations during scene perception. *Visual Cognition*, 10 (1), 79-100.
- VAN DIEPEN, P. M. J., DE GRAEF, P. y d'YDEWALLE, G. (1995). Chronometry of foveal information extraction during scene perception. En J. M. Findlay, R. Walker y R. W. Kentridge (Dir.), *Eye movement research: Mechanisms, processes and applications* (pp. 349-362). Amsterdam: Elsevier.
- VIVIANI, P. (1990). Eye movements in visual search: cognitive, perceptual, and motor control aspects. En E. Kowler (Dir.), *Eye movements and their role in visual and cognitive processes* (pp. 353-393). Amsterdam: Elsevier.
- WRIGHT, R. D. y WARD, L. M. (1998). The control of visual attention. En R. D. Wright (Dir.), *Visual attention* (pp. 132-186). Nueva York: Oxford University Press.
- YANTIS, S. y JONIDES, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: Voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16, 121-134.

YARBUS, A.L. (1967). *Eye movements and vision*. Nueva York: Plenum Press.

YOUNG, L.R. y SHEENA, D. (1975). Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 7(5), 397-429.

8. BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA Y COMENTADA

BECKER, W., DEUBEL, H. y MERGNER, T. (Eds.) (1999). *Current oculomotor research. Physiological and psychological aspects*. Nueva York: Kluwer. Excelente manual que abarca un conjunto importante de diversos trabajos desde la neurociencia.

CABESTRERO, R., CONDE-GUZÓN, P., CRESPO, A., GRZIB, G., y QUIRÓS. (Dir.) (2005). *Fundamentos psicológicos de la actividad cardiovascular y oculomotora*. Madrid: UNED. Manual básico de referencia en castellano; el único hasta la fecha dedicado a analizar fundamentos básicos de procesamiento cognitivo y actividad ocular.

DUCHOWSKI, A. T. (2003). *Eye tracking methodology. Theory and practice*. Londres: Springer. Eficaz manual que aborda los fundamentos del sistema visual humano y el registro de movimientos oculares con técnicas de eye tracking. Partes I y II del texto.

HENDERSON, J. M. (2006). Eye movements. En C. Senior, T. Russell, & M. S. Gazzaniga (Eds.), *Methods in mind* (pp. 171-191). Cambridge, MA: MIT Press. Una reciente revisión del uso de la metodología de los movimientos oculares en Ciencia Cognitiva.

HENDERSON, J. M. y HOLLINGWORTH, A. (1999). High-level scene perception. *Annual Review of Psychology*, 50, 243-271. Uno de los artículos de revisión seminales que aborda el estudio de la percepción de escenas visuales mediante movimientos oculares.

HOFFMAN, J. E. (1998). Visual attention and eye movements. En H. Pashler (ed.), *Attention*, Hove, Psychology Press, 119-153. Capítulo que analiza el papel de la atención visoespacial en la programación ocular (sacádica, sacádica express, vergencia y persecución).

HYÖNÄ, J., RADACH, R. y DEUBEL, H. (Eds.) (2003). *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research*. Amsterdam: Elsevier Science Ltd. Volumen recopilatorio que incluye numerosas parcelas de aplicación del estudio de movimientos oculares.

IRWIN, D. E. (2004). Fixation duration and fixation location as indices of cognitive processing. En J. M. Henderson & F. Ferreira (Eds.), *The interface of language, vision, and action. Eye movements and the visual world*. New York: Psychology Press. Excelente revisión que analiza cierta problemática de interpretación de las fijaciones oculares como índices de procesamiento cognitivo.

KAUFMAN P. L. y ALM, A. (Eds.) (2003, 10ª edición). *Adler fisiología del ojo*. Madrid: Elsevier. Manual en castellano que recoge los principales conocimientos que se tienen en la actualidad sobre fisiología ocular.

LEIGH, R. J. y ZEE, D. S. (1991, 2ª edición). *The neurology of eye movements*. Philadelphia: Davis. Todo un clásico en el estudio de los fundamentos neurológicos que rigen el movimiento ocular.

RAYNER, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, Vol 124(3), 372-422. Una de las revisiones clásicas sobre movimientos oculares y procesamiento cognitivo.

UNDERWOOD, G. (Ed) (1998). *Eye guidance in reading and scene perception*. Oxford: Elsevier. Este libro incorpora diversa investigación del estudio de movimientos oculares en lectura y percepción de escenas visuales.