



VNIVERSITATIS VALÈNCIA

DOCTORADO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

**CARACTERIZACIÓN ESPACIO FRECUENCIAL Y FUNCIONAL
DE LOS FENÓMENOS DE PREVALENCIA OCULAR**

TESIS DOCTORAL

Ángel Luís Gutiérrez Hernández

DIRECTORES

Álvaro Máximo Pons Moreno

Amalia Lorente Velázquez

Julio de 2018



VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Doctorado en Optometría y Ciencias de la Visión

**CARACTERIZACIÓN ESPACIO FRECUENCIAL Y FUNCIONAL
DE LOS FENÓMENOS DE PREVALENCIA OCULAR**

Tesis Doctoral

Ángel Luís Gutiérrez Hernández

DIRECTORES

Álvaro Máximo Pons Moreno

Amalia Lorente Velázquez

Julio de 2018

Agradecimientos

A Guadalupe

A mis directores, Álvaro Máximo Pons Moreno y Amalia Lorente Velázquez.

Índice general

| | |
|---|----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Revisión histórica de la dominancia ocular | 3 |
| 1.2. Definición de dominancia ocular | 5 |
| 1.3. Rivalidad binocular | 7 |
| 1.3.1. Estímulos desencadenantes | 11 |
| 1.3.2. Curso temporal | 12 |
| 1.3.2.1. Factores que influyen en las fases de supresión | 13 |
| 1.3.2.2. Factores que influyen en las fases de dominancia | 14 |
| 1.3.3. Características espaciales | 15 |
| 1.3.4. Mecanismo neurológico | 17 |
| 1.4. Tipos de dominancia | 18 |
| 1.4.1. Dominancia direccional | 18 |
| 1.4.2. Dominancia sensorial | 20 |
| 1.4.3. Dominancia motora | 21 |
| 1.5. Métodos de determinación y/o medida | 21 |
| 1.5.1. Dominancia direccional | 22 |
| 1.5.1.1. Test de Porta | 22 |
| 1.5.1.2. Test del caleidoscopio | 23 |
| 1.5.1.3. Prueba de la tarjeta agujereada | 23 |
| 1.5.1.4. Test del anillo | 25 |
| 1.5.1.5. Manoptoscopio | 25 |
| 1.5.1.6. Prueba del A-B-C de Miles | 26 |
| 1.5.1.7. Método de Hering | 27 |
| 1.5.1.8. Test del espejo | 28 |
| 1.5.2. Dominancia sensorial | 29 |
| 1.5.2.1. Test cromático | 29 |
| 1.5.2.2. Test de resistencia al emborronamiento | 29 |
| 1.5.2.3. Test de polarizados (cerca/lejos) | 31 |
| 1.5.2.4. Test de Worth (cerca/lejos) | 31 |
| 1.5.2.5. Estereoscopio con tarjeta | 33 |
| 1.5.2.6. Test de filtro rojo de Humphiss | 33 |
| 1.5.2.7. Test de Haidinger | 33 |
| 1.5.2.8. Prueba de equilibrio | 34 |
| 1.5.2.9. Evaluación cuantificada de la dominancia ocular | 34 |
| 1.5.2.10. Método de Valle-Inclán et al. | 36 |
| 1.5.2.11. Método de Yang et al. | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1.5.3. | Dominancia motora | 37 |
| 1.5.3.1. | Tests de disparidad de fijación (lejos, cerca) | 37 |
| 1.5.3.2. | Test de convergencia al punto cercano | 39 |
| 1.5.3.3. | Test del guiño | 40 |
| 1.5.4. | Prevalencia ocular | 40 |
| 1.5.4.1. | Cuentas alineadas con una plomada | 40 |
| 1.5.4.2. | Dispositivo de Sachsenweger | 42 |
| 1.5.4.3. | Test de Freiburg de prevalencia ocular | 42 |
| 1.5.4.4. | Test de estereo-equilibrio de Haase | 43 |
| 1.5.4.5. | Estereotest | 44 |
| 1.6. | Fiabilidad de los tests | 45 |
| 1.6.1. | ¿Hay un ojo dominante para cada persona? | 46 |
| 1.6.2. | ¿Hay un solo ojo dominante para cada prueba? | 47 |
| 1.7. | Importancia clínica de la dominancia ocular | 49 |
| 1.8. | Dominancia ocular y monovisión | 50 |
| 2. | OBJETIVO | 53 |
| 2.1. | OBJETIVO | 55 |
| 2.2. | HIPÓTESIS | 56 |
| 3. | MATERIAL Y MÉTODOS | 57 |
| 3.1. | Diseño del estudio | 59 |
| 3.1.1. | Criterios de inclusión | 59 |
| 3.1.2. | Criterios de exclusión | 60 |
| 3.1.3. | Población | 60 |
| 3.2. | Procedimientos clínicos y material utilizado | 60 |
| 3.2.1. | Procedimientos clínicos para selección de participantes | 60 |
| 3.2.1.1. | Refracción objetiva, subjetiva y queratometría | 61 |
| 3.2.1.2. | Toma de agudeza visual (AV) | 61 |
| 3.2.1.3. | Evaluación de la visión binocular | 61 |
| 3.2.1.4. | Evaluación de la función acomodativa | 63 |
| 3.2.2. | Pruebas de dominancia ocular tradicionales | 63 |
| 3.2.2.1. | Determinación de la dominancia direccional | 63 |
| 3.2.2.2. | Determinación de la dominancia sensorial | 64 |
| 3.2.3. | Prueba de prevalencia ocular con el nuevo dispositivo | 64 |
| 3.2.3.1. | Calibración del monitor | 65 |
| 3.2.3.2. | Regularidad espacial de la luminancia | 67 |
| 3.2.3.3. | Generación del test de medida | 68 |
| 3.2.3.4. | Presentación de los estímulos | 68 |
| 3.3. | Dispositivo para la realización de las pruebas | 71 |
| 3.4. | Tratamiento estadístico de los datos | 73 |
| 3.5. | Resultados optométricos de la población estudiada | 74 |

| | |
|--|------------|
| 4. RESULTADOS | 77 |
| 4.1. Dominancia, métodos tradicionales | 79 |
| 4.1.1. D. direccional lejos y cerca | 79 |
| 4.1.2. D. sensorial lejos y cerca | 83 |
| 4.1.3. Correlación entre ambos métodos | 86 |
| 4.2. Prevalencia, nuevo método propuesto | 88 |
| 4.2.1. Determinación del ojo prevalente | 97 |
| 4.2.2. Relación prevalencia - dominancia | 103 |
| 5. DISCUSIÓN | 107 |
| 5.1. Análisis de resultados con los métodos tradicionales | 109 |
| 5.1.1. Dominancia direccional de lejos y de cerca | 109 |
| 5.1.2. Dominancia sensorial de lejos y de cerca | 110 |
| 5.1.3. Correlación entre ambos métodos | 111 |
| 5.2. Análisis de resultados con el nuevo método | 111 |
| 5.2.1. Determinación del ojo prevalente con el nuevo método | 111 |
| 5.2.2. Relación entre prevalencia y dominancia sensorial y direccional | 111 |
| 5.2.3. Ventajas del uso de prevalencia frente a los métodos clásicos de dominancia | 112 |
| 6. CONCLUSIONES | 115 |
| 7. ANEXOS | 119 |
| A. anexo: Documentos | 121 |
| A.1. Informe del Comité de Ética | 123 |
| A.2. Hoja informativa para participantes | 125 |
| A.3. Documento de consentimiento informado | 129 |
| A.4. Cuestionario síntomas y antecedentes | 131 |
| A.5. Ficha de registro de resultados | 133 |
| B. anexo: Bit stealing | 135 |
| C. anexo: Mapas de prevalencia | 139 |
| Bibliografía | 177 |
| Índice de figuras | 187 |
| Índice de tablas | 195 |

1. INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión histórica de la dominancia ocular

La primera descripción registrada de lo que ahora llamamos dominancia ocular se atribuye generalmente a Giovanni Battista della Porta (ca 1535-1615) [Figura 1.1] ([Pointer, 2010](#)).



Figura 1.1.: GIOVANNI BATTISTA (a veces GIAMBATTISTA) DELLA PORTA (nacido probablemente a finales de 1535, muerto el 4 de febrero de 1615), estudioso napolitano, erudito y dramaturgo. Retrato de perfil: grabado de portada de la edición expandida en 20 volúmenes de *Magiae Naturalis* (Nápoles, 1589) ([Pointer, 2010](#)).

Por lo tanto el interés científico en la dominancia ocular se remonta al siglo XVI con la publicación de Porta en 1593 donde escribía (Wade, 1998):

“La naturaleza nos ha dado dos ojos, uno a la derecha y otro a la izquierda, de modo que, si queremos ver algo a la derecha usaremos el ojo derecho y para ver algo a la izquierda el ojo izquierdo. Esto conduce a que veamos siempre con un ojo, incluso si pensamos que ambos están abiertos y que estamos viendo con los dos. Podemos demostrarlo con estos argumentos: Para separar los dos ojos, colocamos un libro frente al ojo derecho y otro frente al ojo izquierdo; es imposible leerlo o incluso ver las páginas, a no ser que durante un corto periodo de tiempo el poder de la vista sea tomado por el ojo derecho y tomado prestado por el izquierdo.”...“Si alguien coloca un bastón delante de sí mismo, y lo pone delante de una grieta de la pared de en frente, si cierra el ojo izquierdo no verá el bastón moverse de la grieta.”...“Pero si el observador cierra el ojo derecho, el bastón cambia inmediatamente al lado derecho”

Es posible que Rubens hiciera una ilustración del test de Porta para una portada del libro III de Aguilonius (1613): un observador, con su ojo izquierdo cerrado, apunta hacia una varilla situada a cierta distancia de él [Figura 1.2] (Wade, 1987).



Figura 1.2.: Portada del libro III de Aguilonius (1613): el observador, con un ojo cerrado, apunta hacia una varilla sostenida por un querubín (Wade, 1987, editada).

Aplicando su test, Porta concluyó que el ojo derecho era el dominante. Para ello se basó en la observación individual y apenas hizo comparaciones entre sujetos (Wade, 1998).

Las diferencias de agudeza visual entre los dos ojos fueron observadas en el siglo XVIII, mientras que el estudio de las diferencias individuales de dominancia ocular comenzó gradualmente en el siglo XIX y consiguió notoriedad en el siglo XX (Wade, 1998).

Se conocen varios estudios observacionales de dominancia ocular realizados antes y después de la publicación de Porta, aunque los resultados no fueron interpretados como signos de dominancia ocular. Así Aristóteles (384-322 a.C.) observó asimetrías al cerrar cada ojo (Ross, 1927; citado por Wade, 1998). Tolomeo (100-170) y posteriormente Ibn al-Haytam (llamado en occidente Alhazen) (965-1039) hicieron respectivos experimentos de visión binocular (Howard and Wade, 1996) que podrían haberles llevado a conclusiones parecidas a las de Porta pero sus descripciones de los resultados no lo explican con claridad. Después de Porta, Borelli en 1673 y Le Cat en 1744 observaron diferencias entre la agudeza visual de ambos ojos y Jurin en 1738 y Buffon en 1743 entre la visión de ambos ojos en individuos estrábicos (Wade, 1998).

En las publicaciones científicas no vuelven a aparecer referencias a la dominancia ocular como tal hasta 270 años después de la de Porta, cuando el fenómeno es mencionado brevemente por Humphrey en 1861 y por Donders en 1864. Es a mediados de la década de 1920 cuando el creciente interés por el asunto produce una oleada de investigación (Porac and Coren, 1976). Desde entonces se han realizado gran cantidad de publicaciones sobre el tema contabilizándose unos 600 artículos hasta 2002 (Coren y Porac, 1975; actualizado por Mapp et al., 2003) que han abarcado aspectos teóricos, prácticos y conjeturales. Sin embargo, a pesar de existir una literatura tan extensa sobre el tema, y de que el concepto de dominancia ocular fue admitido hace más de 400 años, en la actualidad sigue causando controversia y las diferentes revisiones bibliográficas realizadas constatan la diversidad de criterios entre los autores (Coren and Porac, 1975; Porac and Coren, 1976; Wade, 1998; Mapp et al., 2003).

1.2. Definición de dominancia ocular

En la extensa bibliografía científica sobre el tema encontramos un gran número de definiciones de dominancia ocular según diferentes criterios. Así, el Dictionary of Visual Science (Hofstetter, 2000) define la dominancia, de forma genérica, como:

1- *“La superioridad de un ojo sobre el otro en algunas tareas perceptuales o motoras. El término es normalmente aplicado a aquellas superioridades funcionales que no se basan en una diferencia de agudeza visual entre ambos ojos, o en una disfunción del aparato neuromuscular de uno de los ojos”.*

2- *“dominancia ocular de mirada”.*

Según esta definición genérica de dominancia ocular se entiende que podemos diferenciar distintos tipos de dominancia en función de la tarea. De hecho, Hofstetter define, de forma específica, las siguientes “dominancias oculares”:

-“*Dominancia ocular direccional: dominancia del ojo con el que averiguamos la dirección de un punto referenciado a uno mismo como centro del espacio subjetivo*”.

-“*Dominancia ocular motora: Dominancia ocular basada en una superioridad del aparato neuromuscular de un ojo sobre el otro, según dicen mostrar varios tests de dominancia de mirada, test de convergencia para dominancia ocular, y otros tests motores*”.

-“*Dominancia ocular perceptual: Dominancia ocular basada en la superioridad sensorial de un ojo sobre el otro más que en la diferencia motora entre ambos ojos. Podemos distinguir dos tipos:*

-*la dominancia ocular de rivalidad*

-*la dominancia obtenida con los tests cromáticos*”.

-“*Dominancia ocular pseudosensorial: Una dominancia ocular aparente resultante de la existencia de una diferencia de agudeza visual entre ambos ojos*”.

-“*Dominancia ocular de rivalidad: Una dominancia ocular perceptual en la cual el estímulo presentado a un ojo es percibido en un porcentaje de tiempo significativamente mayor que el estímulo presentado simultáneamente al otro ojo, siendo la rivalidad inducida por la diferencia entre los dos estímulos*”.

-“*Dominancia ocular de mirada: Un tipo de dominancia ocular motora en el que el mismo ojo es habitualmente o siempre usado en tareas visuales que requieren mirada unilateral. Como mejor se muestra es en los tests que se hacen con el “manoptoscope” y el “V-scope” en el cual un sujeto no es consciente de que se le requiere mirar con un solo ojo*”.

En la misma publicación podemos encontrar también la definición del término “Dominancia Visual” realizada por Hofstetter de la siguiente forma:

-“*Dominancia visual: 1. Dominancia ocular. 2. Superioridad de uno de los miembros de la pareja del mecanismo visual sobre el otro. Por ejemplo, dominancia de la mitad izquierda de la corteza visual sobre la mitad derecha*”.

En esta línea, en el libro “Binocular Vision: foundations and applications” ([Reading, 1983](#)), basándose en la lista que Walls elaboró en [1951](#), en la que identificaba 25 criterios que habían sido usados en algún momento para determinar la dominancia ocular, se catalogan varias definiciones del ojo dominante que se incluyen en cuatro categorías diferentes de dominancia ocular:

1. Dominancia Sensorial
2. Dominancia Direccional
3. Dominancia Motora
4. Dominancia Correlativa

No existe una definición única y clara de dominancia ocular, sino que encontramos diferentes definiciones para distintos tipos de dominancia ocular en función de la tarea visual o prueba utilizada para medir el fenómeno. Y como existen tantas pruebas para determinar la dominancia ocular como investigadores interesados en el tema, esto aumenta la confusión más que clarificar la definición del concepto (Porac and Coren, 1976).

1.3. Rivalidad binocular

Al hablar de dominancia ocular es necesario hacer una mención aparte del fenómeno de rivalidad binocular, pues ambos conceptos están unidos.

La rivalidad binocular ha sido objeto de intensa investigación desde hace más de 160 años (Blake and Logothetis, 2002).

Cuando se presentan estímulos monoculares diferentes (en tamaño, forma, contraste, nitidez y/o color) sus imágenes no pueden ser fusionadas y se produce una alternancia perceptual entre los estímulos que se conoce como rivalidad binocular (Blake, 2001). Esto puede dar lugar a tres situaciones: ver la imagen de un ojo, la del otro, o las dos superpuestas. Lo que sucede es que se ven las dos imágenes alternativamente, con breves periodos de mezcla dinámica¹ (Valle-Inclan et al., 2008).

De los dos estímulos en competencia, en cada momento uno será visto (estímulo dominante) y el otro suprimido (estímulo suprimido). Sólo cuando el sistema visual no consigue encontrar características coincidentes del ojo izquierdo y derecho la visión cae en períodos recíprocos de dominancia y supresión (Blake, 2001) (Figura 1.3).

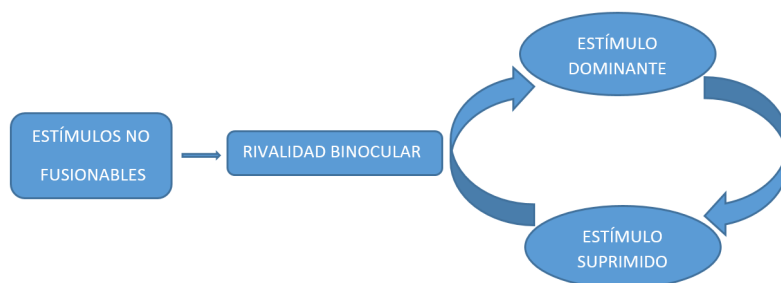


Figura 1.3.: Esquema de alternancia temporal entre las imágenes rivales.

¹El término que usan es *piecemeal rivalry* para designar una rivalidad que se produce de manera no sistemática entre pequeñas porciones de las imágenes, que pueden ir variando en el tiempo.

La rivalidad binocular es una forma especial de un fenómeno denominado *biestabilidad* que se da al producirse una percepción que oscila en el tiempo entre visiones alternativas cuando el input visual no cambia (Blake and Logothetis, 2002). En la rivalidad binocular las dos imágenes, en lugar de fusionarse cooperativamente en una vista única y coherente, compiten por la dominancia perceptual: una imagen puede dominar (la percepción consciente) durante varios segundos, para luego ser sustituida (en la consciencia) por la imagen rival previamente suprimida (Blake and Logothetis, 2002). También pueden producirse alteraciones en la dominancia perceptual bajo algunas condiciones de visión monocular como lo que sucede con las llamadas figuras ambiguas (Breese, 1899) (Figura 1.4).



(a) Florero/cara de Rubin.



(b) Mujer joven/anciana de Boring.

Figura 1.4.: Ejemplos de imágenes ambiguas conocidas en las que el aspecto perceptivo fluctúa con el tiempo a pesar de que la estimulación física no cambia. (Blake and Logothetis, 2002).

La rivalidad fue descrita también por primera vez por Porta en el siglo XVI. Su descripción se basó en sus observaciones al colocar un separador entre los dos ojos y ver una página diferente con cada uno. Según Porta, sólo podía leer una página, en su caso la presentada ante el ojo derecho, para él el ojo dominante. Por lo tanto, las descripciones de Porta ya claramente señalan un ingrediente esencial de rivalidad binocular: la supresión de un ojo (Blake, 2001). Más adelante la rivalidad fue más cuidadosamente descrita en el siglo XVIII por Le Clerc (1712) y Du Tour (1761), que estudiaron la rivalidad de color y de forma (Wade, 1998). Sin embargo, el primer

estudio sistemático de la rivalidad se atribuye a Sir Charles Wheatstone (1838), que documentó las condiciones que provocan rivalidad usando un estereoscopio de espejo ideado por él para presentar simultáneamente imágenes diferentes a los dos ojos de un observador (Figura 1.5). En los siguientes años a la publicación seminal de Wheatstone, la rivalidad binocular captó la atención de algunas de las principales mentes científicas de los siglos XIX y XX, y las cuestiones relativas a la naturaleza de la rivalidad han generado interesantes debates desde entonces (Blake and Logothetis, 2002).

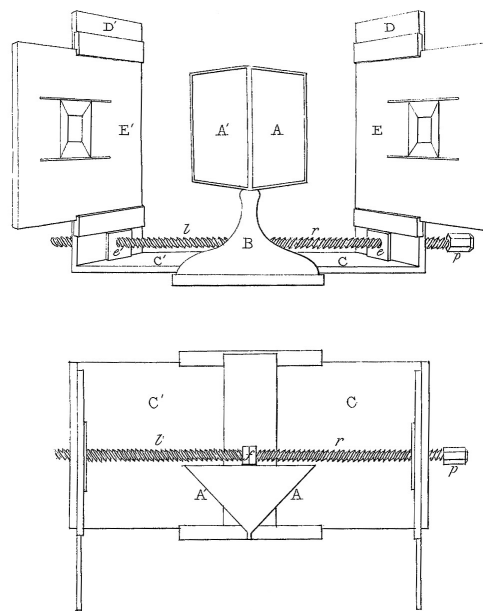


Figura 1.5.: Esquema del estereoscopio de espejo inventado por WHEATSTONE. El observador situaría su cabeza de modo que el ojo derecho viera la imagen reflejada en el espejo situado a la derecha (A en la figura) y el ojo izquierdo vería la imagen reflejada en el espejo situado a la izquierda (A'). Cada espejo reflejaría el estímulo situado en el soporte correspondiente (E y E'). La distancia entre los estímulos y los espejos puede variarse (C y C') (Wheatstone, 1838).

En los primeros años el fenómeno se denominó *rivalidad retiniana* ya que las imágenes discordantes se originaban en ambas retinas. Durante el siglo pasado el término fue sustituido por *rivalidad binocular* y recientemente también por *rivalidad de estímulo* (Blake, 2001).

Una de las controversias no resueltas en el estudio de la rivalidad es determinar si lo que se suprime es el ojo o el estímulo. Diferentes estudios parecen avalar tanto una cosa como la otra. Por un lado, trabajos como el de Blake et al. en 1980, indican que no es el estímulo el suprimido sino el ojo. En sus experimentos utilizaron rejillas con orientaciones perpendiculares (horizontal y vertical) como estímulos rivales que intercambiaron entre ambos ojos midiendo los tiempos en los que se veía cada estímulo

(el presentado ante el ojo dominante y ante el no dominante). Al presentar ante el ojo suprimido el estímulo visto un momento antes por el ojo dominante no se detectaba dicho estímulo por lo que concluyeron que se producía supresión del ojo y que la supresión no es selectiva y no depende del estímulo. También concluyeron que el ojo suprimido sufre una reducción general de la sensibilidad a toda la información visual y aunque ciertos cambios en las propiedades energéticas del estímulo (como el contraste) podrían terminar con la supresión, esos cambios tardan más en ser detectados por ese ojo. Por otra parte, en el trabajo de Kovacs et al. en 1996, presentaron los pares dicópticos A-B mostrados en la Figura 1.6 para inducir rivalidad binocular. El par A induce rivalidad convencional donde el ojo de origen y la coherencia del estímulo se correlacionan. Al presentar este par de estímulos se produjo alternancia entre la cara del mono y la escena de la selva (con el texto superpuesto). El par B induce rivalidad fragmentada o en mosaico pues distintas partes de los estímulos que forman una figura coherente se presentan entre los dos ojos de forma que ojo de origen y coherencia del estímulo no están relacionados. Al presentar este par de estímulos también se produjo una alternancia entre la cara del mono y la escena de selva. Para los investigadores, esta llamativa agrupación interocular, muestra claramente que la dominancia puede ser distribuida entre ambos ojos. Así que no puede ser que un ojo sea dominante por entero en un momento dado (Leopold and Logothetis, 1999; Kovács et al., 1996; Alais and Blake, 1999).

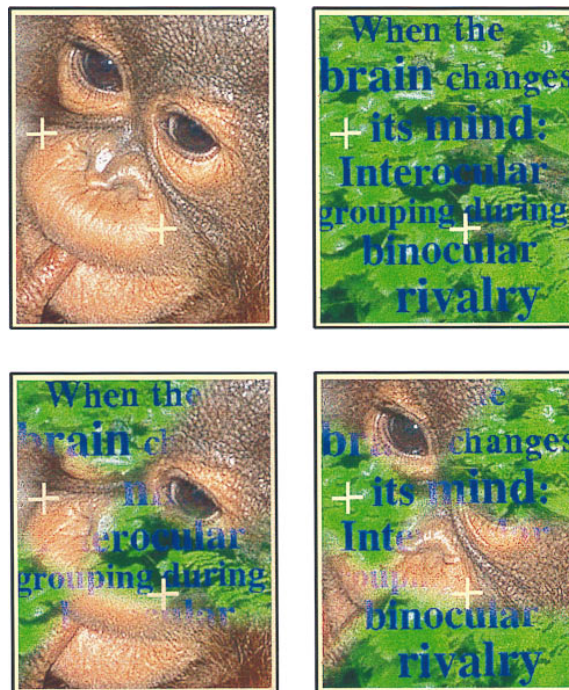


Figura 1.6.: Pares dicópticos para inducir rivalidad binocular (Kovács et al., 1996).

Otro estudio que avala esta teoría es el realizado por Logothetis et al. en 1996. En dicho estudio, al intercambiar los estímulos rivales entre ambos ojos varias veces por

segundo, observaron que un estímulo rival dado podía permanecer suprimido durante varios segundos (mientras estaba siendo presentado de forma alternante) (Logothetis et al., 1996) Ver Figura 1.7.

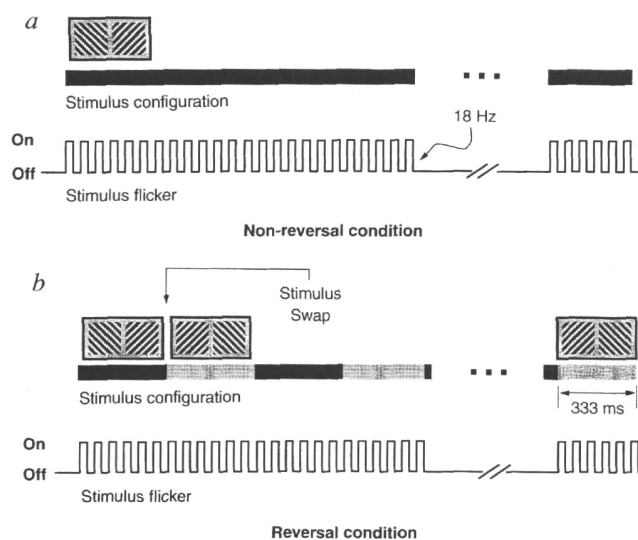


Figura 1.7.: Curso temporal del experimento de Logothetis et al. (1996) donde se muestra la forma de presentación de los estímulos. En la opción (a) se presentaban dos estímulos rivales en forma de flashes manteniendo el mismo estímulo en cada ojo. En la otra forma (b) se intercambiaban los estímulos entre los ojos con cada flash. Los sujetos debían indicar los periodos de dominancia exclusiva (no fragmentaria) (Logothetis et al., 1996).

Características de la rivalidad binocular

La rivalidad binocular puede ser caracterizada en cuanto a los estímulos que la producen, su dinámica temporal y su extensión espacial.

1.3.1. Estímulos que desencadenan rivalidad

La rivalidad binocular puede darse con niveles de luz muy amplios, incluso el escotópico (O'Shea et al., 1994), y en cualquier lugar del campo visual binocular pudiendo desencadenarse cuando los dos estímulos vistos (uno por cada ojo) presentan diferencias en valores como (Blake, 2001):

- Orientación – Wheatstone en 1838 fue el primero que demostró que, al presentar dos patrones discordantes, uno con rayas verticales a un ojo y otro con rayas horizontales al otro, los sujetos experimentaban rivalidad binocular (Andrews and Purves, 1997).

- Luminancia – Las diferencias de luminancia entre dos estímulos pueden generar rivalidad y las variaciones provocar cambios en ella como demuestran varios estudios ([Kakizaki, 1960](#); [Fox and Rasche, 1969](#)).
- Contraste – Las diferencias de contraste entre dos estímulos también pueden generar rivalidad ([Whittle, 1965](#); [Hollins, 1980](#)) y normalmente el estímulo con mayor contraste es “más fuerte” y goza de mayor predominio ([Blake, 2001](#)).
- Polaridad de contraste – Variando la polaridad de contraste (positiva o negativa) entre dos estímulos presentados a cada ojo se puede generar rivalidad binocular ([Bossi et al., 2017b](#)).
- Frecuencia espacial – Si se presenta a un ojo un patrón y al otro ojo el mismo patrón variando la frecuencia espacial se produce rivalidad binocular ([Hollins, 1980](#); [Fahle, 1982](#); [Andrews and Purves, 1997](#)).
- Tamaño – Las variaciones de tamaño entre los dos estímulos presentados también desencadenan rivalidad ([O’Shea et al., 1997](#); [Andrews and Purves, 1997](#)).
- Velocidad al moverse – La primera descripción del fenómeno de rivalidad binocular con patrones en movimiento se atribuye a Breese en 1899 ([Verstraten et al., 2015](#)). La influencia de la velocidad de los patrones en movimiento sobre la rivalidad binocular ha sido posteriormente estudiada por diferentes autores ([Wade et al., 1984](#); [Blake et al., 1998](#); [Wade and Ngo, 2013](#)).

1.3.2. Curso temporal de la rivalidad

La rivalidad binocular no se experimenta cuando la exposición de estímulos monoculares diferentes dura un tiempo muy breve ([Anderson et al., 1978](#); [Wolfe, 1983](#); [Blake et al., 1991](#)). Esto implica que se requiere tiempo para que el sistema visual registre estímulos monocularmente incompatibles ([Blake, 2001](#)). De hecho, para experimentar completa dominancia de una figura rival sobre otra se requiere que ambas figuras rivales sean presentadas simultáneamente durante al menos 150 milisegundos ([Wolfe, 1983](#)). Ese tiempo relativamente largo parece implicar que la rivalidad binocular es un proceso fisiológico de alto nivel que se produce tras el fracaso de la fusión ([Blake and Boothroyd, 1985](#)).

Sin embargo, cuando se miran objetos rivales durante muchos segundos los períodos de dominancia y supresión son impredecibles en duración, siendo variables aleatorias independientes secuencialmente ([Levelt, 1965](#); [Fox and Herrmann, 1967](#); [Wade, 1975](#); [Lehky, 1995](#)).

Por otra parte, la rivalidad es altamente susceptible a la estimulación transitoria ([O’Shea and Crassini, 1984](#)). De hecho, durante la rivalidad, un estímulo suprimido puede volver fácilmente a ser dominante utilizando maniobras que crean estimulación transitoria dentro del ojo que mira ese estímulo. Esto puede conseguirse simplemente agitando un lápiz frente a un estímulo suprimido ([Grindley and Townsend, 1965](#)),

aumentando de forma brusca el contraste de un estímulo suprimido (Blake and Fox, 1974) o poniendo en movimiento un estímulo suprimido (Walker, 1975).

La duración de las fases de supresión y dominancia pueden ser modificadas por diferentes factores (Blake, 2001), como se describe a continuación.

1.3.2.1. Factores que influyen en las fases de supresión

Determinadas características del estímulo pueden ser manipuladas para hacer a uno de los estímulos rivales *más fuerte* y aumentar el tiempo de dominancia sobre el estímulo *más débil* (Blake, 2001). Las variables que pueden incrementar la *fuerza* de un estímulo en la rivalidad binocular pueden ser: el contraste, la luminancia, el contorno por unidad de área (Levelt, 1965), el tamaño (O'Shea et al., 1997; Kang, 2009), la velocidad (Wade et al., 1984; Blake et al., 1998) y la excentricidad retiniana (Fahle, 1987).

Estas variaciones en la fuerza de estímulo de un objeto rival principalmente alteran la duración de la supresión de ese objeto, con poco efecto sobre sus duraciones de dominancia. Así, si se aumenta la fuerza de un estímulo, éste dominará porque genera periodos de supresión más cortos, no porque aumente la duración de los periodos de dominancia. Si ambos pares de objetos rivales se aumentan en fuerza bilateralmente cada objeto sigue siendo suprimido durante períodos de tiempo más breves y, en consecuencia, los dos objetos se alternan en la dominancia más rápidamente (Levelt, 1965), ver figura 1.8 y figura 1.9.

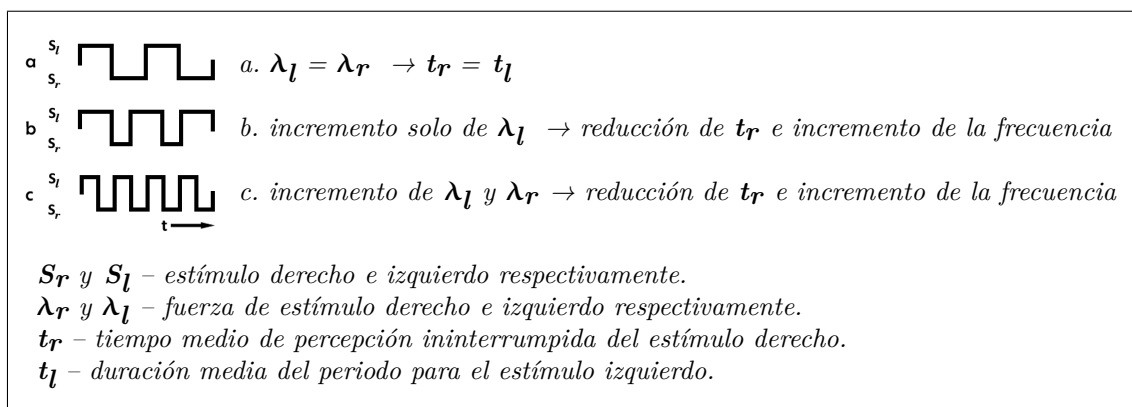


Figura 1.8.: Efecto de la variación de la fuerza del estímulo (Levelt, 1965, editada).

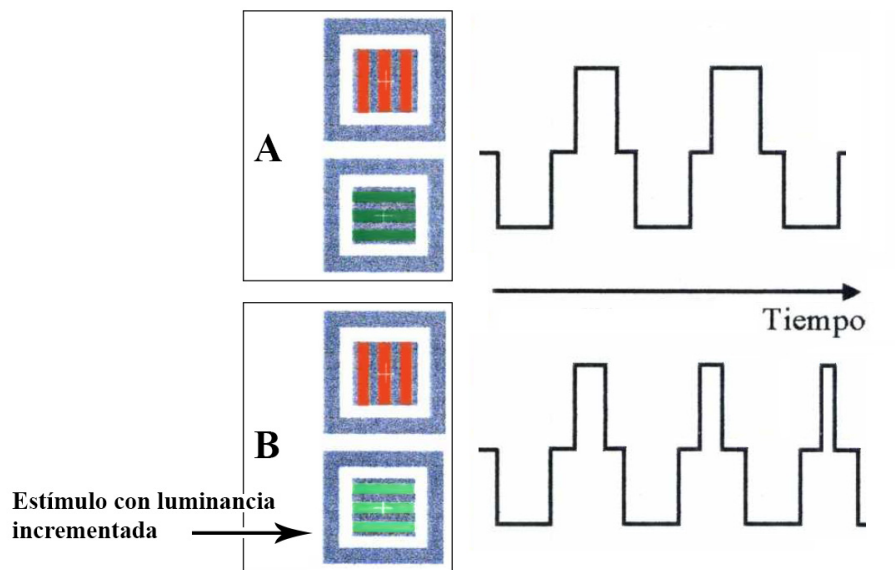


Figura 1.9.: Ejemplo de alternancias perceptuales con estímulos que producen rivalidad binocular. **A-** Curso temporal de la rivalidad con la misma luminancia en ambos estímulos. **B-** Curso temporal de la rivalidad cuando se incrementa la luminancia de uno de los estímulos (de Labra, 2001, editada).

1.3.2.2. Factores que influyen en las fases de dominancia

Estos factores actúan aumentando la duración de los periodos de dominancia del estímulo sobre el que se apliquen durante la rivalidad (Blake, 2001), por lo tanto, controlan los tiempos de dominancia (Blake and Logothetis, 2002).

- **La atención** sobre un estímulo puede, aunque se requiere cierta práctica, alterar la dinámica temporal de la rivalidad a favor de una figura durante largos periodos, según explicaba Von Helmholtz and Southall en su *Treatise on physiological optics* (1925), citado por Blake (2001). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos por mantener el dominio de un estímulo frente a otro, finalmente la imagen termina siendo suprimida (Lack, 1974). Por otro lado, parece ser que la influencia de la atención selectiva en la rivalidad binocular es menor que en otras formas de *biestabilidad* perceptiva como las figuras ambiguas (Meng and Tong, 2004).
- **Factores cognitivos:** Diferentes investigadores mantienen que la rivalidad puede ser afectada de forma volitiva (Martínez-Verdú and Pons-Moreno, 2004). Así, un estímulo cognitivamente más sobresaliente exhibe mayor predominio durante la rivalidad (Walker, 1978). Un ejemplo de esto puede encontrarse en el estudio realizado por Lo Sciuto y Hartley en 1963, cuando se pidió a observadores judíos

- y católicos que juzgaran el predominio relativo de los símbolos asociados con sus dos religiones, la estrella de David solía predominar con los observadores judíos mientras que la cruz predominaba con los católicos (Blake, 2001). También fotos correctamente orientadas de una cara tienden a predominar sobre las de caras invertidas (Engel, 1956), imágenes significativas culturalmente sobre otras que no lo sean (Bagby, 1957) y figuras vistas anteriormente sobre figuras novedosas (Goryo, 1969).
- **Contexto visual:** Un objeto incluido en un contexto visual globalmente congruente domina durante más tiempo que el estímulo rival en un contexto incongruente (Alais and Blake, 1999). Esto sucede aunque el sujeto no sea consciente de que el estímulo está integrado en un patrón (Yu and Blake, 1992; Blake and Logothetis, 2002); ver Figura 1.10.

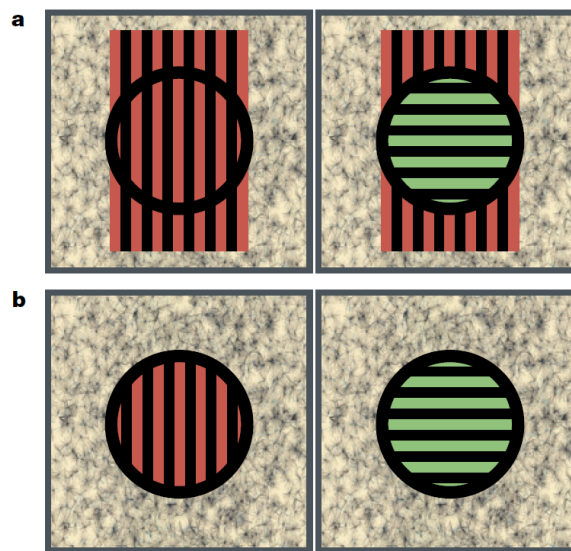


Figura 1.10.: Usando los dos pares de objetos rivales en *a* y *b*, se puede comparar la incidencia de la dominancia de la rejilla central rojo/verde cuando aparece en un contexto global consistente (*a*) y cuando no (*b*) (Blake and Logothetis, 2002).

1.3.3. Características espaciales de la rivalidad

Como ya se ha descrito más atrás, durante la rivalidad se produce alternancia en la percepción de los dos estímulos rivales. Esta alternancia dinámica puede ser influida por diferentes factores que afectan a los periodos de dominancia y supresión, o sea a sus características temporales. Pero también hay factores que afectan a sus características espaciales: el tamaño del estímulo, el ángulo visual o las transiciones entre dominancia y supresión.

- **Tamaño del estímulo:** Cuando los estímulos rivales son pequeños se produce supresión/dominancia exclusiva, es decir, sólo se ve uno de los estímulos en un momento dado (Figura 1.3). Esto sucede cuando los estímulos rivales no exceden de 0.1 grados de ángulo visual (Blake, 2001). Sin embargo, con estímulos rivales grandes, además de percibirse una figura o la otra, también se percibe una imagen en *mosaico* (Meenes, 1930) (*piecemeal rivalry*¹ (Blake et al., 1992) resultante de la mezcla de ambos estímulos rivales de forma que las áreas espaciales de dominancia difieren y fluctúan con el tiempo (Blake, 2001) (Figura 1.11). La incidencia de la rivalidad en *mosaico* aumenta con la visualización prolongada de objetos rivales (Hollins, 1980). Estos períodos de dominancia mixta sugieren que la rivalidad se produce entre *zonas* restringidas espacialmente y no a un nivel global (Blake, 2001).

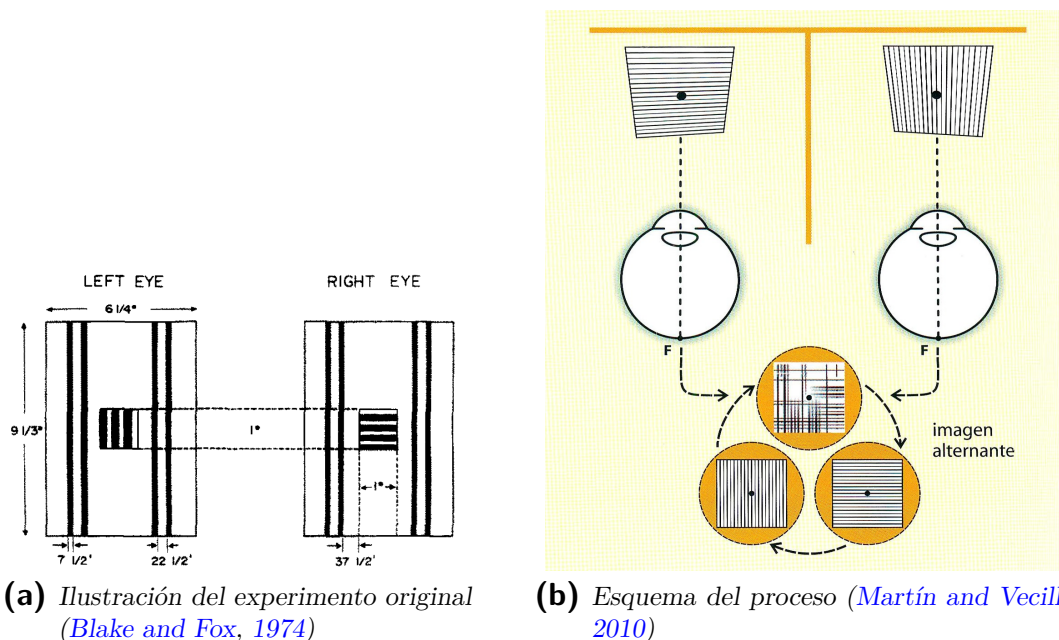


Figura 1.11.: Alternancia temporal entre las imágenes rivales y el patrón mezcla de ambas imágenes (Blake et al., 1974; citado por Blake, 2001).

- **Ángulo visual:** Algunos estudios indican que lo que determina la extensión espacial de la rivalidad no es el tamaño percibido de los estímulos rivales sino el ángulo retiniano subtendido por dichos estímulos (Blake and Fox 1974; citado por Blake, 2001).
- **Transiciones entre dominancia-supresión:** Otra característica espacial de la rivalidad concierne a los períodos de transición de dominancia entre un estímulo y otro. Estas transiciones no son instantáneas sino que, a menudo, la dominancia

emerge en forma de onda, en una región de la figura, y se extiende a partir de ahí al resto de la imagen (Blake and Logothetis, 2002) de forma que un estímulo parece barrer al otro de la consciencia (Blake, 2001).

1.3.4. Mecanismo neurológico de la rivalidad

Aún se desconocen los mecanismos neurales responsables de la rivalidad binocular y su localización en el cerebro (Blake and Logothetis, 2002). Se han empleado técnicas de imagen cerebral como la resonancia magnética funcional (fMRI) y la encefalografía magnética (MEG) junto con los potenciales visuales evocados (VEPs) y los registros en neuronas aisladas para intentar resolver esta cuestión. Sin embargo, de momento, no se ha podido desentrañar el proceso responsable de la rivalidad.

La rivalidad se manifiesta como si en un ojo no existiese estímulo alguno, lo que sugiere que su mecanismo debe de residir en un lugar anterior al sitio donde se combinan las señales que proceden de los dos ojos (de Labra, 2001). Algunos estudios parecen indicar que la supresión se produce por interacciones entre canales monoculares, es decir en las primeras etapas del procesamiento (Blake, 1989). Fenómenos como la pérdida de sensibilidad en el ojo suprimido (Blake and Camisa, 1979; Blake and Fox, 1974) o el aumento del tiempo de reacción a estímulos presentados en el ojo suprimido (O'Shea, 1987) sólo pueden explicarse como resultado de competición entre canales monoculares (Valle-Inclan et al., 2007). Esto indicaría que lo que rivalizan son los ojos (Blake, 1989). Otros estudios indican que la rivalidad se produce en etapas más tardías (Díaz-Caneja, 1928, revisado por Alais et al., 2000; Kovács et al., 1996; Ooi and He, 2003), lo que indicaría que lo que rivaliza son los estímulos (Leopold and Logothetis, 1999). Estas dos alternativas están planteadas desde el siglo XIX: los que, como Helmholtz (1867), defienden la *rivalidad de estímulo* y su localización en *etapas tardías* y los que, como Hering (1874), defienden la *rivalidad de ojo* y la localización en *etapas tempranas* del procesamiento visual (Valle-Inclan et al., 2007).

Los estudios sobre esta materia parecen indicar que la rivalidad no deriva de un proceso único. Para conciliar los diversos hallazgos puede ser importante distinguir entre los procesos responsables del inicio de la rivalidad y la selección de entrada de un ojo para la dominancia de los procesos responsables de la ejecución y mantenimiento de supresión. En la rivalidad están implicadas una serie de operaciones neuronales como:

- el registro de mensajes visuales incompatibles procedentes de ambos ojos
- la dominancia/supresión para una percepción coherente de la imagen
- la alternancia de la dominancia con el tiempo.

Estas operaciones distintas podrían llevarse a cabo mediante acontecimientos neuronales distribuidos a lo largo de las vías visuales (Blake and Logothetis, 2002). La selección implica la comparación de la información presentada a los dos ojos para

establecer el grado de correspondencia. Una vez que se ha logrado la selección, un estímulo (o porciones de él) es *rechazado* temporalmente (es decir, suprimido) mientras que el otro estímulo domina. El destino del estímulo suprimido –y otros presentados en sus alrededores inmediatos– puede determinarse por eventos neuronales distintos de los que registran la incompatibilidad inicial de estímulos monoculares (Blake, 2001). Probablemente, el peso relativo de las etapas tempranas y tardías depende del tipo de estímulos y de la forma de presentación (Bonneh et al., 2001). No sólo las áreas tempranas y tardías participan en diferente grado durante la rivalidad, sino que también poseen diferentes papeles (de Labra, 2001). Así, las áreas tempranas podrían estar dedicadas a iniciar la rivalidad mientras que las áreas tardías reflejarían la percepción (Leopold and Logothetis, 1999).

Esta idea de que la rivalidad es un proceso dual fue elaborada por Robert Fox (Fox, 1991), y ofrece un esquema potencialmente útil para la conciliación de resultados aparentemente contradictorios dentro de la literatura sobre la rivalidad (Blake, 2001).

Conocer el fenómeno de rivalidad resulta muy conveniente para entender mejor el concepto de dominancia ocular, cuya descripción prosigue a continuación.

1.4. Tipos de dominancia

A tenor de lo dicho hasta ahora se podrían establecer diferentes tipos de dominancia ocular o categorías en función de la tarea visual.

Siguiendo el criterio de Reading (1983) clasificamos la dominancia ocular en tres categorías (se excluye su cuarta categoría porque se refiere a lateralidad):

- Dominancia direccional
- Dominancia sensorial
- Dominancia motora

Cada una de estas categorías sugiere a su vez que deben emplearse diferentes métodos para medir cada tipo de dominancia, como se demuestra a continuación.

1.4.1. Dominancia direccional

Entenderemos como dominancia direccional la que se da cuando se elige un ojo de forma inconsciente (al mirar binocularmente en el espacio libre) o consciente (al apuntar o utilizar un instrumento monocular) para ver un estímulo (Porac and Coren, 1976). Coincide con la idea más generalizada de lo que es la dominancia ocular y es la que evalúan la mayoría de los estudios clínicos y para la que existen mayor número de tests² (Coren and Kaplan, 1973).

²pruebas de mirada

La dominancia definida según este criterio ha sido expuesta de forma clara por diversos autores (Miles, 1928, 1929; Porac and Coren, 1976) y los estudios más antiguos, como el de Porta, se refieren a esta categoría.

Los diferentes estudios han extraído variadas conclusiones como las siguientes:

- el ojo dominante direccional parece extraer y procesar información espacial visual más eficientemente que el ojo no dominante (Porac and Coren, 1977; Shneur and Hochstein, 2006, 2008).
- la dominancia ocular no depende de ningún factor familiar ni parece existir variación dependiente de la edad (Porac and Coren, 1981).
- existe un mayor porcentaje de personas con ojo derecho dominante direccional (65 %) que con ojo izquierdo (32 %) (entre la población sin problemas visuales de Norte América, Reino Unido, Japón, Australia y África) (Porac and Coren, 1976).
- existe un mayor porcentaje de hombres con ojo derecho dominante direccional que mujeres (Porac and Coren, 1981; Eser et al., 2008).
- no parece haber relación entre la dominancia ocular direccional y el error refractivo (Eser et al., 2008).

Algunos autores (Walls, 1951; Porac and Coren, 1981; Khan and Crawford, 2001) sostienen que el ojo dominante direccional puede ser considerado como punto de referencia para la dirección visual. A ese punto de referencia se le han dado varios nombres como binoculus, egocéntrico, doble ojo, centro de proyección, centro de dirección visual y ojo cíclope. Este concepto ha sido muy discutido y rebatido. Según Howard y Wade (1996), citado por Mapp et al. (2003), se sabía desde tiempos de Tolomeo (100-170 a.C.) que los objetos fijados aparecen en el eje visual común que es la línea que pasa por la intersección de ambos ejes visuales y el puente de la nariz. Tras su estudio de revisión, Mapp et al. (2003) concluyeron lo siguiente:

- Las posiciones de ambos ojos, tanto el dominante como el no dominante, se usan en el proceso de dirección visual, ya que la posición del eje común es determinada por la posición binocular.
- No se produce supresión de la entrada visual de ninguno de los ojos, ya que son vistas ambas imágenes diplópicas del estímulo no fijado. Aunque la medida de la localización del punto de referencia se desvía del punto medio entre los dos ojos y la dirección de la desviación se correlaciona con la medida del ojo dominante, ésta nunca coincide con ninguno de los ojos.
- “El ojo dominante —refiriéndose a *direccional*— como un único factor unitario no existe”.

Una demostración experimental de la dirección visual egocéntrica fue propuesta por Steinman, Steinman y Garzia (2000). El procedimiento consiste en enrollar una hoja de papel para hacer un tubo y mirar a través de él un objeto alejado con un ojo

mientras se cierra el otro. Después se coloca la mano que no sostiene el tubo delante del ojo cerrado al lado del tubo. Con ambos ojos abiertos, se va alejando la mano del ojo, moviéndola a lo largo del tubo hasta que se aprecia lo que aparenta ser un *agujero* en nuestra mano a través del cual se puede ver el objeto que mirábamos a través del tubo (Figura 1.12). Esto demuestra que tanto la mano como el objeto visto a través del tubo están siendo fijados, uno por cada ojo. Se están combinando ambas direcciones visuales monoculares en una sola imagen con una única dirección visual binocular.



Figura 1.12.: Demostración experimental de la dirección visual egocéntrica (Steinman et al., 2000, editada).

1.4.2. Dominancia sensorial

Entenderemos que es la que se produce cuando uno de los ojos presenta superioridad en pruebas de rivalidad entre las dos imágenes retinianas (pruebas de rivalidad), o en pruebas de capacidades visuales (pruebas de asimetría) como agudeza visual, sensibilidad al contraste, etc. (Howard, 2002). Estas diferencias pueden hacer que al sistema visual le resulte más fácil suprimir la imagen de uno de los ojos (el no dominante) o favorecer a uno (el dominante) sobre el otro.

La supresión de estímulos rivales ha sido una característica de la dominancia ocular reconocida desde las publicaciones más tempranas sobre el fenómeno como el experimento de Porta (1593) (Wade, 1998) (pruebas de rivalidad).

Aristóteles en el siglo III AC sostenía que, aunque ambos ojos poseyeran igual agudeza visual, se conseguía mayor precisión utilizando un ojo que el otro (Wade, 1998). Esta opinión predominó durante casi dos milenios. A partir del siglo XVIII se consideró que existían pequeñas diferencias en individuos con visión normal (no ambliopes) y niveles de agudeza visual parecidos en los dos ojos que justificaban el predominio de uno sobre el otro (Pointer, 2010) (pruebas de asimetría).

1.4.3. Dominancia motora

Entenderemos que es la que se produce cuando un ojo hace un mejor trabajo de fijación sobre un objeto bajo condiciones binoculares. Por ejemplo, el ojo dominante será el que fija centralmente en el caso de disparidad de fijación, o el ojo que sigue fijando en distancias más cercanas del punto próximo de convergencia (Reading, 1983), ver Figura 1.13.

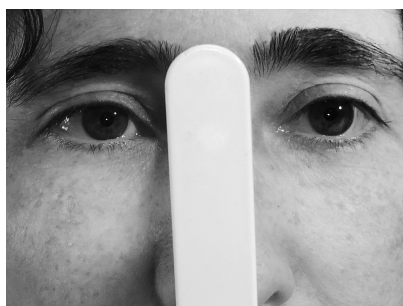


Figura 1.13.: Ojo derecho fijador en el test de punto próximo de convergencia.

Esta categoría es la que menos se mide en la práctica y, muchas veces se ignora cuando se habla de dominancia ocular, refiriéndose sólo a la dominancia sensorial y direccional como tipos de dominancia ocular.

Otras veces se confunde la dominancia direccional y la motora y se llama motora a la que aquí hemos definido como direccional.

1.5. Métodos de determinación y/o medida de los diferentes tipos de dominancia

En el transcurso de los años se han desarrollado numerosas técnicas para determinar y/o medir la dominancia ocular. Algunas de ellas se exponen a continuación.

1.5.1. Métodos de determinación y/o medida de la dominancia direccional

Existen múltiples métodos para medir este tipo de dominancia. De hecho, es la dominancia más medida en toda la documentación sobre esta materia. A continuación se describe la mayoría de estos tests:

1.5.1.1. Test de Porta

Según lo describe Wade (1998), se coloca una varilla frente al observador que, con ambos ojos abiertos, debe alinear la punta de la varilla con un estímulo distante. El ojo que mantenga la alineación de la varilla y el objeto de fijación mientras cierra alternativamente cada ojo será el ojo dominante (Figura 1.14).



Figura 1.14.: *Test de Porta (de Portada del libro III de Aguilonius, 1613) Pointer (2010).*

Rosenbach, en 1903 (Miles, 1929), introduce una variante de este test donde pide al sujeto que alinee un estímulo, que puede ser una marca en la pared, con su dedo, o con un lápiz que ha de sujetar, mientras mantiene el brazo extendido delante de su cara (Figura 1.15).

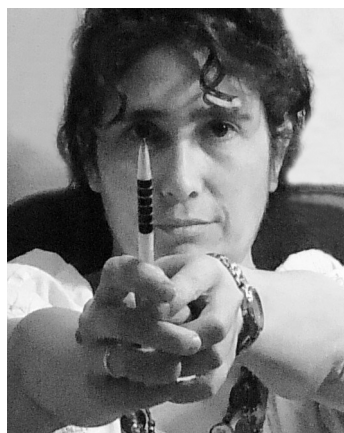


Figura 1.15.: *Modificación de Rosenbach.*

1.5.1.2. Test del caleidoscopio

Es probablemente la forma más intuitiva y generalizada de determinar el ojo dominante, quizá por esto resulta muy difícil determinar su origen.

Se trata de averiguar qué ojo es favorecido habitualmente en las tareas de visión monocular, como mirar por un telescopio (Porac and Coren, 1976) o cualquier otro instrumento monocular. Se puede realizar de una forma sencilla pidiendo al sujeto que mire a través de un agujero al final de un tubo (caleidoscopio) (aunque podría ser más correcto denominarlo catalejo).

El ojo que se elige para mirar por el tubo será el ojo dominante (Seijas et al., 2007) (Figura 1.16).



Figura 1.16.: *Test del caleidoscopio.*

1.5.1.3. Prueba de la tarjeta agujereada

Fue ideada por Durand y Gould en 1910 (Miles, 1929), utilizando un cartón de 12 x 6 pulgadas con un agujero en su centro y un tubo encajado a través del agujero. El dispositivo, que tenía un mango parecido al de un estereoscopio, se sujeta a la longitud del brazo y el paciente debe mirar a su través un estímulo pequeño situado en la pared, para lo que empleará su ojo dominante.

Dolman en 1919 (Miles, 1929) modificó la prueba de Duran y Gould utilizando una tarjeta 13 x 20 cm con un agujero circular de 3 cm en el centro. En este test se pide al paciente que sujete la tarjeta con cada mano por un lado y la vaya levantando despacio con los brazos estirados mientras mira a un punto de luz situado a seis metros. Manteniendo los dos ojos abiertos, debe buscar la luz a través del agujero.

Haciéndole oclusión alternante se determina el ojo que vea la luz a través del agujero, que será el dominante.

Al realizar este test, en lugar de ocluir alternativamente los ojos del paciente, se le puede pedir que mueva la tarjeta lentamente hacia su cara sin perder la alineación del agujero con el estímulo hasta que el agujero esté sobre un ojo. Este se considera el ojo dominante (Seijas et al., 2007).

Una variante de este test puede hacerse pidiendo al paciente que junte ambas manos formando entre ellas un hueco triangular o circular y, manteniendo los brazos estirados, que centre, con los dos ojos abiertos, un objeto en ese hueco (Figura 1.17).

También se puede pedir al sujeto que centre el ojo derecho del examinador en el agujero (hecho en la tarjeta o con las manos). De este modo el examinador puede ver entonces a través del agujero cual es el ojo dominante direccional.

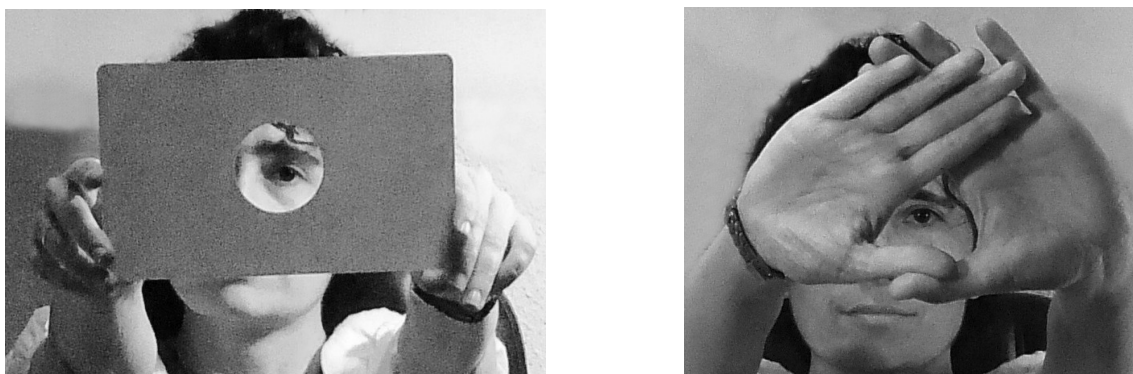


Figura 1.17.: Test de la tarjeta agujereada y variante usando las manos.

Existe también una variante de este test para cerca ideada por Rice et al., en 2008 basándose en la prueba de lejos. Se utiliza una placa de cultivo de polietileno colocada sobre un atril; en la base de la placa se coloca una letra centrada con el tamaño de 1 mm impresa sobre fondo blanco y en la tapa (alineada con la letra y a una distancia correspondiente al grosor de la placa, de 25 mm) un cuadrado negro de 30 mm con una apertura central en forma de cuadrado de 1,5 mm. El sujeto sentado frente al atril y a la altura adecuada debe ver la letra a través de la apertura manteniendo ambos ojos abiertos. El examinador ocluye ambos ojos alternativamente para saber qué ojo es el que está fijando la letra y éste será el dominante. (Figura 1.18)

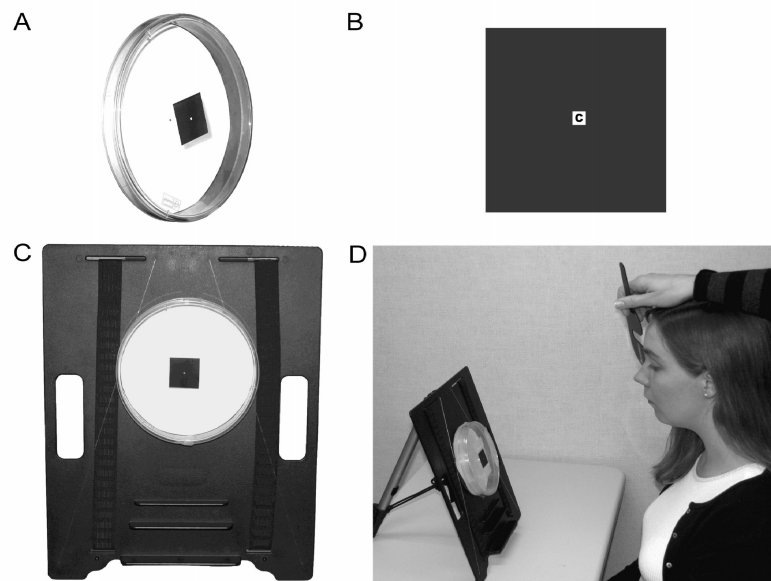


Figura 1.18.: Test de cerca de la tarjeta agujereada (Rice et al., 2008).

1.5.1.4. Test del anillo

Es descrito por Crider en 1944 de la siguiente manera: se utiliza un anillo de 6 cm. de diámetro y se pide al sujeto que fije la nariz del examinador situado a 6 m. y que a continuación tome el anillo con una de sus manos. Sin dejar de fijar la nariz del examinador y manteniendo ambos ojos abiertos debe colocar el anillo de forma que siga viendo la nariz del examinador a su través. Después debe colocar el anillo en la mesa y volver a repetir la prueba sosteniendo el anillo con la otra mano con la intención de comprobar si influye la mano utilizada en el resultado. El examinador identifica el ojo con el que el paciente mira a través del anillo como ojo dominante (Crider, 1944).

1.5.1.5. Manoptoscopio

Parson en 1924 publicó su descripción: se trata de un cono truncado hueco sujetado con la base cubriendo la cara. Se pide al paciente que lo sujete pegado a su cara y mire, con ambos ojos abiertos, a través del agujero del borde del cono un objeto. Se pide al sujeto que cierre un ojo y otro para determinar el ojo dominante, que será el que vea el objeto (Miles, 1929) (Figura 1.19).

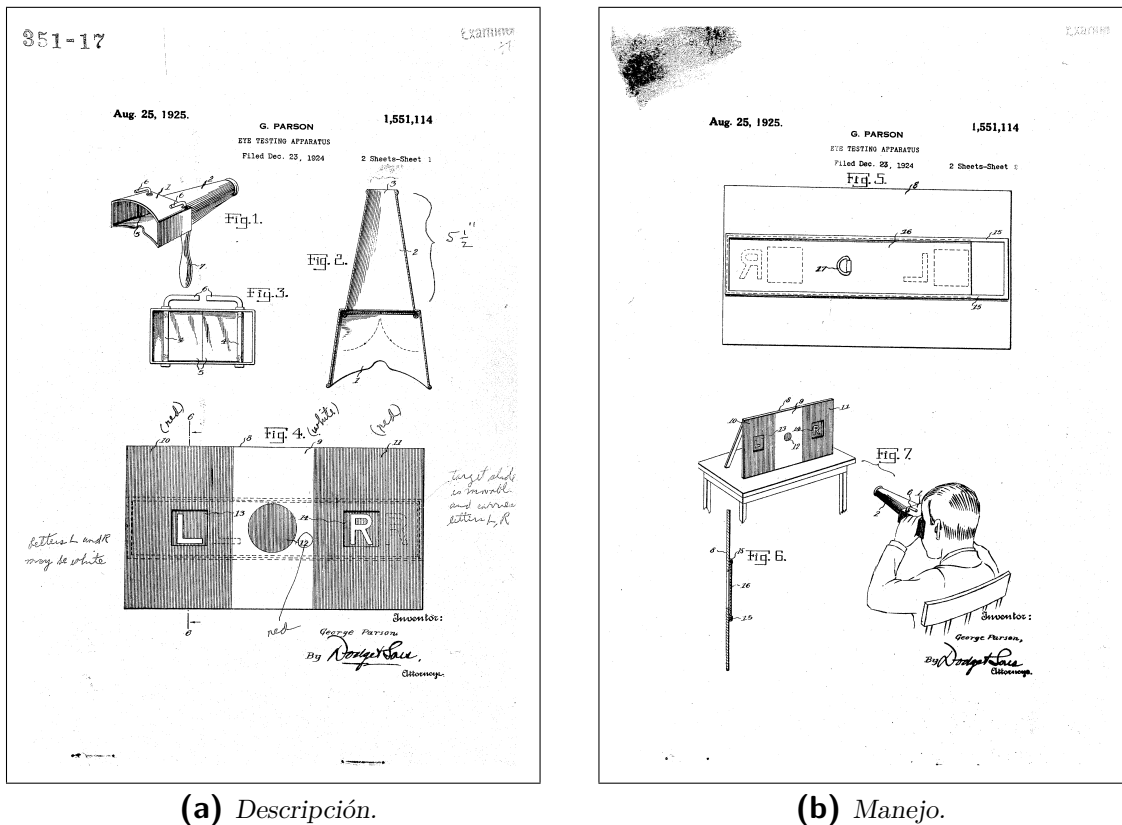


Figura 1.19.: Manoptoscopio de Parson (del documento de patente) (Parson, 1925).

1.5.1.6. Prueba del A-B-C de Miles

En 1928 Miles idea una prueba que mezcla el manoptoscopio de Parson y la tarjeta de Dolman, la denominada «Prueba del A-B-C» (Miles, 1929); utiliza unas tarjetas con dos círculos impresos que difieren en tamaño y sombreado como estímulo para que el paciente preste atención.

Se dice al sujeto que se le va a mostrar la tarjeta durante un corto periodo de tiempo y que debe indicar qué círculo es más grande y cual es más oscuro. El paciente debe mirar la tarjeta a través de un embudo de papel o *V-Scope* hecho de cartón blanco doblado de manera que hay que presionarlo entre ambas manos para abrirlo y poder mirar a su través.

El cono debe colocarse pegado a la cara de forma que, con ambos ojos abiertos, el paciente cree estar mirando con ambos ojos.

El examinador puede determinar cuál es el ojo dominante fijándose en la posición del agujero del cono (hacia un ojo u otro del sujeto), lo que le muestra el ojo que está utilizando (Ver Figura 1.20).



Figura 1.20.: *Pacientes mirando a través de un V-Scope en la Prueba ABC de Miles (Miles, 1929).*

1.5.1.7. Método de Hering

Según publicó Ogle en 1962 (Reading, 1983), Hering empleaba este método para determinar la dominancia ocular direccional referida al ojo cuya imagen sufre menos movimiento durante los cambios de fijación de un objeto lejano a uno cercano.

El sujeto se encuentra fijando inicialmente una imagen de un objeto lejano de forma binocular. En un determinado momento se ilumina un objeto cercano, colocado en la línea de mirada del ojo izquierdo y se interpone un obstáculo en la línea de mirada del ojo derecho que le impide la visión del objeto lejano. Se pide al sujeto que fije (con ambos ojos) el objeto situado cerca lo que obliga al ojo derecho a realizar un movimiento hacia la izquierda.

El ojo izquierdo no necesitará realizar ningún movimiento pues el objeto se encuentra en su línea de mirada.

Los sujetos con ojo dominante izquierdo no aprecian desplazamiento lateral del objeto, mientras que los sujetos cuyo ojo dominante sea el derecho perciben un desplazamiento lateral del objeto cercano hacia la izquierda.

1.5.1.8. Test del espejo

Se utiliza un espejo pequeño con un círculo marcado de 1 o 2 cm de diámetro ([Borish, 1970](#)).

Se pide al paciente que tome el espejo entre sus manos y que busque su reflejo en él de forma que vea su nariz reflejada dentro del círculo. Este es por lo tanto un test de dominancia direccional de cerca. (Ver Figura [1.21](#)).



Figura 1.21.: *Test del espejo.*

1.5.2. Métodos de determinación y/o medida de la dominancia sensorial

1.5.2.1. Test cromático

Sugerido por Pascal en 1926 (Miles, 1929).

Con ambos ojos abiertos el sujeto mira a una luz blanca. Entonces se coloca un filtro rojo (como el habitual en las cajas de prueba) alternativamente sobre cada ojo y se pide al paciente que diga con qué ojo ve más rojo y que intente cuantificarlo (ver Figura 1.22).

El ojo que vea más roja la luz a través del filtro es el dominante.



Figura 1.22.: Test cromático con filtro rojo.

1.5.2.2. Test de resistencia al emborronamiento

Ideado por Schor, et al. (1987), según el cual es más fácil suprimir una imagen borrosa en el ojo no dominante que en el ojo dominante.

Schor et al. utilizaron una superficie difusora blanca con una abertura circular que se iluminaba desde atrás con una lámpara incandescente de 60 vatios. La luminancia de fondo se controlaba iluminando frontalmente con una segunda bombilla incandescente con un reóstato que permitía ir variando la luminancia del fondo. El método utilizado consiste en colocar una lente positiva frente a un ojo e ir variando el contraste (reduciéndolo aumentando la iluminación del fondo) hasta que el sujeto ve el punto luminoso central nítido (momento en el cual consigue suprimir la imagen borrosa de uno de los ojos; el que lleva la lente positiva para lejos y el que no la lleva para cerca).

Robboy et al en 1990 adaptaron el test y lo aplicaron a sujetos seleccionados para inducir monovisión con lentes de contacto y describieron el método de la siguiente manera: los sujetos llevaban las lentes de contacto con su mejor refracción esférica para lejos en un ojo y la lente con su mejor refracción esférica para cerca en el ojo opuesto y se sentaban a 4 m del punto luminoso de prueba. El punto de prueba se percibía inicialmente como borroso bajo alto contraste (con mínima iluminación del fondo). Entonces con un reóstato se aumentaba la luminancia del fondo (el contraste iba disminuyendo) hasta que el sujeto percibía el punto central luminoso como nítido. El contraste al que ocurría esto se tomaba como la medida de la fuerza de supresión del desenfoque. Después se repetía el procedimiento con la lente de cerca sobre el ojo opuesto.

La situación bajo la cual una menor luminancia del fondo (mayor contraste) era suficiente para la supresión del desenfoque fue considerada la condición dominante. El ojo que recibía la imagen nítida en esta situación era considerado, en consecuencia, el ojo dominante sensorial. Este procedimiento fue hecho primero a 4 m y luego a 40 cm. Por lo tanto, al hacer el test de lejos, el ojo que verá la imagen nítida será el que no lleve la adición positiva y en cerca, el que la lleve.

El **Test de la lente positiva** (cerca y lejos) es una modificación basada en el test de Schor que se utiliza habitualmente en la práctica diaria.

En los diferentes estudios se utilizan lentes con distintas potencias. Así encontramos ejemplos donde se emplea una lente de +1 D (Seijas et al., 2007), de +1.5 D (Lopes-Ferreira et al., 2013), de +2 D (Richdale et al., 2006). Ver Figura 1.23.

El test es descrito de la siguiente manera en el estudio de Seijas et al. (2007):

Lejos: Se pide al paciente que mire un optotipo a 6 m con ambos ojos abiertos. Se coloca una lente de +1.00 D primero en un ojo y luego en el otro. El paciente debe decidir en cuál de las dos situaciones está más cómodo. En dicha situación el ojo dominante es el que no tiene la lente delante en ese momento.

Cerca: Se repite la misma prueba usando un optotipo cercano. En este caso el ojo dominante es el que tiene la lente delante en la situación más cómoda.



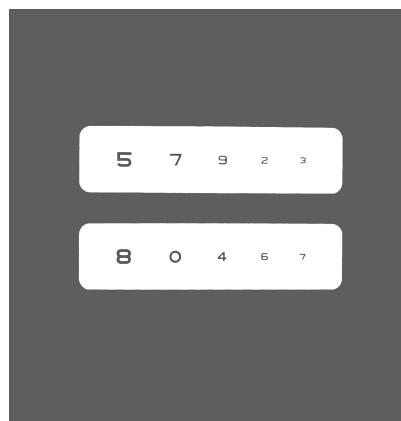
Figura 1.23.: *Test de resistencia al emborronamiento.*

1.5.2.3. Test de polarizados (cerca/lejos)

El sujeto, con gafas polarizadas disociadoras, mira dos líneas de números (cada ojo verá sólo una de las líneas respectivamente) situadas lejos o cerca, según la distancia que quiera testarse (ver Figura 1.24). El sujeto debe decidir cuál de las dos líneas ve de forma más precisa. El ojo que esté viendo esa línea es el dominante (Seijas et al., 2007).



(a) Gafa con lentes polarizados.



(b) Optotipo de números con polarización.

Figura 1.24.: Test de polarizados.

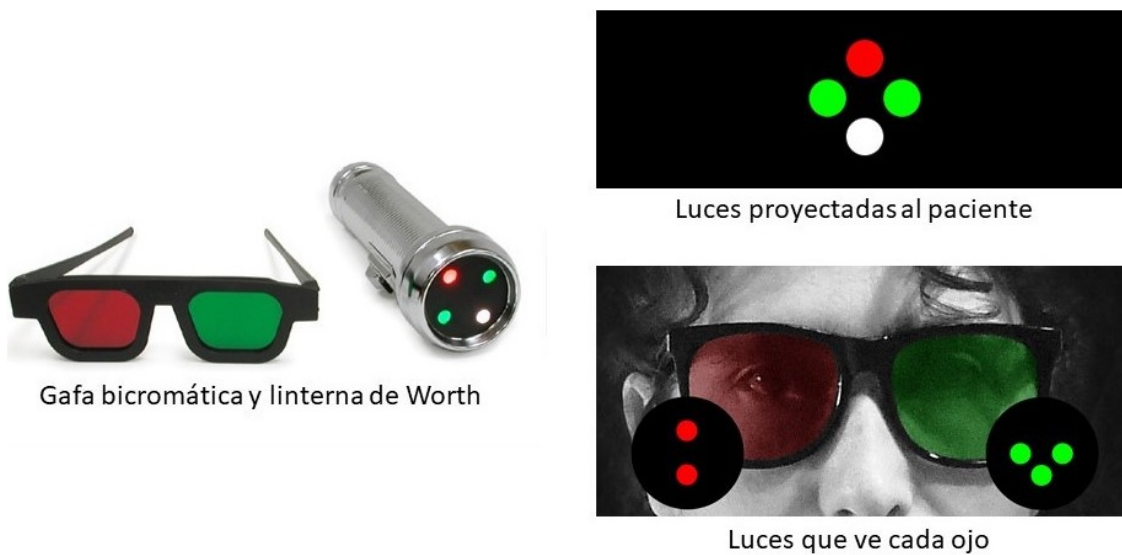
1.5.2.4. Test de Worth (cerca/lejos)

Ideado por Claud Worth en 1903 que lo llamó “test de los cuatro puntos” (Roper-Hall, 2004).

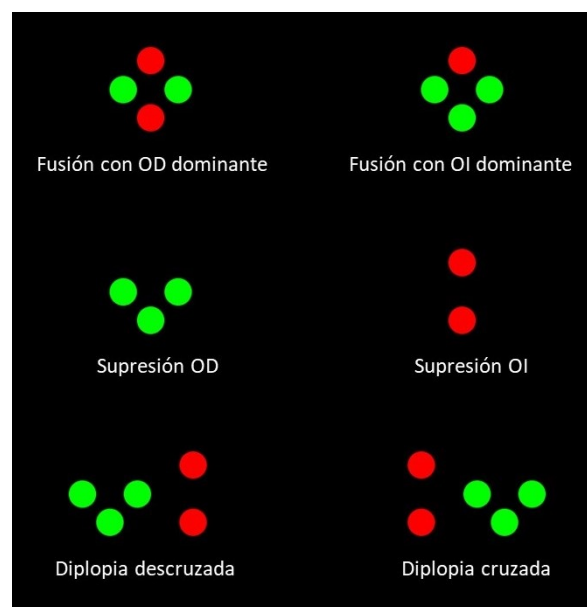
Se puede realizar a diferentes distancias.

Para determinar el ojo dominante el sujeto porta una gafa rojo-verde y mira el test con cuatro puntos luminosos (uno rojo, dos verdes y uno blanco). Debe indicar de qué color ve el punto inferior (blanco).

El ojo dominante es el que lleve el filtro del mismo color del que el paciente manifieste ver el punto blanco. Ver Figura 1.25.



(a) Preparación del test.



(b) Interpretación de respuestas.

Figura 1.25.: Test de Worth.

Para conseguir cuantificar la dominancia sensorial, algunos investigadores han usado tests basados en la rivalidad binocular, como los descritos a continuación.

1.5.2.5. Estereoscopio con tarjeta

Washburn et al. en 1934 utilizaron un estereoscopio con una tarjeta, una de cuyas mitades se cubría con un filtro rojo y la otra con un filtro azul. Se pedía al sujeto que indicara el color de la imagen que veía en los instantes marcados por un metrónomo a lo largo de 3 minutos (roja, azul o púrpura).

El examinador debía registrar las respuestas y sumar las rojas y la mitad de las púrpura para un ojo y las azules y la mitad de las púrpura para el otro ojo.

Después se debía repetir la prueba intercambiando la colocación de los filtros. Se obtenía así un porcentaje de dominancia de cada uno de los ojos que se denominaron como dominancia marcada (si la diferencia entre los porcentajes era de al menos 20), dominancia leve (si estaba entre 10 y 20) y no-dominancia (si era menor de 10) (Washburn et al., 1934).

1.5.2.6. Test de filtro rojo de Humphiss

Humphiss (1969) estudió la dominancia utilizando una carta de Snellen que el sujeto debía mirar de forma binocular mientras se anteponía un filtro rojo en un ojo. Si la carta seguía apareciendo de color blanco se anteponían lentes positivas al ojo sin filtro, entonces al alcanzar una potencia determinada la carta optométrica aparece de color rosa o rojo.

El umbral puede medirse también para el otro ojo, consiguiéndose así cuantificar la dominancia ocular (Evans, 2007).

1.5.2.7. Test de Haidinger

Utiliza el fenómeno descrito por Karl von Haidinger en sus artículos publicados entre 1844 y 1845 (Goldschmidt, 1950).

Este test fue utilizado por Seijas et al. en su estudio de 2007 de la dominancia ocular mediante un sinoptóforo.

El paciente ve una hélice tenue, que gira hacia la derecha con el ojo derecho, y otra hélice que gira hacia la izquierda con el ojo izquierdo. Primero se presentan por separado y luego al mismo tiempo. La visualización simultánea da lugar a la percepción de un movimiento de aleteo que puede quedarse en un movimiento rotacional predominante. Si predomina el movimiento hacia la derecha, el ojo derecho es el dominante, y si predomina el movimiento hacia la izquierda, el ojo izquierdo es el dominante.

Después de establecer la dominancia, se cuantifica mediante la disminución progresiva del contraste de la hélice vista por el ojo dominante en pasos de 5 % (del 100 % del valor) hasta que el movimiento de aleteo se vea otra vez o hasta que se observe la rotación opuesta. Luego se mide el porcentaje de contraste y a partir de él se calcula el nivel original de la dominancia. Por ejemplo, si se produce la percepción de un movimiento de aleteo en contraste del 70 %, la dominancia se calcula que es del 30 % (Seijas et al., 2007).

1.5.2.8. Prueba de equilibrio

Ooi y He (2001) diseñaron una técnica basada en la rivalidad binocular, que denominaron de equilibrio.

Presentaban en una pantalla brevemente (0,33 segundos) de modo dicóptico, por separado a los dos ojos, una matriz de seis rejillas diferentes en orientación y color, creando las condiciones de estímulo para la rivalidad binocular. Después de cada presentación los participantes indicaron si habían visto más *rojo* o más *verde*.

Mediante ensayos se ajustaron las intensidades relativas de las rejillas rivales para encontrar el punto de equilibrio donde ambas respuestas eran igual de probables (Figura 1.26).

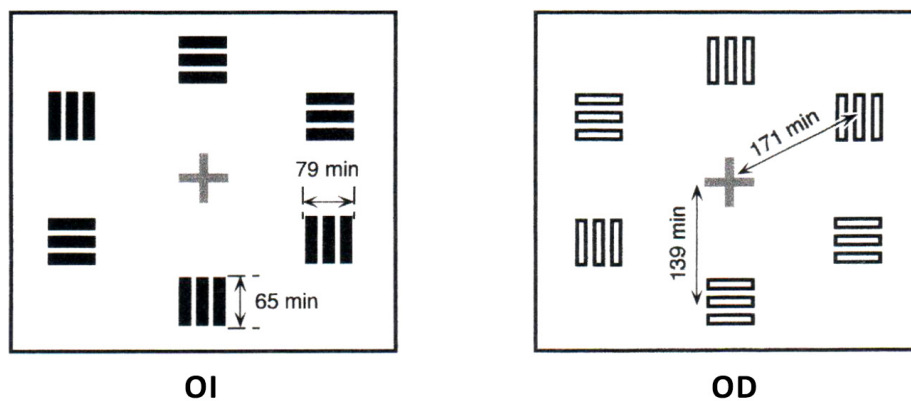


Figura 1.26.: Estímulo de rivalidad binocular usado en la técnica de equilibrio para medir el balance interocular. Seis rejillas cuadradas colocadas alrededor de la cruz de fijación en cada ojo. El color (rojo o verde) y la orientación (vertical u horizontal) diferentes generaban rivalidad binocular. La orden de presentación de estímulo, en términos de color y orientación de las rejillas, era arbitraria (Ooi and He, 2001).

1.5.2.9. Evaluación cuantificada de la dominancia ocular

Handa et al. en sus estudios de 2004b y 2005 utilizaron una técnica similar que hizo posible una evaluación cuantificada de la dominancia ocular.

En su test presentaban estímulos en forma de rejillas rectangulares que generaban rivalidad. Variando la inclinación de las rejillas, el tamaño y el contraste de los estímulos registraban el tiempo durante el que el sujeto veía exclusivamente uno de los estímulos presentados. Cruzando los datos obtenidos con un ojo con los del otro determinaban el ojo dominante y cuantificaban la fuerza de la dominancia.

En 2012, Handa et al. realizaron un estudio para validar su test. Para ello, aplicaron una técnica modificada de equilibrio para conseguir una prueba de cuantificación de la dominancia sensorial basada en la rivalidad. Su pretensión era que el sistema pudiera ser utilizado en la práctica, disminuyendo el tiempo de realización y la diseñaron para ser presentada en un visor para facilitar su realización.

Este test ya había sido utilizado en algún estudio anteriormente, como el realizado por Nakayama et al. en 2010 (Figura 1.27). En él se presentaba una rejilla inclinada a la derecha (45°) en el ojo derecho y una rejilla inclinada a la izquierda (135°) en el ojo izquierdo, ambas con contraste máximo.

El contraste de la rejilla presentada ante el ojo no dominante se mantenía fijo (100 %) y el de la rejilla presentada ante el ojo dominante se iba disminuyendo en 10 pasos (del 100 % al 10 %).

El paciente debía indicar qué rejilla estaba viendo en condiciones de igual contraste (lo que determinaba el ojo dominante) y cuando se empezaba a disminuir el contraste debía indicar el momento en el que suprimía la imagen del ojo dominante y veía la rejilla presentada ante el no dominante. Ese momento determinaba el punto de inversión y la fuerza de la dominancia ocular.

El grado del 100 % (cuando el sujeto ve las dos rejillas de máximo contraste alternativamente sin que predomine ninguna con el contraste máximo) es definido como la dominancia ocular más débil, mientras que el grado del 10 % (cuando el sujeto sigue viendo la imagen del ojo dominante hasta que su contraste baja al 10 %) representa la dominancia ocular más fuerte (Handa et al., 2012).

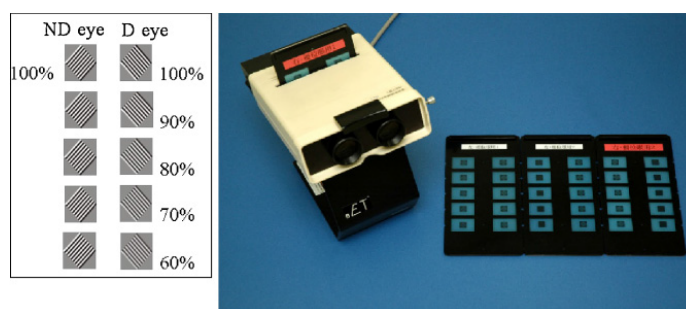


Figura 1.27.: Screener de visión binocular BET^{TM} (WOC) y carta Kitasato donde el contraste del estímulo presentado al ojo no dominante (ND eye) era fijo (100 %) y el del estímulo presentado al ojo dominante (D eye) variaba decreciendo en pasos de 10 % desde el 100 % (Nakayama et al., 2010).

1.5.2.10. Método de Valle-Inclán et al.

Este método buscaba superar los problemas de los métodos anteriores basados en rivalidad, que se producían cuando la supresión de una de las imágenes no es completa, o la transición entre las dos percepciones es lenta y dificulta determinar el ojo dominante.

El método, RSVP³, consiste en presentar, dicópticamente, series de caracteres alfanuméricos seleccionadas al azar, a una frecuencia alrededor de 5 Hz, y pedir al observador que detecte un carácter en particular dentro de la serie (Figura 1.28).

La mayoría de los observadores no percibieron las letras presentadas dicópticamente como solapadas, sino una única letra de cada vez. De esta forma la mayoría de los sujetos pueden detectar con facilidad uno de los estímulos presentados a uno de los ojos mientras que los presentados al otro no son percibidos (Valle-Inclan et al., 2008).

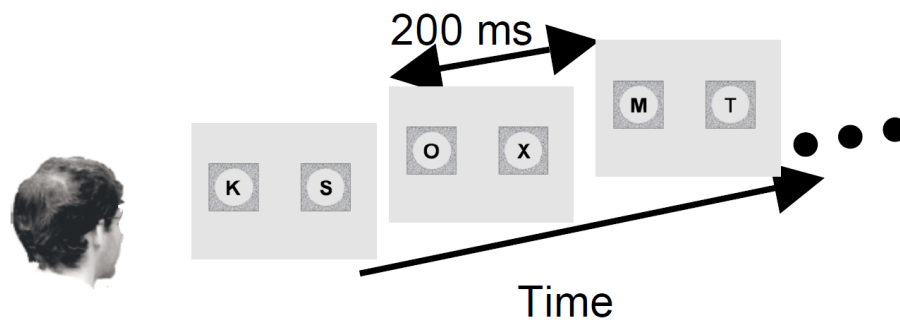


Figura 1.28.: Esquema de la serie de estímulos. El sujeto ve la presentación en un estereoscopio de espejos (no mostrado) y cada ojo ve una secuencia diferente de cartas durante un tiempo de 150 o 200 ms (Valle-Inclan et al., 2008).

1.5.2.11. Método de Yang et al.

Se basa en los tres anteriores. Pero ahora los estímulos rivales son una flecha y un patrón *Mondrian* dinámico.

En la Figura 1.29 se puede ver la serie de estímulos presentados a cada ojo donde el contraste del estímulo, la flecha, aumentaba a la vez que disminuía el del patrón.

El sujeto debía indicar la orientación de la flecha cuando la veía, cuando se conseguía romper la supresión (Yang et al., 2010), de este modo se determinaba y cuantificaba la dominancia sensorial.

³RSVP: presentación visual dicóptica de series rápidas

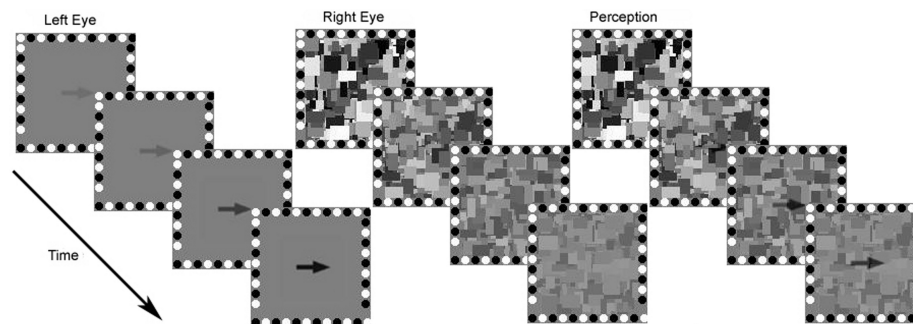


Figura 1.29.: Método de Yang para determina y cuantificar la dominancia sensorial (Yang et al., 2010).

1.5.3. Métodos de determinación y/o medida de la dominancia motora

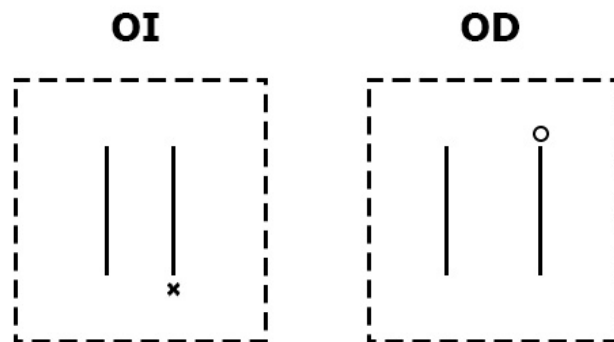
1.5.3.1. Tests de disparidad de fijación (lejos, cerca)

Ogle en 1962 argumentó, basándose en el experimento de Hering descrito más arriba (1.5.1.7), que el ojo no dominante sería el ojo que presentara mayor disparidad de fijación. Esto también fue defendido por Mallett en 1966 (Evans, 2007).

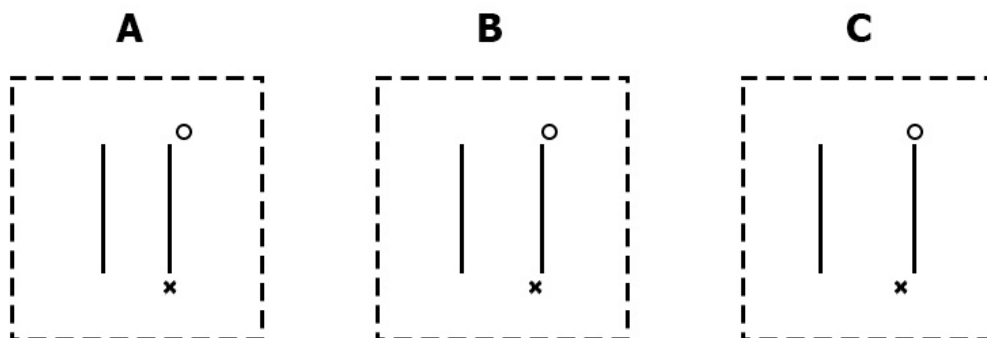
En 1967, Ogle et al. diseñaron un test para evaluar la disparidad de fijación y emplearon ese test para evaluar la dominancia ocular.

En este test presentaban a cada ojo por separado una tarjeta con dos líneas verticales separadas una cierta distancia. En la tarjeta colocada delante del ojo izquierdo, la línea situada a la derecha presentaba una “x” en su extremo inferior. En la tarjeta colocada delante del ojo derecho, la línea situada a la derecha presentaba una “o” en su extremo superior.

Cuando las imágenes eran fusionadas, el desplazamiento horizontal de la “x” y de la “o” en relación a la línea vertical de la derecha podía determinar el ojo dominante según se muestra en la Figura 1.30.



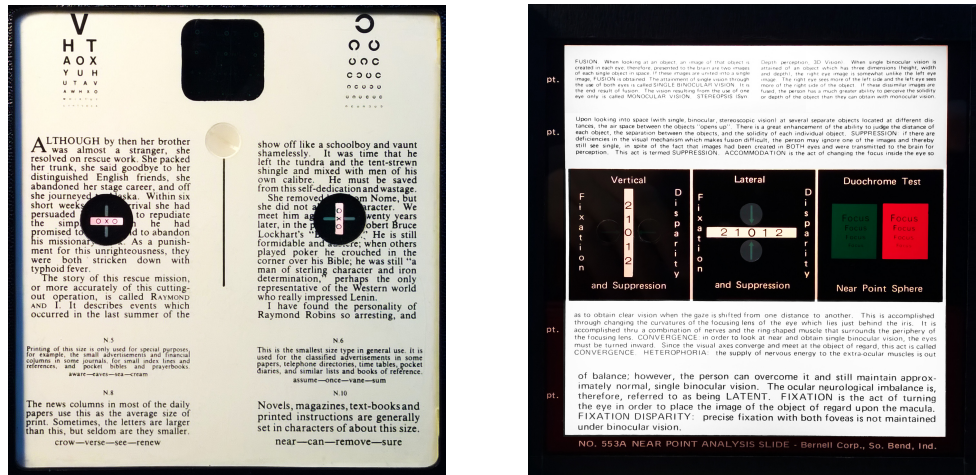
(a) Estímulo presentado a cada ojo.



(b) Percepción binocular de los estímulos.

Figura 1.30.: Test para evaluar la dominancia ocular adaptado del de de Ogle et al. (1967). En la figura **a**, los estímulos, cuyas líneas verticales tienen diferente separación para cada ojo. En la figura **b**, los posibles resultados en función de la posición de las marcas de identificación (**x** y **o**) respecto a las líneas: **A**- el OI es el dominante. **B**- ninguno de los ojos es dominante. **C**- el dominante es el OD (Ogle and Wakefield, 1967).

Para conseguir determinar qué ojo presenta menor disparidad de fijación se debe utilizar un test de disparidad que permita diferenciar la disparidad de cada uno de los ojos como el disparómetro de Sheedy, el de Mallet y otros (Figura 1.31).



(a) Test de disparidad de Mallet.

(b) Test de disparidad de Bernell tipo Mallet.

Figura 1.31.: Algunos tests de disparidad que permiten diferenciar la disparidad de cada uno de los ojos.

1.5.3.2. Test de convergencia al punto cercano

Utilizado por Mills en 1925, se pide al paciente que fije la abertura central en un espejo plano sujetado a unos 60 centímetros de distancia en la línea media. Entonces se mueve el espejo despacio hacia el sujeto hasta que se alcance y pase el punto próximo de convergencia, momento en el que puede ocurrir que uno de los ojos tienda a divergir más o menos bruscamente. El ojo que continúa fijando será el dominante.

Cuando esto no suceda y los dos ojos sigan fijando se debe repetir la prueba o se sujeta el espejo unos pocos segundos en el punto cercano máximo para cansar los músculos aductores (Miles, 1929).

Este test se lleva a cabo habitualmente usando otro estímulo de fijación en lugar de un espejo, como una luz puntual (Coren and Kaplan, 1973), como se ve en la Figura 1.32, de la misma forma que se hace para medir el punto próximo de convergencia.



Figura 1.32.: *Test de convergencia al punto cercano usando una luz puntual.*

1.5.3.3. Test del guiño

Fue descrita y utilizada por Danielson en 1930.

Coren y Kaplan en su estudio de 1973 clasifican esta prueba como de dominancia motora (Coren and Kaplan, 1973).

El ojo dominante es determinado pidiendo al paciente que guiñe ambos ojos alternativamente y estime cuál le parece más fácil de cerrar. El ojo que más fácilmente se cierra es el ojo no dominante.

1.5.4. Otros tests: determinación de la prevalencia ocular

Los tests de dominancia ocular direccional, tales como apuntar con un dedo o una pistola, fuerzan al sujeto a escoger un ojo para la alineación pues contienen estéreo-objetos con una disparidad fuera de las zonas de Panum. Kommerell et al (2003) describieron la prevalencia ocular como una forma diferente de dominancia ocular cuando los estéreo-objetivos son visualizados dentro de áreas de Panum. Así, los tests de prevalencia ocular no fuerzan al sujeto a elegir entre imágenes diplópicas y facilitan una cuantificación gradual del equilibrio entre los dos ojos.

1.5.4.1. Cuentas alineadas con una plomada

Charnwood (1949) criticó las pruebas de dominancia ocular que incluyen sostener un objeto para mirar a su través, incluso utilizando ambas manos, ya que pensaba que eso forzaba la elección de ojo y no dejaba dar una respuesta neutral (Evans, 2007).

Charnwood describió un experimento donde los participantes debían observar dos cuentas (suspendidas por un hilo que no se ve), que están alineadas con una plomada, situada justo en frente de la cabeza del participante (Figuras a y b 1.33).

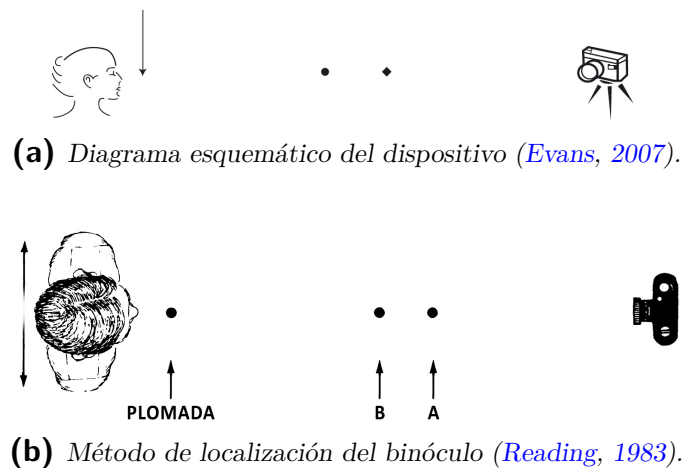


Figura 1.33.: Dispositivo experimental de Charnwood.

Los participantes se colocaban de modo que alinearan las dos cuentas. Luego se fotografiaba la posición de la plomada en su frente para determinar el “ojo dominante”. Charnwood demuestra que el centro de proyección no está en un ojo, sino entre los dos ojos (Figura 1.34a).

Además, cuando se introducía una esfera de $+0.50 D$ ante un ojo, cambiaba el centro de proyección (Figura 1.34b) y esto es análogo a la situación de monovisión (Evans, 2007).



(a) El centro de proyección no está en un ojo, sino entre los dos ojos.



(b) Si se antepone una esfera de $+0.50 D$ a un ojo, cambia el centro de proyección.

Figura 1.34.: CHARNWOOD realizando su experimento (Evans, 2007).

1.5.4.2. Dispositivo de Sachsenweger

En 1958, Sachsenweger ideó un dispositivo en el que presentaba dos estímulos con una estereodisparidad de 7' en la línea media entre los dos ojos.

La mayoría de los participantes apreciaban un desplazamiento horizontal de los dos estímulos uno respecto del otro.

En el dispositivo había que ajustar la posición de los dos estímulos hasta que el sujeto los percibía alineados, Sachsenweger cuantificó así la prevalencia de uno de los ojos sobre el otro (Figura 1.35).

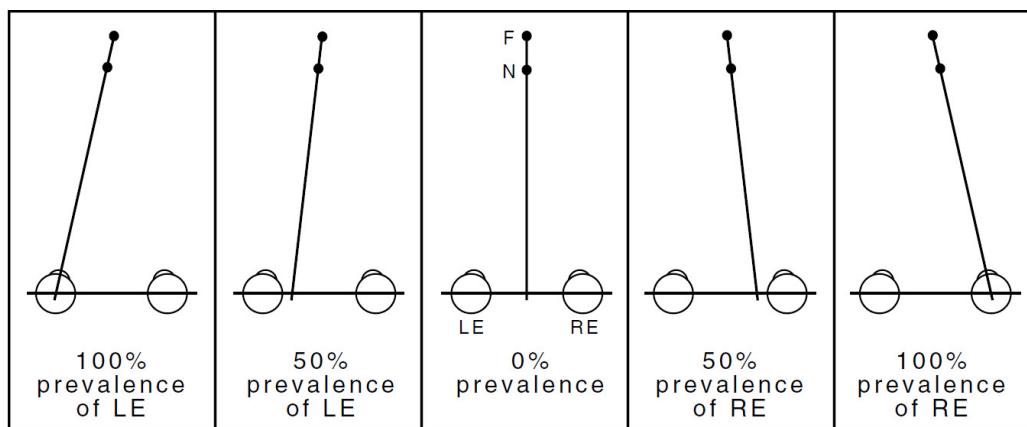


Figura 1.35.: Medida de la prevalencia ocular con el dispositivo de Sachsenweger. El sujeto debe alinear un objeto lejano (*F*) con otro que está por delante (*N*) en el plano horizontal de la altura de los ojos. La línea que une ambos objetos cruza el eje interocular en un punto entre los ojos. El cruce puede considerarse como el punto de vista ficticio desde el que los dos objetos quedan alineados en la misma dirección. Si ambos ojos contribuyen por igual a la percepción direccional, el punto de vista cae a mitad de camino entre los ojos. La prevalencia de un ojo desplaza el punto de vista de la posición media. La figura presenta los esquemas de cinco posibilidades, que van desde 100 % de prevalencia del ojo izquierdo al 100 % de prevalencia del ojo derecho (Kommerell et al., 2003).

1.5.4.3. Test de Freiburg de prevalencia ocular

Es una adaptación electrónica del test de Sachsenweger usando un ordenador y unas gafas de cristal líquido, descrito por Kommerell et al. (Kommerell et al., 2003).

Presentaban dos estímulos triangulares con la disparidad máxima tolerada sin visión doble (4.5'). El triángulo superior aparecía con una estereo-disparidad de 2.25' detrás de la montura, y el triángulo inferior con una estereo disparidad de 2.25' delante de la montura (Figura 1.36).

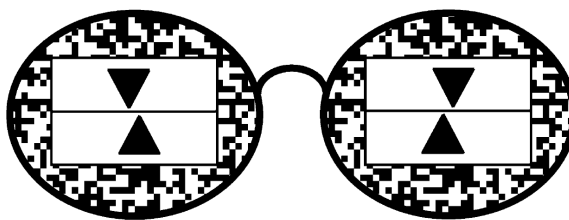


Figura 1.36.: *Test de Prevalencia Ocular de Freiburg. El triángulo superior aparece por detrás y el inferior por delante del plano de referencia (montura y patrón de cuadrados) (Kommerell et al., 2003).*

Al comenzar cada prueba, las puntas de los triángulos no estaban verticalmente alineadas: el triángulo superior estaba desplazado 2.25' a la izquierda y el inferior 2.25' a la derecha desde la línea media de la montura.

La tarea del sujeto era alinear verticalmente los triángulos. Una alineación objetiva entre los dos triángulos fue considerada como *prevalencia cero*. Si el sujeto ponía el triángulo superior, posterior en 2.25' a la izquierda y el de abajo, anterior en 2.25' y a la derecha, se registraba una prevalencia del 100% del ojo derecho. Si hacía lo contrario se anotaba prevalencia del ojo izquierdo del 100%.

La distancia entre 0' y 2.25' se transformó linealmente en una escala de porcentaje. Por ejemplo, un desplazamiento del triángulo superior, posterior de 1.125' a la izquierda se anotó como un 50% de prevalencia del ojo derecho.

1.5.4.4. Test de estereo-equilibrio de Haase

Haase (1994) propone un método que presenta también dos triángulos uno encima y otro debajo de un objeto central que consta de un disco y dos escalas de medida (Figura 1.37).

Los triángulos se muestran con una estereo disparidad de 13' en relación con el objeto central (por delante y por detrás) y se pide al sujeto que observe la posición horizontal del triángulo superior con respecto al objeto central durante un periodo de 10seg. Después se hace memorizar la posición del triángulo superior tal y como aparece al final de los 10seg., y se le pide que dibuje la posición percibida del objeto central (Figura 1.38).

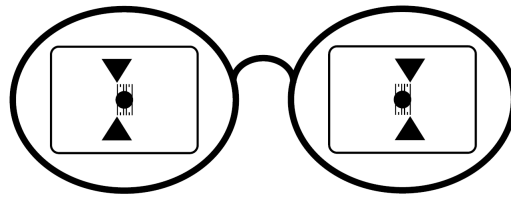


Figura 1.37.: Test de estereo-equilibrio de Haase. Imágenes presentadas al sujeto (Kommerell et al., 2003).

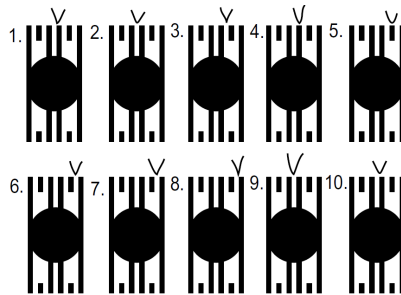


Figura 1.38.: Test de estereo-equilibrio de Haase. Ejemplo de las marcas que debía dibujar el sujeto según su percepción. (Kommerell et al., 2003).

1.5.4.5. Estereotest

El sujeto, con gafas polarizadas, ha de mirar al test situado a 6 m. El test consiste en una figura compuesta por cuatro líneas, dos horizontales y dos verticales que forman una cruz en la que queda un espacio en el centro donde hay un punto que presenta cierta estereodisparidad con las cuatro líneas.

El paciente debe observar si las dos líneas verticales están alineadas con el punto o si están desplazadas hacia un lado. Si hay desplazamiento hacia la derecha, entonces el ojo derecho se considera el dominante y viceversa (Figura 1.39) (Seijas et al., 2007).

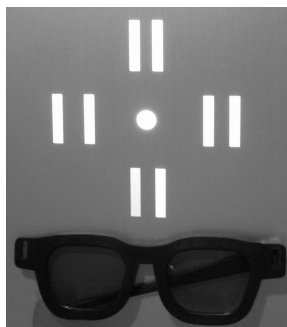


Figura 1.39.: Estereotest y gafa polarizada.

1.6. Fiabilidad de los tests

Para que un test de dominancia ocular sea útil clínicamente, se necesita que produzca resultados inequívocos en la mayoría de los pacientes, y estos resultados deben ser significativos en relación con un problema clínico (Seijas et al., 2007).

Se han realizado diferentes estudios en busca del test que resultara más fiable comparando los resultados obtenidos al aplicar distintas pruebas para analizar la concordancia entre ellos. Así Malott et al. (1996) compararon los resultados de un test de dominancia ocular direccional, la variante de tarjeta agujereada usando las manos, con una prueba de dominancia sensorial determinando el ojo que aceptaba la menor cantidad de positivo mientras miraba un objeto lejano binocularmente. El propósito del estudio era comprobar si el ojo dominante resultante de la prueba de dominancia direccional aceptaba menos lente positiva emborronando la imagen que el ojo no dominante (intentando simular lo que ocurre al aplicar la técnica de monovisión). Finalmente concluyeron que no existía alta correlación entre los resultados de ambas pruebas.

En 2007 Seijas et al. analizaron la respuesta de sujetos emétopes normales a nueve pruebas de dominancia ocular direccional, motora y sensorial y test de prevalencia ocular. Los tests que realizaron fueron: el test de la tarjeta agujereada, el test del dedo apuntador, el test del caleidoscopio, el test de convergencia al punto cercano, el test de la lente positiva de 1D (cerca y lejos), el test de Worth (cerca y lejos), test de polarizados (cerca y lejos), estereotest en lejos y el test de Haidinger con sinoptóforo. En su estudio encontraron un porcentaje significativo de resultados inciertos o ambiguos en todas las pruebas realizadas, excepto en las pruebas de tarjeta-agujereada y caleidoscopio. Cuando se compararon las pruebas, de dos en dos, la correlación o equivalencia encontrada fue baja y fue mucho menor al comparar las pruebas de tres en tres (Seijas et al., 2007).

En 2017, Bossi et al. analizaron la respuesta de personas con visión normal a siete pruebas de dominancia sensorial buscando un test de medida rápido y fiable. En sus pruebas presentaban pares de estímulos para que el observador viera de forma dicóptica que generaran rivalidad binocular por diferencia de forma, de polaridad de contraste, de movimiento y otros que no generaran rivalidad. Los estímulos utilizados fueron pares de letras diferentes colocadas de forma que quedaran superpuestas al fusionar o separadas, pares de la misma letra con distinta polaridad de contraste, redes sinusoidales con la misma frecuencia donde se variaba la posición y la polaridad de contraste y patrones que se desplazaban en direcciones opuestas (hacia arriba o hacia abajo). En su estudio concluyeron que sólo una de las siete pruebas, la que empleaba la misma letra con diferente polaridad de contraste como estímulo, daba resultados fiables y rápidos para cuantificar la dominancia sensorial.

Los resultados de los tests deberían llevarnos a intentar contestar a las siguientes preguntas:

1. ¿Hay un ojo dominante para cada persona?

2. ¿Hay un solo ojo dominante para cada prueba?

1.6.1. ¿Hay un ojo dominante para cada persona?

Ya en 1903 Rosenbach, aplicando su test (descrito más arriba, 1.5.1.1), comprobó que el ojo dominante direccional no siempre coincidía con el ojo con mejor agudeza visual o el dominante en pruebas de rivalidad (Walls, 1951). Estos hallazgos fueron confirmados por Hillemanns en 1927 (Kommerell et al., 2003) con su estudio de 400 sujetos no estrábitos. En este estudio, realizando la prueba de Rosenbach, el 40 % de los participantes mostraron dominancia del ojo derecho y un 20 % del ojo izquierdo. Sin embargo, también se observó que el 40 % no estaba seguro de con qué ojo veían el dedo índice alineado con el estímulo, y cuando se les forzó a elegir los resultados variaron al repetir las pruebas. Similares resultados fueron obtenidos en el estudio de Coren y Kaplan en 1973 (Porac and Coren, 1976).

En 1949 Charnwood, con su método descrito más arriba (1.5.4.1), obtuvo resultados distintos a la prueba convencional de dominancia de mirada para la cual Charnwood alineó dos cuentas y también las señaló como en una prueba convencional de dominancia de mirada (Figura 1.40). Además, en el mismo experimento, demostró que la dominancia cambia al interponer una lente positiva (como se puede ver en las Figuras 1.34 a y b).



Figura 1.40.: CHARNWOOD señalando hacia las cuentas (Evans, 2007).

En 1973 Coren y Kaplan analizaron los resultados de doce pruebas de dominancia ocular en 57 sujetos con visión normal. Las pruebas incluían tests de dominancia direccional, sensorial y motora. En su análisis encontraron muy baja correlación entre las pruebas (Coren and Kaplan, 1973).

Estudios más recientes como el de Ooi y He en 2001, donde utilizaban un método basado en la rivalidad binocular que se centraba en la supresión interocular, no obtuvieron relación entre los resultados obtenidos mediante esta técnica y la dominancia medida mediante pruebas de dominancia direccional convencionales.

En el trabajo de Handa et al. (2004b) los índices de dominancia ocular, utilizando rivalidad, se correlacionaban significativamente con los resultados de una prueba de dominancia direccional, algo que trabajos anteriores, utilizando la rivalidad, no habían encontrado con la suficiente consistencia (Yang et al., 2010).

En la extensa bibliografía sobre el tema, numerosísimos estudios muestran de forma abrumadora que la dominancia medida con un criterio no se correlaciona bien con los resultados que se obtienen al medirla con los otros criterios (Mapp et al., 2003). A pesar de esto Mapp, Ono y Barbeito en su revisión de 2003 constataban que la existencia de un solo ojo dominante seguía siendo la opinión predominante en la literatura e incluso la motivación de diferentes estudios cuyos resultados son cuestionados en dicha revisión. Sin embargo, admiten que ciertas personas, con alguna disfunción que afecte a uno de los ojos o con un grado de dominancia muy fuerte, sí podrían presentar un único ojo dominante, pero esto no sucedería en la mayor parte de la población en la que la dominancia no sería *fija* y podría cambiar según sea medida con un criterio u otro.

En esta línea, en un estudio reciente realizado por Seijas et al. en 2007, analizaban los resultados de diferentes pruebas de dominancia, tanto direccional como sensorial, en 50 sujetos emétopes. Este estudio concluye que el test de la tarjeta agujereada tiene muy poca correlación con otras pruebas de dominancia direccional como el dedo apuntador, aunque tienen casi el mismo mecanismo. También encuentran muy baja correlación entre los resultados de las pruebas de dominancia sensorial y en cuanto a las pruebas de dominancia realizadas de lejos y cerca, no se correlacionan, por lo que no muestran una dominancia clara de un ojo en ambas distancias en la mayoría de los sujetos. Este estudio concluye que la mayoría de las personas que no presenten patología ocular puede que tengan un equilibrio de alternancia constante entre ambos ojos en lugar de una dominancia clara, lo que coincide con la conclusión de Mapp, Ono y Barbeito en su revisión de 2003.

Según lo expuesto hasta ahora parece que no hay ninguna razón para asumir que, para cualquier individuo, el mismo ojo sea el ojo dominante para las tres categorías. Toda esta variabilidad apoya la suposición de que no existe una dominancia ocular clara en muchos sujetos.

1.6.2. ¿Hay un solo ojo dominante para cada prueba?

Dentro de cada uno de los criterios de identificación de la dominancia ocular es necesario conocer si los diferentes tests identifican al mismo ojo como dominante.

La dominancia direccional se puede determinar utilizando diferentes pruebas que ya hemos descrito. Cada test identifica claramente un ojo preferido para realizar la tarea, y al repetir la prueba la fiabilidad es alta (Miles, 1929; Porac and Coren, 1976). Sin embargo, según concluyeron Mapp, Ono y Barbeito en 2003 tras revisar la bibliografía, hay evidencias de que el ojo identificado como dominante direccional depende de:

1. el conocimiento del sujeto de la tarea ([Miles, 1929](#))
2. la dirección en la que se mueva la tarjeta durante la prueba ([Ono and Barbeito, 1982](#))
3. ángulo de mirada ([Khan and Crawford, 2001](#)), y
4. la mano usada en ciertas situaciones ([Carey, 2001](#)).

Aunque los investigadores han intentado eliminar todos los factores que pudieran influir en cada prueba, no se sabe si un cambio en la identificación del ojo dominante podría ser achacado a algún factor indeseable de la técnica de medida o es un cambio real del ojo dominante ([Mapp et al., 2003](#)).

Esta falta de acuerdo entre diferentes pruebas de dominancia parece una característica común en la bibliografía. Esto llevaría a concluir que en una determinada persona, la dominancia ocular cambia con condiciones de prueba diferentes, en diferentes posiciones en el campo visual, con factores de la atención ([Ooi and He, 1999](#)) y, de hecho, de un momento a otro ([Evans, 2007](#)).

En el estudio reciente de Seijas et al. en 2007 concluyeron que, en cuanto a las pruebas de dominancia direccional y motora, el test del dedo apuntador y el test del punto próximo de convergencia daban muchos resultados indeterminados (12-40 %). En el primer caso porque el dedo apuntador produce una imagen doble del dedo que hace que muchos sujetos sean incapaces de elegir entre las dos imágenes al intentar alinear con el estímulo; y en el test del PPC, ocurre que muchos pacientes rompen la fijación con ambos ojos simultáneamente, por lo que no se puede determinar un ojo dominante.

Esto coincide con los resultados obtenidos por Hillemanns en 1927 ya mencionados ([Kommerell et al., 2003](#)).

En el estudio de Seijas, sólo las pruebas de la tarjeta agujereada y la del caleidoscopio no produjeron resultados indeterminados. Sin embargo el test de la tarjeta tiene problemas como que es altamente influenciado por el ángulo de mirada horizontal. Así la dominancia ocular puede cambiar en ángulos de mirada de sólo 15,5 grados respecto a la posición primaria de mirada ([Khan and Crawford, 2001](#); [Quartley and Firth, 2004](#)).

Diferentes autores mantienen, pues, que el ojo identificado como dominante direccional determinado por la obligación de utilizar un solo ojo en la tarea de apuntar, está influenciado por la facilidad o el hábito de usar un ojo en particular para dicha tarea ([Barbeito, 1981](#); [Miles, 1928](#); [Ono and Barbeito, 1982](#)).

Sin embargo, parece ser que la dominancia direccional determinada con el test de la tarjeta agujereada no cambia al interponer lentes positivas sobre el ojo dominante ([Nakayama et al., 2010](#)).

En cuanto a los tests de dominancia sensorial, los que están basados en generar rivalidad sólo pueden usarse cuando los estímulos son pequeños y discretos, lo cual

cuestiona la capacidad de tal técnica de rivalidad para proporcionar una indicación *global* más amplia de dominancia ocular (Pointer, 2010). El porcentaje de tiempo que la visión de un ojo predomina cuando se mira un estímulo que genera rivalidad es fácil de medir cuando el estímulo es pequeño, pero cuando el estímulo es grande, hay rivalidad entre diferentes partes, y por lo tanto determinar la dominancia es muy difícil.

Además, la dominancia determinada por rivalidad puede variar en función del contorno, contraste, o las propiedades temporales de los estímulos que compiten (Howard, 2002) y las rivalidades entre formas, contornos, y colores pueden ser producidas por diferentes mecanismos lo que dificulta su estudio aún más (Mapp et al., 2003). Por lo tanto, la dominancia por rivalidad depende de la correlación entre diferencias individuales y otras variables perceptuales (Mapp et al., 2003).

Por otro lado, según estudios recientes, parece ser que la dominancia determinada por rivalidad varía también cuando se coloca una adición positiva (+1.00 D) sobre el ojo dominante (Nakayama et al., 2010).

El estudio de Seijas con los tests de dominancia sensorial (luces de Worth, estereotest, polarizados) obtuvo un gran número de resultados inciertos (Seijas et al., 2007).

Según todo esto, la dominancia de una persona puede cambiar dependiendo de la distancia de fijación (lejos vs. cerca) o para diferentes tareas visuales. Así mismo el grado de dominancia puede también variar.

1.7. Importancia clínica de la dominancia ocular

Sheard en 1922 ya observó que, aunque examinados por separado ambos ojos presentan igual agudeza visual, si se comparan interocularmente la imagen de un ojo puede ser mejor que la del otro. Esto llevó a Sheard a sugerir lo siguiente en cuanto a la forma de actuar cuando existe una dominancia ocular marcada (Ooi and He, 2001):

- se debe intentar igualar ambos ojos agregando lentes positivas al ojo con mejor visión para conseguir el equilibrio binocular (algo que se realiza al final de la refracción)
- se debe dejar la agudeza visual en el ojo dominante ligeramente mejor que en el otro ojo. De lo contrario, el paciente experimentará ciertas molestias.
- si se necesita compensación prismática, la mayor parte habría que ponerla en el ojo no dominante.
- la meta es igualar los dos ojos con el fin de evitar interacciones binoculares adversas como supresión interocular, que produce astenopia.

(Crider, 1943; Ooi and He, 2001)

Actualmente la dominancia ocular no se considera un problema visual y se aplica fundamentalmente a la hora de determinar el ojo que se debe compensar o corregir para lejos o cerca al inducir monovisión en el tratamiento de la presbicia. También se estudia la importancia del ojo dominante en la comprensión del desarrollo y tratamiento de la ambliopía (Bossi et al., 2017a), en cirugía de cataratas, en visión deportiva y como indicador diagnóstico de los cambios producidos por maculopatías asociadas a la edad (Wiecek et al., 2015).

A pesar de todo lo expuesto sobre la dificultad que entraña la determinación de la dominancia ocular y su complejidad, se sigue considerando que la dominancia ocular muestra la misma lateralidad que la preferencia de extremidad (mano/pie) algo que se basa en las observaciones de Porta (1593) o Humphrey (1861) (Pointer, 2010). Sin embargo numerosos estudios realizados para investigar la relación entre la dominancia ocular y la de mano o pie no han obtenido una relación congruente (Coren and Kaplan, 1973; Porac and Coren, 1976; Pointer, 2001).

También se tiene en cuenta la dominancia sensorial, en concreto la rivalidad binocular, para estudiar la consciencia visual. Se utiliza la rivalidad binocular porque es una condición que permite mantener constante la estimulación mientras varía la consciencia visual Valle-Inclan et al. (2007) al alternarse la visión de las imágenes entre suprimida y dominante.

1.8. Dominancia ocular y monovisión

La monovisión es un método de tratamiento de la presbicia en el que un ojo es compensado para ver de lejos y el otro para cerca con el objetivo ideal de que los sujetos sean capaces de ver claramente a todas las distancias.

Se podría decir que la primera forma de monovisión fue aplicada con el uso del monóculo, pero este sistema estaba normalmente limitado a los casos en los que el ojo utilizado para lejos era emétrope (Evans, 2007).

El diseño de la técnica de monovisión se atribuye a Westmith en 1958 que utilizó el método con usuarios de lentes de contacto presbitas (Seijas et al., 2007).

Esta técnica produce alteraciones en la visión binocular (Johannsdottir and Stelmach, 2001) y sobre todo puede producir problemas de noche por el aumento del diámetro pupilar y la mayor dificultad de suprimir la imagen borrosa en condiciones de alto contraste (Schor et al., 1987). Por lo tanto, debería evitarse su aplicación en pacientes con determinadas profesiones que requieran una visión binocular muy precisa y/o precisen una buena visión nocturna.

La monovisión genera una anisometropía que con lentes oftálmicas puede causar problemas (Evans, 2007) así que para evitarlos está más indicada con compensaciones que se sitúan en el plano corneal; lentes de contacto, cirugía refractiva (tanto corneal como con lentes intraoculares) y cirugía de cataratas.

A la hora de inducir monovisión, por lo tanto, es necesario que el clínico determine qué ojo compensa para cada distancia. Normalmente el ojo dominante es compensado para lejos y el no dominante para cerca en la técnica denominada “monovisión clásica”. Aunque también se puede emplear la técnica de “monovisión cruzada” en la que el ojo dominante el compensado para cerca y el no dominante para lejos (Jain et al., 1996).

Aunque el rango de éxito de la monovisión con lentes de contacto y cirugía refractiva ha sido bastante alto (Jain et al., 1996; Johannsdottir and Stelmach, 2001; Handa et al., 2004a; Evans, 2007), no todos los adaptados con monovisión alcanzan un resultado final satisfactorio y en esto podría tener un papel importante el estudio de la dominancia ocular para determinar qué ojo se compensa para cada distancia y para ayudar a predecir el éxito de la técnica en cada paciente.

Las estrategias más comúnmente utilizadas para elegir el ojo a compensar para cada distancia en monovisión son:

- compensar el ojo dominante direccional para la distancia que más se use
- compensar el ojo más miope para cerca para aumentar la probabilidad de que reciba menos borrosidad periférica al mirar de lejos
- compensar el ojo izquierdo, considerado *del tráfico* cuando se conduce por la derecha, para lejos
- compensar el ojo dominante direccional para lejos para mejorar la predicción de la dirección espacial, importante en tareas de locomoción

(Erickson and Schor, 1990)

Generalmente, se suele hacer solo la prueba de dominancia ocular direccional de lejos, y luego compensan el ojo determinado como dominante para lejos y el no dominante para cerca. Esta elección se justifica en base a que al ojo dominante direccional se le reconoce un nivel superior para tareas espacio-locomotoras (caminar y conducir) (Erickson and Schor, 1990). Por todas estas razones se considera este método el aceptado convencionalmente para llevar a cabo el procedimiento de monovisión (Jain et al., 1996). Además se sabe que compensando de esta manera (dominante/lejos) se produce una mejor sumación binocular a distancia media y una estéreo-agudeza razonable en cerca (Nitta et al., 2007). Sin embargo, parece lógico pensar, teniendo en cuenta lo que sucede al inducir monovisión, que conocer cómo una persona puede adaptarse a una imagen retiniana nítida en un ojo y borrosa en el otro (dominancia sensorial) pueda ser más importante que determinar el ojo dominante direccional.

También parecería conveniente testar la dominancia para diferentes distancias, como constatan los resultados de estudios recientes que confirman la variación significativa de la dominancia ocular en función de la distancia de prueba (Ho et al., 2018).

Charnwood en 1949 demostró que la dominancia direccional cambia cuando se modifica la compensación refractiva en un ojo. Así que, en cuanto se prescribe monovisión,

se puede estar cambiando la dominancia direccional. Esto debe levantar dudas sobre la validez de utilizar pruebas de dominancia direccional para predecir el éxito de la monovisión o determinar qué ojo debe llevar la compensación para lejos (Evans, 2007).

Handa (Handa et al., 2012) consideró que para que la técnica de la monovisión alcance mejor el éxito es necesario que los pacientes presenten una dominancia ocular débil. Cuando existe una dominancia ocular fuerte es muy difícil suprimir la imagen borrosa del ojo dominante y esto puede alterar la función visual (Jain et al., 1996; Johannsdottir and Stelmach, 2001; Evans, 2007).

Por lo tanto, si una persona tiene una fuerte preferencia por un ojo como dominante tanto de lejos como de cerca podría tener dificultades para adaptarse a la monovisión porque ésta le obligaría a cambiar su dominancia en una de las dos distancias.

Otros pacientes pueden tener una dominancia relativamente débil o ninguna preferencia definida tanto de lejos como de cerca. Estos pacientes tendrán mejor pronóstico de éxito con monovisión que las personas con dominancia fuerte.

Según todo lo expuesto, cuando se pretende aplicar la técnica de monovisión habría que tener en cuenta las siguientes cuestiones:

- ¿Se debe testar la dominancia sensorial y/o la direccional?
- ¿Se debe testar la dominancia a diferentes distancias (lejos/cerca)?
- ¿Se debe cuantificar la dominancia (dominancia fuerte/débil)?

Handa et al. en 2004 demostraron, utilizando un método que cuantificaba la dominancia ocular sensorial, que había una fuerte relación entre el grado de la dominancia ocular y la satisfacción del paciente después de inducir monovisión por implante de lente intraocular tras cirugía de cataratas (Handa et al., 2004a). Así mismo, teniendo en cuenta el efecto de la sumación binocular⁴, el límite superior de la adición para lectura en monovisión se ha establecido en 2.5 D pues la sensibilidad al contraste binocular se revierte al nivel monocular cuando la adición en el ojo no dominante es mayor de ese valor (Jain et al., 1996). Por lo tanto, con adiciones menores a 2.5 D en el ojo no dominante existe sumación binocular (Handa et al., 2005).

⁴Proceso por el cual la imagen binocular es mejor que cada una de las monoculares.

2. OBJETIVO

2 OBJETIVO

2.1. OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es el desarrollo de un sistema para determinar la dominancia/prevalencia ocular sensorial de una forma sencilla, que pueda ser usado antes de intervenciones quirúrgicas, adaptaciones de lentes de contacto u otras compensaciones optométricas que conlleven la necesidad de definir cuál es el ojo dominante.

El objetivo general se alcanzará a través de los siguientes objetivos específicos:

1. Desarrollo de un test psicofísico para la evaluación de la dominancia/prevalencia ocular.
2. Evaluación de la dominancia/prevalencia ocular con métodos tradicionales y con el nuevo test.
3. Comparar los resultados obtenidos con los métodos tradicionales y con el nuevo test.
4. Demostrar que el ojo dominante/prevalente cambia en función de la tarea visual que se realiza.

2.2. HIPÓTESIS

- La mayoría de las personas no tienen un ojo dominante para todas las tareas.
- Los resultados de las pruebas de dominancia ocular tradicionales pueden ser contradictorios y poco fiables.
- Los métodos tradicionales no son lo suficientemente sensibles o específicos para determinar el ojo dominante/prevalente para las distintas tareas.
- El nuevo método será capaz de ofrecer una información más completa analizando la prevalencia ocular en función de la tarea (frecuencia y contraste utilizados).
- Con el nuevo método se demostrará que la mayoría de las personas no tienen una dominancia/prevalencia ocular clara en términos generales y, en esos casos, puede ofrecer datos de cuál es el ojo más prevalente en función de la tarea para tomar una decisión más fundamentada a la hora de intervenir con técnicas de monovisión.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Diseño del estudio

Se trata de un estudio prospectivo. Los participantes fueron reclutados entre los estudiantes de la Facultad de Óptica y Optometría de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) siendo todos ellos informados de las características y objetivos del estudio (ver el Anexo [A.2 en la página 125](#) la hoja informativa con los objetivos del estudio y las pruebas que se programaron). Así mismo, se les informó sobre el tratamiento que se daría a los datos recabados y sobre la posibilidad de abandonar el estudio en cualquier momento. La elección de los participantes se realizó de acuerdo con los criterios de inclusión que aparecen indicados en el apartado [3.1.1](#) de la presente memoria. El estudio cumple las normas de Buena Práctica Clínica (BPC) en investigación respetando la Declaración de Helsinki, contando con el informe favorable por parte del Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos (ver Anexo [A.1 en la página 123](#)). Junto con la hoja informativa se entregaba a todos los participantes un documento para certificar su consentimiento informado (ver Anexo [A.3 en la página 129](#)) que, una vez leído, debían firmar y entregar al investigador responsable.

3.1.1. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión para participar en el estudio fueron los siguientes:

- a) Edades comprendidas entre los 18 y los 30 años.
- b) Ser emétrope, con equivalente esférico entre -1 y +1 en ambos ojos ([Hofstetter, 1969](#); [Grosvenor and Goss, 1998](#); [Seidel et al., 2005](#)).
- c) Presentar agudeza visual compensada monocular de al menos 0.04 logMAR en cada ojo.
- d) Presentar visión binocular y función acomodativa normal (rangos considerados como normales según [Scheiman y Wick \(2008; 2014\)](#) ver apartados [3.2.1.3](#) y [3.2.1.4](#)).

3.1.2. Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión para el estudio fueron los siguientes:

- a) Presencia de enfermedades sistémicas de las que se conozca que pudieran producir alteraciones en el sistema visual y que pudieran afectar a la visión binocular y a la función acomodativa.
- b) Toma de medicamentos que pudieran influir en la visión.
- c) Presencia de patología ocular en alguno de los dos ojos.
- d) Existencia de antecedentes de cirugía refractiva, estrabismo, nistagmo o ambliopía.
- e) Presencia de valores anormales en la visión binocular, así como en su función acomodativa.

3.1.3. Población

Al estudio se presentaron un total de 136 voluntarios de los que 28 fueron excluidos por los siguientes motivos:

- tomar medicamentos que pudieran alterar la visión: una persona
- manifestar sintomatología de astenopia visual: 3 personas
- presentar una refracción mayor a la establecida en los criterios de inclusión: 7 personas
- presentar alguna anomalía de visión binocular o acomodativa: 13 personas
- no acudir a completar todas las pruebas: 4 personas

Finalmente, la investigación se llevó a cabo con 108 participantes, de los cuales 27 (25%) eran hombres y 81 (75%) mujeres, con una edad media de $21,8 \pm 2,7$ años (rango [18 30] años)

3.2. Procedimientos clínicos y material utilizado

3.2.1. Procedimientos clínicos para la selección de las personas incluidas en el estudio

Los participantes fueron citados en los laboratorios de Optometría de la Facultad de Óptica y Optometría de la Universidad Complutense de Madrid para ser sometidos a una batería de pruebas con el fin de analizar diferentes áreas de su función visual. El objetivo de dichas pruebas fue fundamentalmente seleccionar a las personas que cumplieran con todos los criterios de inclusión. El día en que las personas reclutadas

acudían a la cita establecida para la realización de las pruebas visuales se les entregaba, después de leer la hoja informativa (ver Anexo A.2 en la página 125) y firmar el consentimiento informado (ver Anexo A.3 en la página 129), un cuestionario de sintomatología y antecedentes tanto de salud general como de problemas visuales (ver Anexo A.4 en la página 131) que debían rellenar para poder descartar a aquellos que no cumplieran con los requisitos antes de comenzar el examen visual. A continuación, los participantes que no hubieran sido excluidos por los datos proporcionados hasta ese momento eran sometidos a una batería de pruebas optométricas para determinar si cumplían los criterios de inclusión establecidos en el apartado 3.1.1 de la presente memoria. Los resultados obtenidos fueron recogidos en una ficha de registro específica (ver Anexo A.5 en la página 133).

Las medidas optométricas realizadas se detallan a continuación:

3.2.1.1. Refracción objetiva, refracción subjetiva y queratometría

Se utilizó un querato-refractómetro (Topcon KR 7000P) para obtener la queratometría y la refracción objetiva. La refracción subjetiva se realizó buscando el máximo positivo con la mejor agudeza visual (MPMAV) mediante la técnica de refracción partiendo de cero (Antona-Peñalva, 2009) utilizando foróptero manual (Shin-Nippon BR-7).

La refracción obtenida debía estar dentro de los valores establecidos en los criterios de inclusión detallados más arriba y con ella se realizaron el resto de las pruebas.

3.2.1.2. Toma de agudeza visual (AV)

Se tomó la agudeza visual de lejos y de cerca, monocular y binocular, con y sin compensación.

Con esta prueba se comprobó que todos los participantes presentaran una AV de al menos 0.04 logMAR en cada ojo tanto en lejos como en cerca. Para tomar la AV en lejos se utilizó un proyector de optotipos (Shin-Nippon CP-30) enfocado sobre una pantalla situada a 6 m y se usó como optotipo la E de Snellen. Para medir la AV en cerca se utilizó la tarjeta de letras de Sloan situada a 40 cms.

3.2.1.3. Evaluación de la visión binocular

Para determinar la existencia de alteraciones binoculares se preguntó, mediante el cuestionario previo, sobre la existencia de sintomatología específica como: visión doble, movimiento de letras, fotofobia, dolores de cabeza, tensión ocular, entre otros (Scheiman y Wick, 2008; 2014). Aquellas personas que manifestaron padecer dichos síntomas fueron excluidas del estudio.

Además, se realizaron las siguientes pruebas específicas para valorar la visión binocular cuyos resultados debían encontrarse dentro del rango de los considerados normales para poder participar en el estudio:

Forias horizontales: de lejos y de cerca para evaluar el alineamiento ocular. Medida mediante la técnica de von Graefe utilizando el diasporámetro del foróptero manual (Shin-Nippon BR-7) siguiendo el procedimiento descrito por Carlson (Carlson, 1994; 2004).

Los valores considerados normales según el rango de edad de las personas estudiadas (Scheiman y Wick, 2008; 2014) fueron:

Lejos: 1 exo $\pm 2\Delta$

Cerca: 3 exo $\pm 3\Delta$

Vergencias fusionales: de lejos y de cerca para evaluar la fusión motora. Para ello se midieron los rangos de vergencias mediante la evaluación de la amplitud de Vergencia Fusional Positiva (VFP) o convergencia y Negativa (VFN) o divergencia, aplicando el test de vergencias suaves utilizando, como en la medida de las forias, el diasporámetro del foróptero (Antona-Peñalva, 2009).

Los rangos considerados normales (Scheiman y Wick, 2008; 2014) fueron:

VFN (Base Interna, Divergencia):

Lejos:

Rotura: 7 ± 3

Recobro: 4 ± 2

Cerca:

Borrosidad: 13 ± 14

Rotura: 21 ± 4

Recobro: 13 ± 5

VFN (Base Externa, Convergencia):

Lejos:

Borrosidad: 9 ± 4

Rotura: 19 ± 8

Recobro: 10 ± 4

Cerca:

Borrosidad: 17 ± 5

Rotura: 21 ± 6

Recobro: 11 ± 7

En todos los casos, se midió primero la VFN y después la VFP, tanto en lejos como en cerca (Zadnik, 1997).

Teniendo en cuenta la variabilidad de los resultados al medir las vergencias fusionales a una persona (Rouse et al., 1996; Antona-Peñalva and Barra, 2010) se incluyeron en el estudio algunas personas cuyos valores de vergencias fusionales

estuvieron en el entorno de los considerados normales ya expuestos, aunque alguno de ellos estuviera fuera de la norma, pero no muy alejado. Siempre y cuando el sujeto no manifestara sintomatología visual (Scheiman y Wick, 2008; 2014) ni ningún otro valor más fuera de la norma (Carbonell Bonete, 2014).

Estereoagudeza: se utilizó el test de Frisby para evaluar la estereoagudeza de cerca (Clement Clarke, Harlow, UK)¹.

Los rangos considerados normales fueron los indicativos de una fijación bifoveal o central, entre 40 y 50 segundos de arco (Martín and Vecilla, 2010) o menores. Se excluyó a las personas con valor de estereoagudeza superior a 50 segundos de arco.

3.2.1.4. Evaluación de la función acomodativa

Para determinar la existencia de alteraciones en la acomodación se preguntó, mediante el cuestionario previo, sobre la existencia de sintomatología específica asociada a la lectura u otras tareas de cerca de larga duración tales como: fatiga, borrosidad, dolores de cabeza y dificultad al cambiar el enfoque de una distancia a otra (Scheiman and Wick, 2014). Las personas que manifestaron padecer dichos síntomas fueron excluidas del estudio.

Además, se midió la amplitud de acomodación (AA) con la técnica de lente negativa o de Sheard (Borish, 1970) usando el foróptero.

Los valores considerados normales (Scheiman and Wick, 2014) utilizando este método fueron:

$$18 - \frac{1}{3} edad - 2D \quad \pm 2D \quad (3.1)$$

3.2.2. Pruebas de dominancia ocular tradicionales

Para determinar la dominancia ocular se emplearon dos tests; uno de dominancia direccional y otro de dominancia sensorial. Se eligieron los tests de uso más habituales para cada caso en la práctica clínica. (ver apartado 1.5 de la Introducción)

3.2.2.1. Determinación de la dominancia direccional

Dominancia direccional de lejos: se utilizó el test de la tarjeta agujereada donde se pedía al paciente que, sujetando con ambas manos una tarjeta con un agujero en el centro, manteniendo los brazos extendidos delante de su cara y con ambos ojos abiertos, alineara el agujero de la tarjeta con la cara del examinador situado a 6 metros.

¹dirección web: <http://frisbystereotest.co.uk/products/frisby-stereotest-near-assesment>

Dominancia direccional de cerca: se utilizó el test del espejo que consiste en pedir al sujeto que sostenga con ambas manos a 40 centímetros de su cara un espejo pequeño con un círculo marcado de 1 o 2 cm de diámetro y, mientras mantiene los dos ojos abiertos, debe buscar su nariz reflejada dentro del círculo. El ojo con el que sigue viendo la nariz reflejada en el espejo tras realizar una oclusión alternante será el ojo dominante.

3.2.2.2. Determinación de la dominancia sensorial

Se utilizó el test de la lente positiva tanto para lejos como para cerca.

Dominancia sensorial de lejos: Test de la lente positiva de lejos. Se pide al paciente que mire un optotipo a 6 m con ambos ojos abiertos. Se coloca una lente de +1.00 D primero en un ojo y luego en el otro. El paciente debe decidir en cuál de las dos situaciones está visualmente más cómodo. Se considera el ojo dominante al que no tiene la lente delante en ese momento.

Dominancia sensorial de cerca: Test de la lente positiva de cerca. Se repite el mismo procedimiento de la prueba realizada en lejos, pero en distancia próxima (a 40 cm) usando un optotipo para cerca. En este caso consideramos el ojo dominante al que tiene la lente delante en la situación considerada visualmente más cómoda por el sujeto.

3.2.3. Prueba de prevalencia ocular con el nuevo dispositivo

Esa prueba solamente se realizó a aquellas personas que, según los resultados de las pruebas anteriores, pudieran ser incluidas en el estudio.

El dispositivo para la evaluación de la prevalencia en función de la frecuencia espacial y contraste se desarrolló siguiendo un método similar al propuesto por Burke et al (1999), mediante la determinación de la prevalencia sobre dos estímulos presentados dicópticamente consistentes en dos redes sinusoidales de frecuencia y contraste fijado. Al ser dos estímulos de naturaleza rivalizante, el sujeto desarrollará un proceso de prevalencia (Blake et al., 1991; Blake, 2001)) que le hará percibir de forma más persistente una de las dos imágenes.

Para el diseño del test de prevalencia, se ha desarrollado un algoritmo de presentación de estímulos en ordenador programado en el software matemático MATLAB® (32bit R2013b, The Mathworks, Natick, MA) (Asaad and Eskandar, 2008b,a). En el uso de este tipo de sistemas, es fundamental tener en cuenta que las actuales pantallas de presentación de datos son generalmente dispositivos TFT, consistentes en pantallas LCD retroiluminadas por LEDs blancos. Estos dispositivos tienen como mayor problema para su uso en determinaciones psicofísicas la no linealidad de la generación de luminancias, la irregular distribución de la luminancia y la limitación de 256 niveles de luminancia por canal, insuficientes en el caso de estímulos grises. Las dos

primeras limitaciones se resuelven mediante una calibración estricta de la generación de color del monitor, mientras que la última puede ser resuelta mediante técnicas de bit-stealing (ver Anexo B en la página 135).

3.2.3.1. Calibración del monitor

Para las pruebas se utilizó un monitor TFT-LCD retroiluminado por LEDs **acer v173** de 17”.

Para la calibración de luminancias se determinó la luminancia de los fósforos rojo, verde y azul por separado, en un cuadrado de lado 200 píxeles centrado en pantalla. Las medidas se realizaron con un luminancímetro **Konica-Minolta T10M** (error de determinación, $\pm 0.01 \text{ cd/m}^2$), repitiéndose cinco veces para cada nivel. En la figura 3.1 se muestran los resultados de calibración. Como era de esperar, los resultados muestran el típico comportamiento exponencial de la curva luminancia vs. niveles digitales, que permite el ajuste de una función potencial de la forma

$$L = \alpha_0 + \alpha_1 N + \alpha_2 N^2 \quad (3.2)$$

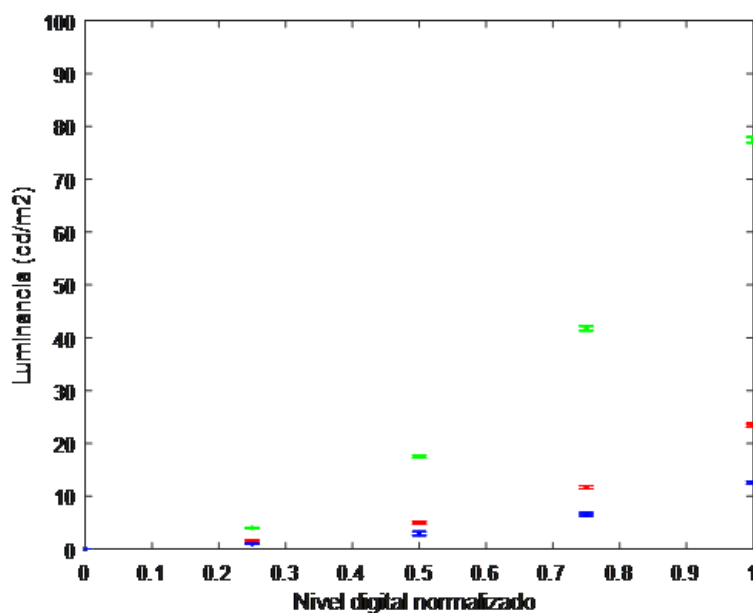


Figura 3.1.: Luminancia de los niveles digitales mostrados en el monitor, LR (rojo), LG (verde) y LB (azul).

Una vez obtenidos estos resultados, se comparó el nivel de luminancia de los mismos estímulos generados en niveles de gris, encendiendo simultáneamente para cada nivel de calibración los tres fósforos R, G, B. En teoría, la luminancia del nivel de gris

(L_W) debería coincidir con la suma de cada uno de los fósforos aislados si existiera una correcta aditividad de las luminancias, es decir:

$$L_W = L_R + L_G + L_B \quad (3.3)$$

En la figura 3.2 se comparan los resultados de nivel de gris experimentales frente a la suma de cada fósforo.

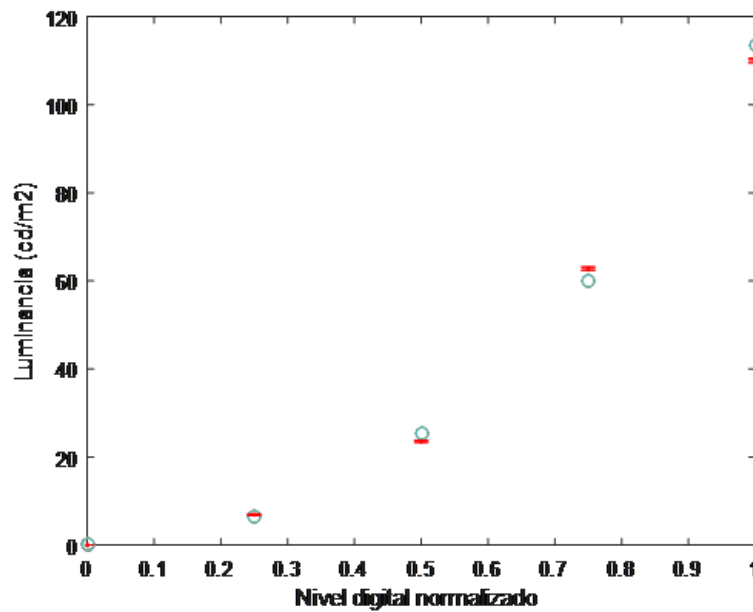


Figura 3.2.: Comparación de la luminancia de los niveles de gris obtenidos por la suma de los valores de los fósforos aislados (*azul*) con la determinación directa mediante luminancímetro (*rojo*).

Las diferencias encontradas no fueron significativas comparando el valor promedio con el esperado mediante el test T de Student ($p < 0,001$), lo que permite asumir la aditividad de las luminancias de los fósforos y generar los niveles a partir de las curvas de ajuste de los fósforos aislados.

En la tabla 3.1 se muestran los valores de α_0 , α_1 , α_2 del ajuste de la ecuación 3.2 obtenidos con los datos experimentales.

Tabla 3.1: Valores de α .

| | α_0 | α_1 | α_2 |
|----|------------|------------|------------|
| LR | 27.109 | -4.261 | 0.297 |
| LG | 84.617 | -7.529 | 0.193 |
| LB | 13.371 | -1.051 | 0.141 |

Con estos valores se obtiene una función de calibrado de los niveles de gris de la forma:

$$L_W = 125,097 - 12,84 N + 0,631 N^2 \quad (3.4)$$

que se utilizará para la generación de niveles mediante bit stealing junto con las anteriores expresiones, según se detalla en anexo, aumentando la profundidad de gris de 2^8 niveles a $2^{10,6}$ niveles, es decir 1536 niveles.

3.2.3.2. Regularidad espacial de la luminancia

Dado que es bien conocida la irregularidad espacial de la luminancia de los monitores (Viqueira et al., 1999), especialmente en los LCD con retroiluminación LED, procedimos a calcular la estabilidad de la luminancia a lo largo de la superficie. Para ello, se tomó una rejilla de calibración espacial de 5 x 5 puntos equiespaciados sobre la superficie del monitor, de 43.69 x 32.77 cm, mostrando un nivel único de luminancia 60 cd/m^2 a lo largo de toda la superficie del monitor. Se determinó la luminancia mediante el luminancímetro Konica Minolta TM10, repitiendo cinco veces cada medida. En la figura 3.3 se muestran las desviaciones desde el valor central de 60 cd/m^2 .

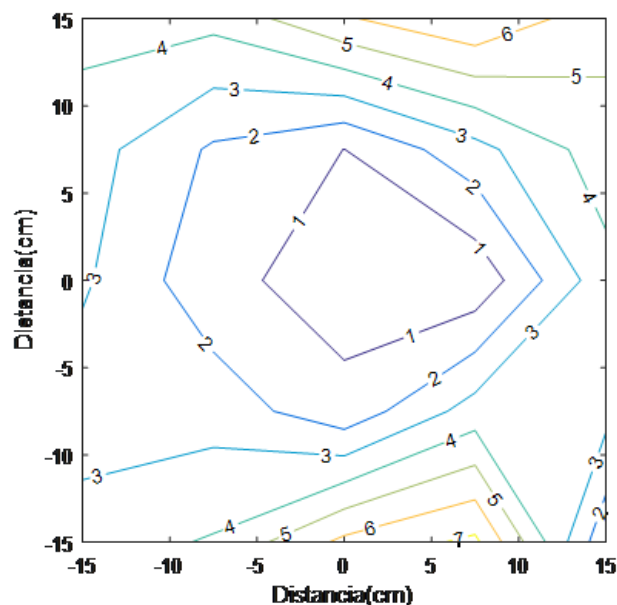


Figura 3.3.: Estabilidad de la luminancia del monitor. Los valores de desviación del diagrama de contornos se expresan en unidades de cd/m^2 . A la vista de los resultados, se puede considerar que la luminancia del monitor es estable en la zona central $\pm 7.5 \text{ cm}$.

3.2.3.3. Generación del test de medida

Para generar los estímulos, se generó en primer lugar una senoide en luminancias, mediante la expresión:

$$L_x = L_0 + C \text{sen}(f \cdot x) \quad (3.5)$$

Siendo L_0 la luminancia media (de $64 \pm 0.21 \text{ cd/m}^2$), f la frecuencia y x la posición en píxeles. Para evitar el *aliasing* por submuestreo, o efecto moiré, las frecuencias espaciales elegidas son aquellas que pueden ser presentadas mediante un muestreo de píxeles en pantalla de la forma $2n$, limitando las frecuencias a presentar, que dada la distancia de presentación de 40 cm fueron de 3.3, 6.6, 9.9 y 13.2 cpg. Los contrastes utilizados se calcularon en función de la curva de calibración de *bitstealing* a partir del entero más próximo de niveles digitales, mediante la expresión de Michelson

$$C = \frac{(L_M - L_m)}{(L_M + L_m)} \quad (3.6)$$

donde L_M y L_m son las luminancias máximas y mínima de la red sinusoidal. Atendiendo a esta expresión, los contrastes de Michelson mostrados fueron de 0.18, 0.32, 0.56 y 1.

Para representar correctamente el estímulo mediante la técnica de *bitstealing*, se generó un *look-up-table* (LUT) de valores digitales para cada valor de luminancia de calibración (1536 niveles). Una vez generada la red sinusoidal, se generó una matriz S_{ij} de 512 x 512 píxeles, donde se calculó en luminancias una red sinusoidal horizontal o vertical, según el estímulo a mostrar. Se multiplicó por la máscara circular gaussiana, M_{ij} , para obtener el estímulo a representar, T_{ij} , en cd/m^2 . Una vez obtenido, a través de la LUT, se obtuvieron tres matrices para los valores digitales n_R , n_G y n_B que obtenían cada valor de luminancia T_{ij} , que se utilizaron para la representación del estímulo.

3.2.3.4. Presentación de los estímulos

Para la determinación de la dominancia, se presentarán dos estímulos que serán observados en visión dicóptica (Figura 3.4).

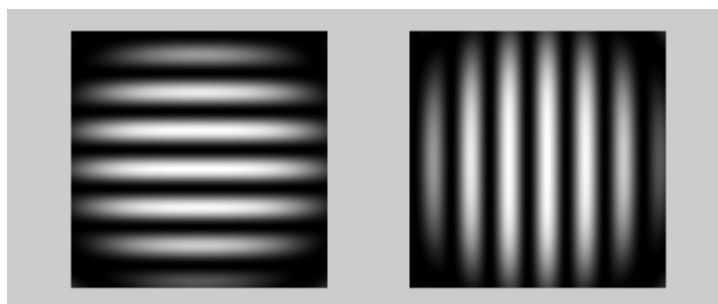


Figura 3.4.: Pareja de estímulos según se presentan al participante.

Los estímulos consisten en dos cuadrados de 43.3 ± 0.1 mm de lado (correspondientes a 512 píxeles), presentados en resolución de 1440 x 1080 píxeles. En cada cuadrado se presenta una red sinusoidal, multiplicada por una máscara gaussiana circular (3.5).

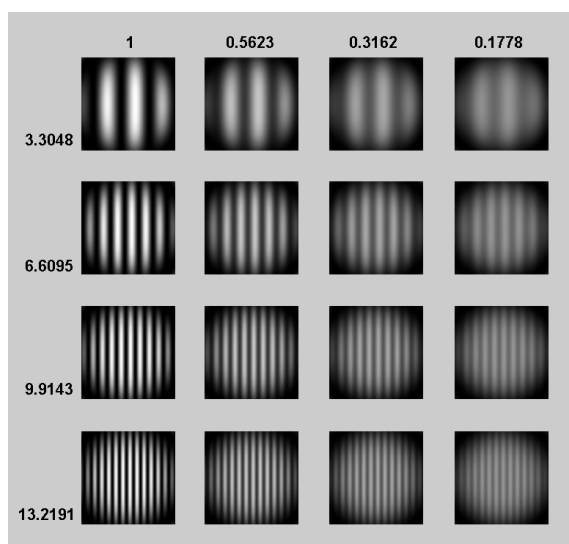


Figura 3.5.: Estímulos presentados a los participantes.

Para favorecer la fusión dicóptica, los estímulos se presentan a la distancia interpupilar del observador y se coloca un panel divisor entre los ojos y la pantalla.

El observador portará una gafa de prueba con la compensación resultante de la refracción subjetiva, si fuera necesario, obtenida según el método descrito (ver 3.2.1) y siempre dentro de los rangos exigidos en los criterios de inclusión.

Las redes se presentaban dicópticamente durante 500 ms, variando la frecuencia y el contraste de forma aleatoria. Cada par de frecuencia y contraste se presentó 20 veces, siendo la tarea del observador indicar cuál era la dirección de la red que veía fusionada, si la de orientación vertical y horizontal pulsando una tecla definida al efecto para cada presentación. La elección se considera forzosa. Tras la presentación, se determinó para cada par de frecuencia contraste (C, f) la prevalencia de respuesta de OD u OI, determinando la probabilidad de detección como:

$$\begin{aligned} P_{OD} &= n_{OD}/20 \\ P_{OI} &= n_{OI}/20 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Donde n es el número de detecciones del estímulo por el ojo considerado y, por definición,

$$P_{OD} + P_{OI} = 1 \quad (3.8)$$

El cálculo de la prevalencia se llevó a cabo a partir de la matriz de probabilidad de detección de cada ojo, $P_{OI}(C, f)$ y $P_{OD}(C, f)$. Una vez obtenidos los datos, el valor de prevalencia se calculó como:

$$\begin{aligned} Pr_{OI} &= \frac{\sum_f \sum_C P_{OI}(C, f)}{N^2} \\ Pr_{OD} &= \frac{\sum_f \sum_C P_{OD}(C, f)}{N^2} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Para el cálculo de la zona de altas frecuencias y altos contrastes y bajas frecuencias y bajos contrastes se definió una matriz triangular a partir de la bisectriz del cuadrante normalizado C, f , que se utilizaría como máscara de selección. Esta matriz se define de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} HFHC &: \begin{cases} 1 \text{ si } C + f > 1 \\ 0 \text{ si } C + f < 1 \end{cases} \\ LFCL &: \begin{cases} 1 \text{ si } C + f < 1 \\ 0 \text{ si } C + f > 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Multiplicando las matrices de resultados $P_{OI}(C, f)$ y $P_{OD}(C, f)$ por estas máscaras, obtenemos unas nuevas matrices $P_{OIHfHC}(C, f)$, $P_{OILfCL}(C, f)$, $P_{ODHfHC}(C, f)$ y $P_{ODLfCL}(C, f)$.

3.3. Dispositivo para la realización de las pruebas

El dispositivo diseñado para llevar a cabo el experimento consta de:

- CPU con el software MATLAB®.
- Monitor principal TFT-LCD acer v173 de 17" para presentación de las imágenes (estímulos).
- Pantalla accesoria para control del software.
- Mentonera para inmovilización de la cabeza del sujeto participante.
- Separador para conseguir visión biocular independiente.

A continuación, se muestran imágenes del montaje del dispositivo para la realización de las pruebas (Figuras 3.6 a 3.10):



Figura 3.6.: Vista de mentonera, separador, PC, pantalla con las imágenes (estímulos) y monitor accesorio de control.



Figura 3.7.: Vista de los puestos del participante y del examinador.

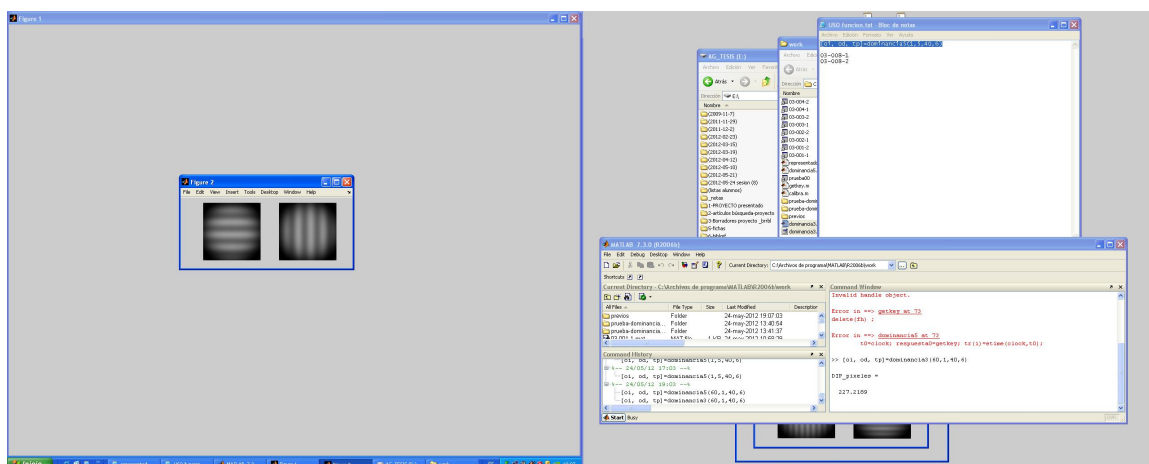


Figura 3.8.: Interfaz completo del dispositivo incluyendo los estímulos presentados al participante y las ventanas de datos y control del experimento.

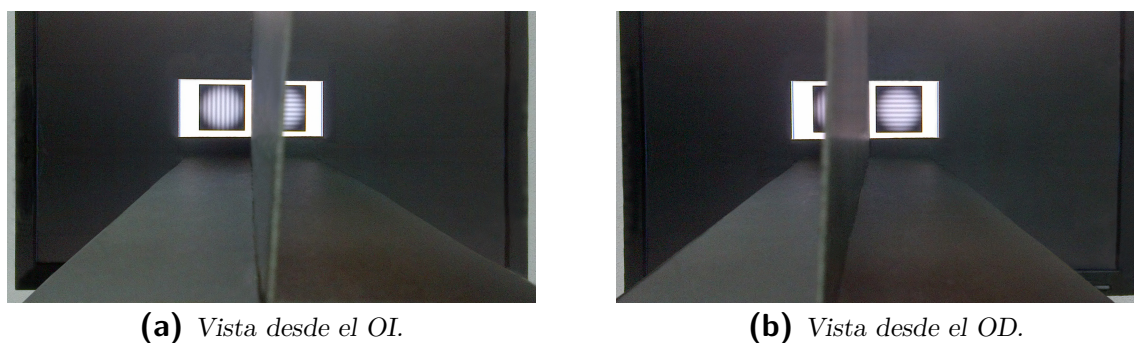


Figura 3.9.: Vista del separador desde la perspectiva del paciente para cada ojo.

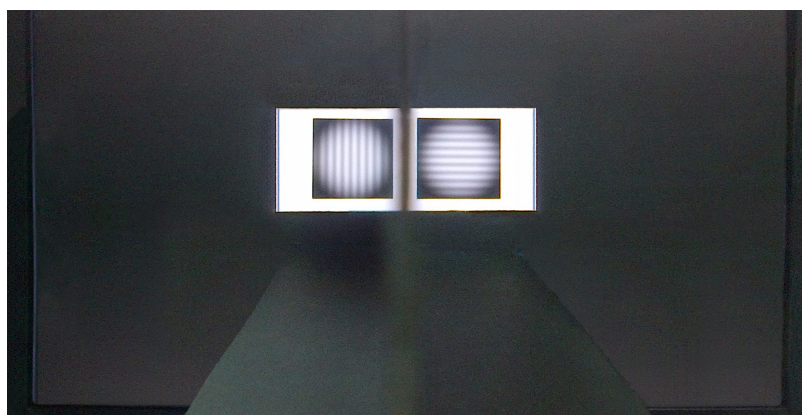


Figura 3.10.: Vista de las imágenes (estímulos) desde la perspectiva del paciente.

3.4. Tratamiento estadístico de los datos

Los datos obtenidos en cada uno de los exámenes visuales realizados a los sujetos participantes fueron anotados en la ficha de registro de resultados (ver Anexo [A.5 en la página 133](#)).

Se trasladaron los datos de todas las fichas a una tabla (*Excel* 2003, Microsoft®) para su posterior tratamiento estadístico.

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el programa *IBM SPSS* versión 2.2 (IBM Armonk, NY:IBM Corp).

Para la comparación de variables cuantitativas se utilizó la *T de Student* para muestras pareadas. La concordancia entre los resultados encontrados con las diferentes formas de medir la dominancia así como la comparativa cerca versus lejos se analizó mediante el *test Kappa* y el *test de simetría McNemar*. Para determinar cuál era el ojo con más prevalencia en cada sujeto para una variable determinada

se utilizó el *test binomial* ($p = 0,5$) y se consideró la significancia estadística para un $p < 0,05$.

Para analizar las coincidencias de las dominancias sensorial y direccional con el nuevo método de determinación de la prevalencia ocular se usó el test **ANOVA** y el *Cochran Q-test* y se consideró la significancia estadística para un $p < 0,005$.

3.5. Resultados optométricos de la población estudiada

Los valores de equivalente esférico encontrados tras la refracción subjetiva para la población estudiada fueron de $0,22 \pm 0,49$ D (rango [+1,00 1,00] D).

La agudeza visual decimal equivalente de Snellen (AV) alcanzada con el valor de la refracción subjetiva, así como los valores correspondientes a las vergencias fusionales, acomodación, foria horizontal y estereopsis se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Relación de resultados optométricos hallados en la población estudiada.

Abreviaturas usadas: *n*: número de sujetos, *DE*: desviación estándar, *D*: dioptrías, *BI*: base interna, Δ : dioptrías prismáticas, *BE*: base externa.

| Capacidad visual con subjetivo | | n | promedio \pm DE | rango | |
|--------------------------------|-------|------------|----------------------------|------------------|---------|
| Agudeza visual monocular | | 216 | $1,46 \pm 0,09$ | 1,16 - 1,50 | |
| Amplitud de acomodación (D) | | 216 | $9,88 \pm 1,16$ | 7,25 - 13,75 | |
| VFN (BI) (Δ) | lejos | borrosidad | 14 | $9,14 \pm 4,38$ | 2 - 18 |
| | | rotura | 108 | $11,07 \pm 2,91$ | 5 - 20 |
| | | recobro | 108 | $6,14 \pm 1,92$ | 2 - 10 |
| | cerca | borrosidad | 50 | $12,68 \pm 5,32$ | 4 - 30 |
| | | rotura | 108 | $18,45 \pm 4,74$ | 8 - 32 |
| | | recobro | 108 | $10,11 \pm 3,90$ | 2 - 20 |
| VFP (BE) (Δ) | lejos | borrosidad | 69 | $12,51 \pm 5,41$ | 4 - 30 |
| | | rotura | 108 | $20,56 \pm 8,13$ | 6 - 40 |
| | | recobro | 108 | $9,76 \pm 5,79$ | 3 - 33 |
| | cerca | borrosidad | 42 | $19,76 \pm 8,25$ | 6 - 36 |
| | | rotura | 108 | $28,06 \pm 7,54$ | 12 - 40 |
| | | recobro | 108 | $18,64 \pm 8,69$ | 4 - 40 |
| Foria horizontal (Δ) | lejos | 108 | $1,21 \text{ XF} \pm 1,28$ | 0 - 5 XF | |
| | cerca | 108 | $3,06 \text{ XF} \pm 2,27$ | 0 - 8 XF | |
| Estereopsis (segundos de arco) | | 108 | $22,13 \pm 5,97$ | 20 - 40 | |

En la tabla puede apreciarse que los valores promedio correspondientes a cada una de las magnitudes estudiadas se encuentran dentro de la norma establecida para cada una de ellas. Sin embargo, al examinar los rangos correspondientes, se observa que algunas personas presentan valores fuera de los considerados como normales. En estos casos, se decidió que si se trataba de ligeras variaciones, no había ningún otro valor fuera de la norma ([Carbonell Bonete, 2014](#)), y no existían síntomas visuales ([Scheiman and Wick, 2008, 2014](#)), se admitieran en el estudio.

4. RESULTADOS

4 RESULTADOS

4.1. Dominancia ocular determinada mediante los métodos tradicionales

4.1.1. Dominancia direccional de lejos y de cerca

La tabla [4.1 en la página siguiente](#) muestra las respuestas obtenidas en los 108 participantes en las pruebas de determinación de la dominancia direccional de lejos y de cerca.

Tabla 4.1: Resultados de dominancia ocular direccional para lejos y para cerca de los 108 sujetos.

| SUJETO | DOMINANCIA DIRECCIONAL | |
|--------|------------------------|----|
| | VL | VP |
| 001 | D | I |
| 002 | I | I |
| 003 | I | I |
| 004 | D | D |
| 005 | I | D |
| 006 | I | I |
| 007 | I | I |
| 008 | D | D |
| 009 | D | D |
| 010 | I | I |
| 011 | D | I |
| 012 | D | D |
| 013 | D | D |
| 014 | D | D |
| 015 | D | D |
| 016 | D | D |
| 017 | D | D |
| 018 | D | D |
| 019 | D | D |
| 020 | D | D |
| 021 | D | D |
| 022 | I | I |
| 023 | D | D |
| 024 | D | I |
| 025 | D | D |
| 026 | I | I |
| 027 | D | D |
| 028 | D | I |
| 029 | D | D |
| 030 | D | D |
| 031 | D | D |
| 032 | D | D |
| 033 | D | D |
| 034 | D | D |
| 035 | I | I |
| 036 | D | D |
| 037 | I | I |
| 038 | D | D |
| 039 | D | D |
| 040 | I | I |
| 041 | D | D |
| 042 | D | D |
| 043 | D | D |
| 044 | D | D |
| 045 | I | I |
| 046 | D | D |
| 047 | D | D |
| 048 | D | D |
| 049 | I | I |
| 050 | D | D |
| 051 | I | D |
| 052 | D | I |
| 053 | I | D |
| 054 | D | D |

| SUJETO | DOMINANCIA DIRECCIONAL | |
|--------|------------------------|----|
| | VL | VP |
| 055 | D | D |
| 056 | D | D |
| 057 | D | D |
| 058 | I | D |
| 059 | I | I |
| 060 | D | D |
| 061 | D | D |
| 062 | D | I |
| 063 | D | D |
| 064 | D | I |
| 065 | I | I |
| 066 | D | D |
| 067 | D | D |
| 068 | D | D |
| 069 | D | D |
| 070 | D | D |
| 071 | D | D |
| 072 | D | D |
| 073 | I | I |
| 074 | D | D |
| 075 | D | D |
| 076 | D | D |
| 077 | D | D |
| 078 | D | D |
| 079 | I | D |
| 080 | D | D |
| 081 | D | D |
| 082 | D | D |
| 083 | I | D |
| 084 | D | D |
| 085 | I | D |
| 086 | D | D |
| 087 | D | D |
| 088 | D | D |
| 089 | D | I |
| 090 | D | D |
| 091 | D | D |
| 092 | D | D |
| 093 | I | D |
| 094 | D | D |
| 095 | D | D |
| 096 | D | D |
| 097 | D | D |
| 098 | I | D |
| 099 | I | I |
| 100 | I | I |
| 101 | D | D |
| 102 | D | D |
| 103 | D | D |
| 104 | D | D |
| 105 | D | D |
| 106 | I | I |
| 107 | I | I |
| 108 | D | D |

El análisis de estos datos indica que aproximadamente un 75 % de los participantes presenta dominancia direccional del OD, tanto de lejos como de cerca, estadísticamente significativa ($p = 0,000$). Este análisis se muestra en la tabla 4.2.

En el grupo estudiado es mucho más frecuente que se tenga OD dominante direccional tanto de lejos como de cerca.

Tabla 4.2: Análisis de resultados de dominancia direccional de lejos y de cerca.

| Pruebas NPar | | | | | | | |
|---------------------------|---------|-----------|-----|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Prueba binomial | | | | | | | |
| | | Categoría | N | Prop. observada | Prop. de prueba | Significación exacta (bilateral) | Significación exacta (bilateral) |
| Dominancia Direccional_VL | Grupo 1 | I | 28 | ,26 | ,50 | ,000 | ,000 |
| | Grupo 2 | D | 80 | ,74 | | | |
| | Total | | 108 | 1,00 | | | |
| Dominancia Direccional_VP | Grupo 1 | I | 27 | ,25 | ,50 | ,000 | ,000 |
| | Grupo 2 | D | 81 | ,75 | | | |
| | Total | | 108 | 1,00 | | | |

La tabla cruzada 4.3 en la página siguiente muestra la concordancia entre la dominancia direccional de lejos y la de cerca. Para estudiar estos datos utilizaremos el índice Kappa (Cohen, 1960) que analiza la concordancia observada en un conjunto de datos categóricos más allá de la que podría darse por azar¹.

Además, con la prueba de McNemar, que contrasta los cambios en las respuestas utilizando la distribución de *chi – cuadrado*, se compara el cambio entre las dos medidas de la variable dicotómica para determinar que la diferencia no se deba al azar (que sea estadísticamente significativa).

En esta tabla cruzada 4.3 se obtiene un valor muy alto de concordancia entre la dominancia direccional de lejos y cerca de los sujetos (66,7 % de coincidencias para el OD y 17,6 % de coincidencias para el OI (un 84,3 % de concordancia)) como indica el valor de $Kappa = 0,585$ y esa concordancia es estadísticamente significativa ($p = 0,000$).

Además, en la prueba de simetría McNemar se obtiene un $p = 1,000$, lo que indica que las discordancias no son estadísticamente significativas.

Por lo tanto, en el grupo estudiado se obtiene mayor proporción de OD dominante direccional tanto de lejos como de cerca.

¹este valor está entre 0 y 1 y cuanto más alto sea indica más concordancia.

Tabla 4.3: Análisis de la concordancia entre dominancia direccional de lejos y dominancia direccional de cerca.

| Dominancia Direccional_VL * Dominancia Direccional_VP | | | | | |
|--|-------|--------------------------------|---------------------------|-------------|--------|
| Tabla cruzada | | | | | |
| | | | Dominancia Direccional_VP | | Total |
| | | | D | I | |
| Dominancia Direccional_VL | D | Recuento | 72 | 8 | 80 |
| | | % del total | 66,7% | 7,4% | 74,1% |
| | I | Recuento | 9 | 19 | 28 |
| | | % del total | 8,3% | 17,6% | 25,9% |
| Total | | Recuento | 81 | 27 | 108 |
| | | % del total | 75,0% | 25,0% | 100,0% |
| Pruebas de chi-cuadrado | | | | | |
| | Valor | Significación exacta (2 caras) | | | |
| Prueba de McNemar | | 1,000 | | | |
| N de casos válidos | 108 | | | | |
| Medidas simétricas | | | | | |
| | Valor | Error estándar asintótico | Aprox. S | Aprox. Sig. | |
| Medida de acuerdo | Kappa | ,585 | ,090 | 6,085 | ,000 |
| N de casos válidos | 108 | | | | |

4.1.2. Dominancia sensorial de lejos y de cerca

La tabla 4.4 muestra los resultados obtenidos en los 108 participantes en las pruebas de determinación de la dominancia sensorial de lejos y de cerca.

Tabla 4.4: Resultados de dominancia ocular sensorial para lejos y para cerca de los 108 sujetos.

| SUJETO | DOMINANCIA SENSORIAL | | SUJETO | DOMINANCIA SENSORIAL | |
|--------|----------------------|----|--------|----------------------|----|
| | VL | VP | | VL | VP |
| 001 | D | I | 055 | I | I |
| 002 | I | I | 056 | I | I |
| 003 | D | D | 057 | D | I |
| 004 | I | D | 058 | D | I |
| 005 | D | D | 059 | D | D |
| 006 | I | I | 060 | I | I |
| 007 | I | D | 061 | D | D |
| 008 | I | D | 062 | D | I |
| 009 | D | D | 063 | I | I |
| 010 | D | D | 064 | D | D |
| 011 | I | D | 065 | I | I |
| 012 | I | D | 066 | I | I |
| 013 | I | D | 067 | D | D |
| 014 | D | D | 068 | I | I |
| 015 | I | D | 069 | I | I |
| 016 | D | D | 070 | D | I |
| 017 | D | D | 071 | D | D |
| 018 | D | D | 072 | D | I |
| 019 | I | D | 073 | I | D |
| 020 | D | D | 074 | D | I |
| 021 | D | D | 075 | D | I |
| 022 | I | I | 076 | I | I |
| 023 | D | D | 077 | D | D |
| 024 | I | I | 078 | I | I |
| 025 | I | D | 079 | D | I |
| 026 | I | I | 080 | I | I |
| 027 | D | D | 081 | D | I |
| 028 | D | I | 082 | D | D |
| 029 | I | I | 083 | I | I |
| 030 | D | D | 084 | I | I |
| 031 | D | D | 085 | I | I |
| 032 | I | I | 086 | D | I |
| 033 | D | I | 087 | D | I |
| 034 | I | I | 088 | I | D |
| 035 | D | I | 089 | D | D |
| 036 | I | I | 090 | D | I |
| 037 | I | D | 091 | D | D |
| 038 | I | I | 092 | D | I |
| 039 | D | I | 093 | I | I |
| 040 | D | I | 094 | D | I |
| 041 | I | I | 095 | D | I |
| 042 | D | I | 096 | D | D |
| 043 | D | D | 097 | I | I |
| 044 | D | D | 098 | I | D |
| 045 | I | I | 099 | I | D |
| 046 | I | I | 100 | D | D |
| 047 | D | D | 101 | D | D |
| 048 | D | I | 102 | I | I |
| 049 | D | D | 103 | I | I |
| 050 | D | I | 104 | I | I |
| 051 | D | D | 105 | D | I |
| 052 | D | D | 106 | D | I |
| 053 | I | I | 107 | I | I |
| 054 | I | I | 108 | I | D |

La tabla 4.5, muestra el análisis de estos datos que indican que no existe una dominancia clara de un ojo (aproximadamente el 50 % para cada ojo tanto de lejos como de cerca). La diferencia no es estadísticamente significativa ($p = 0,501$ para lejos y $p = 0,211$ para cerca).

Tabla 4.5: *Análisis de resultados de dominancia sensorial de lejos y de cerca.*

| Pruebas NPar | | | | | | | |
|-------------------------|---------|-----------|-----|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Prueba binomial | | | | | | | |
| | | Categoría | N | Prop. observada | Prop. de prueba | Significación exacta (bilateral) | Significación exacta (bilateral) |
| Dominancia Sensorial_VL | Grupo 1 | D | 58 | ,54 | ,50 | ,501 | ,501 |
| | Grupo 2 | I | 50 | ,46 | | | |
| | Total | | 108 | 1,00 | | | |
| Dominancia Sensorial_VP | Grupo 1 | I | 61 | ,56 | ,50 | ,211 | ,211 |
| | Grupo 2 | D | 47 | ,44 | | | |
| | Total | | 108 | 1,00 | | | |

El grupo estudiado no tiene un ojo dominante sensorial mayoritariamente.

Analizando las coincidencias entre lejos y cerca en la tabla cruzada 4.6 vemos una concordancia del 29,6 % para el OD y del 32,4 % para el OI (un 62 % de concordancia). El valor de $Kappa = 0,248$ indica un cierto grado de concordancia estadísticamente significativa ($p = 0,009$) pero no muy alta. Además, la prueba de simetría de McNemar, con un $p = 0,117$, indica que las discordancias no son estadísticamente significativas (aunque no tanto como en el caso de la dominancia direccional).

Tabla 4.6: Análisis de la concordancia entre dominancia sensorial de lejos y dominancia sensorial de cerca.

| Dominancia Sensorial_VL * Dominancia Sensorial_VP | | | | | |
|--|-------|-------------|--------------------------------|----------|-------------|
| Tabla cruzada | | | | | |
| | | | Dominancia Sensorial_VP | | Total |
| | | | D | I | |
| Dominancia Sensorial_VL | D | Recuento | 32 | 26 | 58 |
| | | % del total | 29,6% | 24,1% | 53,7% |
| | I | Recuento | 15 | 35 | 50 |
| | | % del total | 13,9% | 32,4% | 46,3% |
| Total | | Recuento | 47 | 61 | 108 |
| | | % del total | 43,5% | 56,5% | 100,0% |
| Pruebas de chi-cuadrado | | | | | |
| | | Valor | Significación exacta (2 caras) | | |
| Prueba de McNemar | | | ,117 | | |
| N de casos válidos | | 108 | | | |
| Medidas simétricas | | | | | |
| | | Valor | Error estándar asintótico | Aprox. S | Aprox. Sig. |
| MEdida de acuerdo | Kappa | ,248 | ,091 | 2,631 | ,009 |
| N de casos válidos | | 108 | | | |

Los resultados de la dominancia sensorial de lejos y cerca concuerdan.

Aunque esta concordancia no es muy alta, sí es estadísticamente significativa.

4.1.3. Correlación entre ambos métodos

Analizando las coincidencias entre los resultados de dominancia direccional y sensorial de lejos en la tabla cruzada 4.7 se obtiene una concordancia del 42,6% para el OD y del 14,8% para el OI (un 57,4% de concordancia). El valor de $Kappa = 0,117$ indica una concordancia muy baja. Además, fijándonos en las discordancias, los porcentajes en ambas direcciones son significativamente distintos (31,5% y 11,1%). Esto se traduce en el resultado de la prueba de simetría de McNemar que compara esos dos porcentajes y da un $p = 0,002$ estadísticamente significativo (menor de 0,01), lo que indica que no hay simetría.

Tabla 4.7: Análisis de la concordancia entre dominancia sensorial de lejos y dominancia direccional de lejos.

| Dominancia Sensorial_VL * Dominancia Direccional_VL | | | | | |
|---|-------|--------------------------------|---------------------------|-------------|--------|
| Tabla cruzada | | | | | |
| | | | Dominancia Direccional_VL | | Total |
| | | | D | I | |
| Dominancia Sensorial_VL | D | Recuento | 46 | 12 | 58 |
| | | % del total | 42,6% | 11,1% | 53,7% |
| | I | Recuento | 34 | 16 | 50 |
| | | % del total | 31,5% | 14,8% | 46,3% |
| Total | | Recuento | 80 | 28 | 108 |
| | | % del total | 74,1% | 25,9% | 100,0% |
| Pruebas de chi-cuadrado | | | | | |
| | Valor | Significación exacta (2 caras) | | | |
| Prueba de McNemar | | ,002 | | | |
| N de casos válidos | 108 | | | | |
| Medidas simétricas | | | | | |
| | Valor | Error estándar asintótico | Aprox. S | Aprox. Sig. | |
| Medida de acuerdo | Kappa | ,117 | ,087 | 1,337 | ,181 |
| N de casos válidos | 108 | | | | |

Los resultados indican que no hay coincidencia entre la dominancia direccional y sensorial de lejos.

En el caso de cerca (tabla 4.8), las columnas concordantes (31,5 % más 13 %), suman 44,4% con un valor $Kappa = -0,043$ (muy cercano a 0, incluso negativo) lo que indica que no hay ninguna concordancia. Además, en las discordancias, el porcentaje de dominancia sensorial de cerca del OI (43,5%) es significativamente mayor que el porcentaje de dominancia direccional de cerca del OD (12%). Eso se traduce en el resultado de la prueba de simetría de McNemar (prueba de *chi – cuadrado*) que compara esos dos porcentajes y que da un valor de 0,00, estadísticamente significativo (menor de 0,01), lo que indica que no hay simetría.

Tabla 4.8: Análisis de la concordancia entre dominancia sensorial de cerca y dominancia direccional de cerca.

| Dominancia Sensorial_VP * Dominancia Direccional_VP | | | | | |
|--|-------|--------------------------------|---------------------------|-------------|--------|
| Tabla cruzada | | | | | |
| | | | Dominancia Direccional_VP | | Total |
| | | | D | I | |
| Dominancia Sensorial_VP | D | Recuento | 34 | 13 | 47 |
| | | % del total | 31,5% | 12,0% | 43,5% |
| | I | Recuento | 47 | 14 | 61 |
| | | % del total | 43,5% | 13,0% | 56,5% |
| Total | | Recuento | 81 | 27 | 108 |
| | | % del total | 75,0% | 25,0% | 100,0% |
| Pruebas de chi-cuadrado | | | | | |
| | Valor | Significación exacta (2 caras) | | | |
| Prueba de McNemar | | ,000 | | | |
| N de casos válidos | 108 | | | | |
| Medidas simétricas | | | | | |
| | Valor | Error estándar asintótico | Aprox. S | Aprox. Sig. | |
| MEdida de acuerdo | Kappa | -,043 | ,078 | -,560 | ,575 |
| N de casos válidos | 108 | | | | |

Los resultados indican que no hay coincidencia entre la dominancia direccional y sensorial de cerca.

Estos resultados coinciden con los encontrados en la bibliografía (Kommerell et al., 2003; Malott et al., 1996), especialmente con la amplia revisión de Seijas et al, (2007).

4.2. Resultados de prevalencia ocular utilizando el nuevo método propuesto

A continuación, se presentan los resultados de prevalencia ocular para los 108 participantes obtenidos mediante el nuevo sistema. Esta prevalencia se calcula como la probabilidad de respuesta de cada ojo ante el test dicóptico presentado. Para cada persona se obtienen dos imágenes que muestran el mapa de prevalencia ocular en función de la frecuencia (cpg) y el contraste para el ojo derecho e izquierdo respectivamente como se muestra en la Figura 4.1. En estos mapas la prevalencia ocular se puede ver de forma sencilla pues está gradada mediante una escala de color en la que los colores fríos (azul) representan la prevalencia menor y los colores cálidos (amarillo) la prevalencia mayor de ese ojo para la frecuencia y contraste representados en ese punto de la gráfica. Los valores de prevalencia entre los que fluctúa cada ojo se indican en la escala de color que aparece a la derecha de cada mapa.

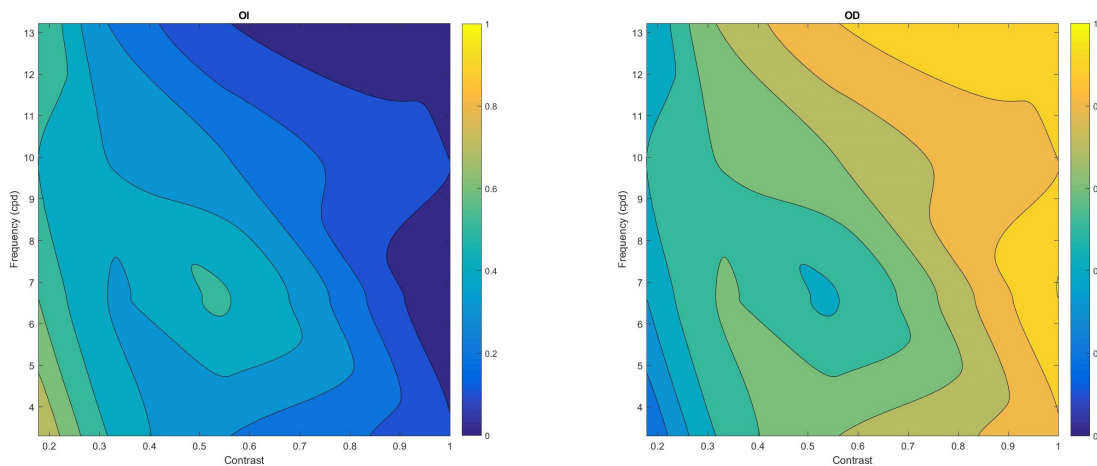
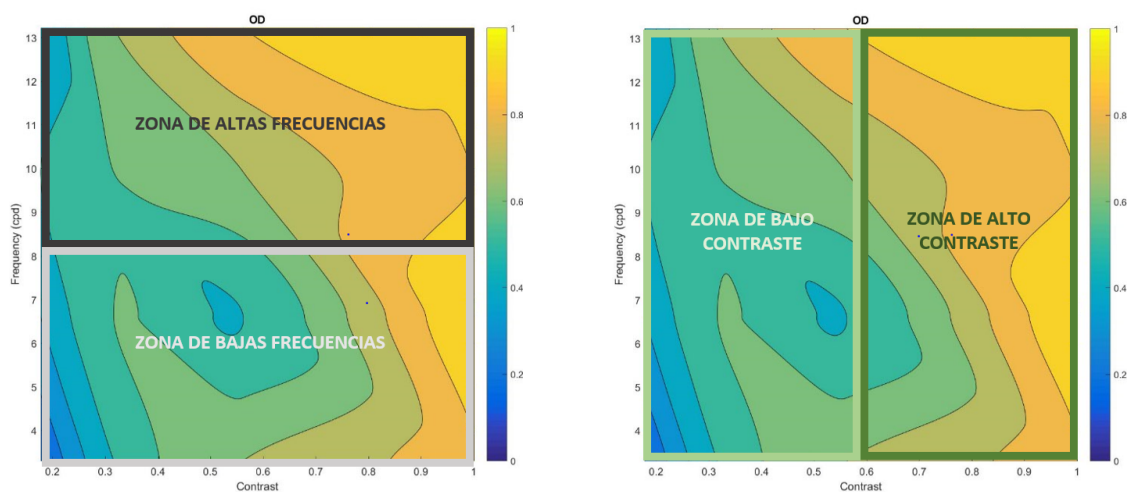
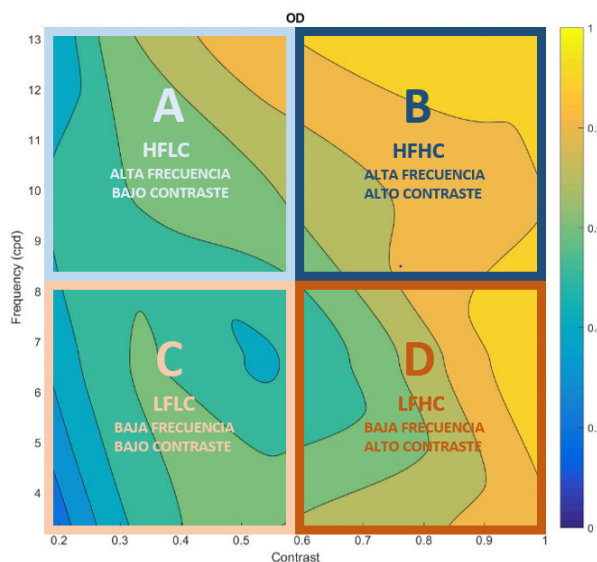


Figura 4.1.: Mapa de prevalencia ocular en función de la frecuencia y el contraste para el ojo derecho e izquierdo respectivamente.

Para interpretar cada mapa de prevalencia más fácilmente podemos dividirlos en zonas. La mitad superior corresponde a las imágenes de alta frecuencia y la parte inferior a las imágenes de baja frecuencia (ver Figura 4.2a). La mitad derecha a imágenes de alto contraste y la mitad izquierda a bajo contraste (ver Figura 4.2b). Así, podemos dividir cada mapa en cuatro cuadrantes, cada uno de ellos con su significado: en el cuadrante A están representados los valores de prevalencia ocular obtenidos con imágenes de alta frecuencia y bajo contraste, en el cuadrante B están representados los valores de prevalencia ocular obtenidos con imágenes de alta frecuencia y alto contraste, en el cuadrante C están representados los valores de prevalencia ocular obtenidos con imágenes de baja frecuencia y bajo contraste y en el cuadrante D están representados los valores de prevalencia ocular obtenidos con imágenes de baja frecuencia y alto contraste (ver Figura 4.2c).



(a) Zonas de alta frecuencia y baja frecuencia. (b) Zonas de bajo contraste y alto contraste.



(c) Mapa de prevalencia ocular dividido en cuatro cuadrantes: **A** alta frecuencia y bajo contraste; **B** alta frecuencia y alto contraste; **C** baja frecuencia y bajo contraste; **D** baja frecuencia y alto contraste.

Figura 4.2.: Interpretación del mapa de prevalencia ocular dividiéndolo en zonas.

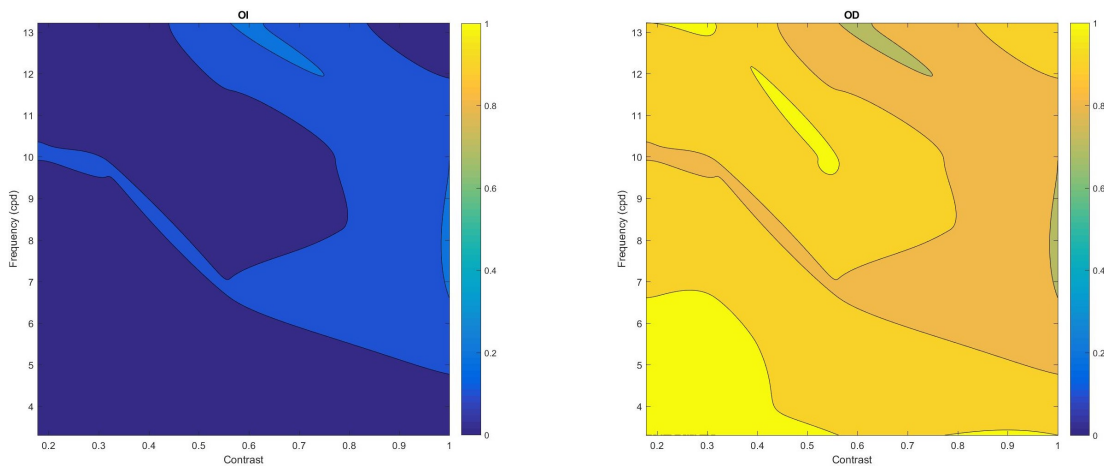
Por lo tanto, cuando analicemos cada caso nos fijaremos en los valores de prevalencia en cada cuadrante del mapa de cada ojo.

En la vida diaria, las tareas que hacemos en las que los contrastes y las frecuencias son altos, son las tareas de mayor precisión, como la lectura, que hacemos habitualmente de cerca. Las que presentan frecuencias y contrastes bajos corresponden a las tareas

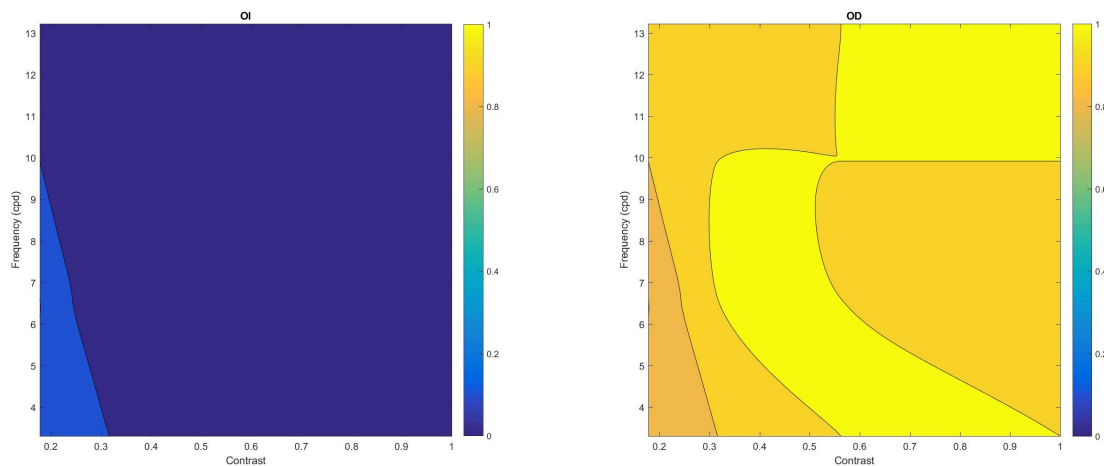
donde la importancia de los detalles queda en segundo plano debido a su gran cantidad y mezcla, que pueden ser las de lejos (Solomon and Pelli, 1994; Alexander et al., 1994). Estableciendo esto podemos evaluar, con los resultados obtenidos, si existe relación entre la prevalencia ocular y algunas tareas, o con las metodologías previas utilizadas. Así, por ejemplo, es evidente que una tarea como la lectura requiere del uso de frecuencias espaciales elevadas y contrastes altos (Legge et al., 1985) mientras que otras tareas tendrían combinaciones de frecuencia y contraste diferentes.

A continuación, se presenta algunos ejemplos de mapas de prevalencia con su correspondiente interpretación.

-La Figura 4.3 muestra los mapas de prevalencia de dos personas con prevalencia/dominancia muy marcada del OD.



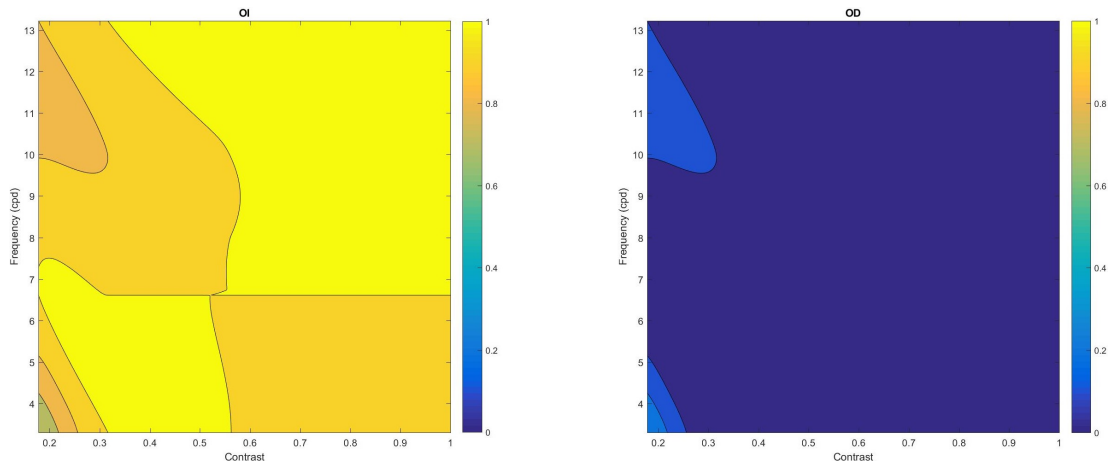
(a) Mapa correspondiente al paciente 022



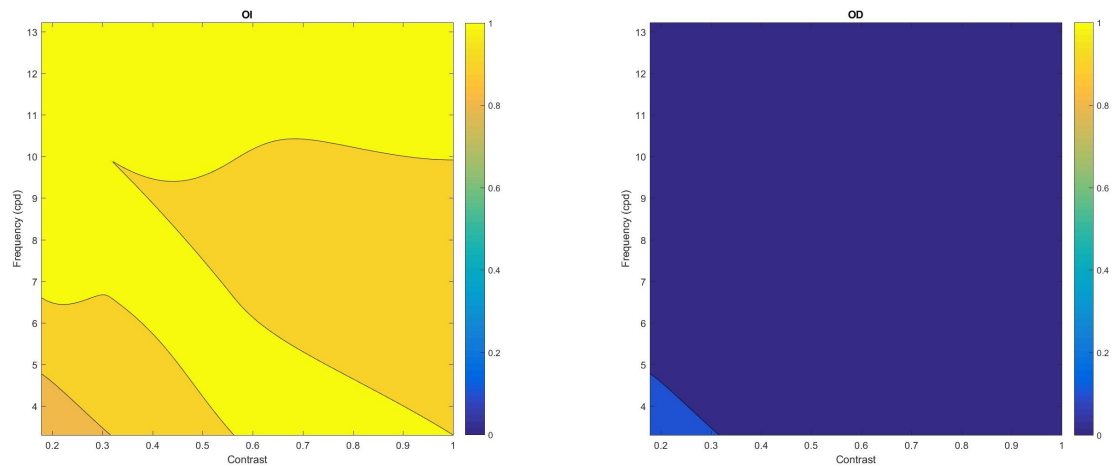
(b) Mapa correspondiente al paciente 082

Figura 4.3.: Mapas de prevalencia ocular con prevalencia/dominancia muy marcada del OD.

- La Figura 4.4 muestra los mapas de prevalencia de dos personas con prevalencia/dominancia muy marcada del OI.



(a) Mapa correspondiente al paciente 076



(b) Mapa correspondiente al paciente 052

Figura 4.4.: Mapas de prevalencia ocular con prevalencia/dominancia muy marcada del OI.

- La Figura 4.5 muestra el mapa de prevalencia de una persona con mayor prevalencia del OD para altas frecuencias.

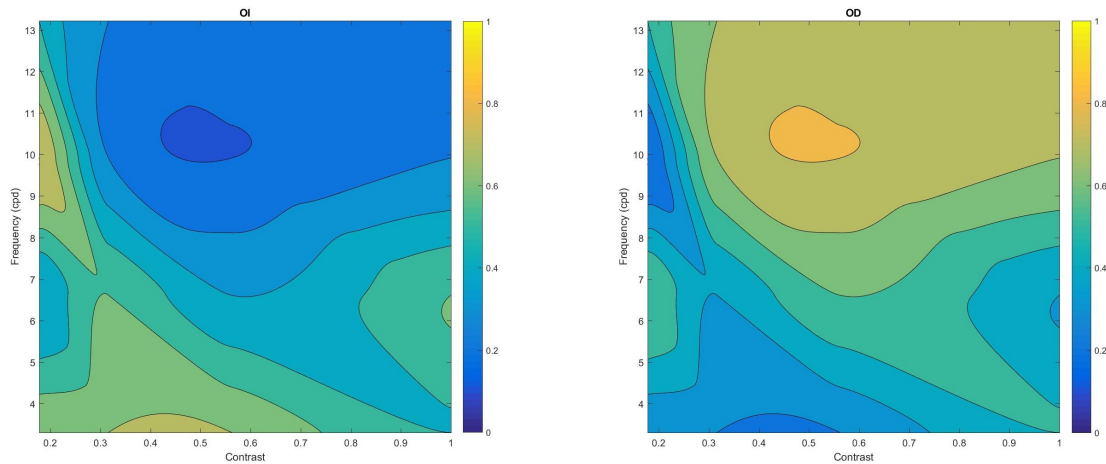


Figura 4.5.: Mapa que muestra mayor prevalencia del OD para altas frecuencias (correspondiente al paciente 003).

- La Figura 4.6 muestra el mapa de prevalencia de una persona con mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias.

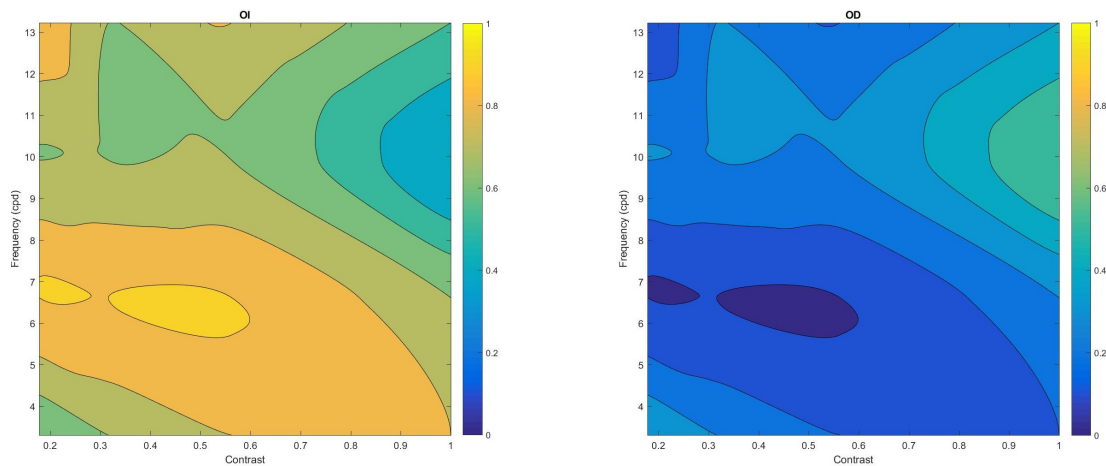


Figura 4.6.: Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias (correspondiente al paciente 041).

- La Figura 4.7 muestra el mapa de prevalencia de una persona con mayor prevalencia del OI para altos contrastes.

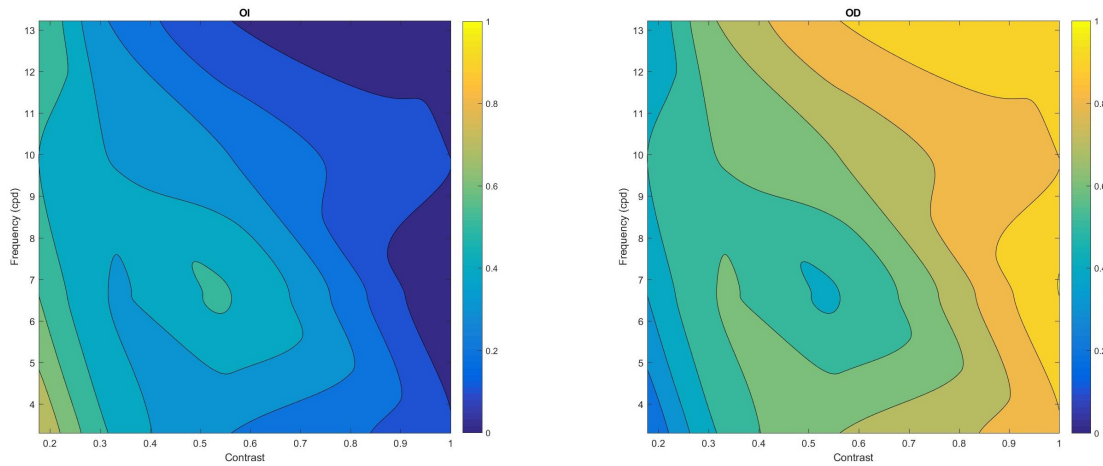


Figura 4.7.: Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para altos contrastes (correspondiente al paciente 049).

- La Figura 4.8 muestra el mapa de prevalencia de una persona con mayor prevalencia del OI para bajos contrastes.

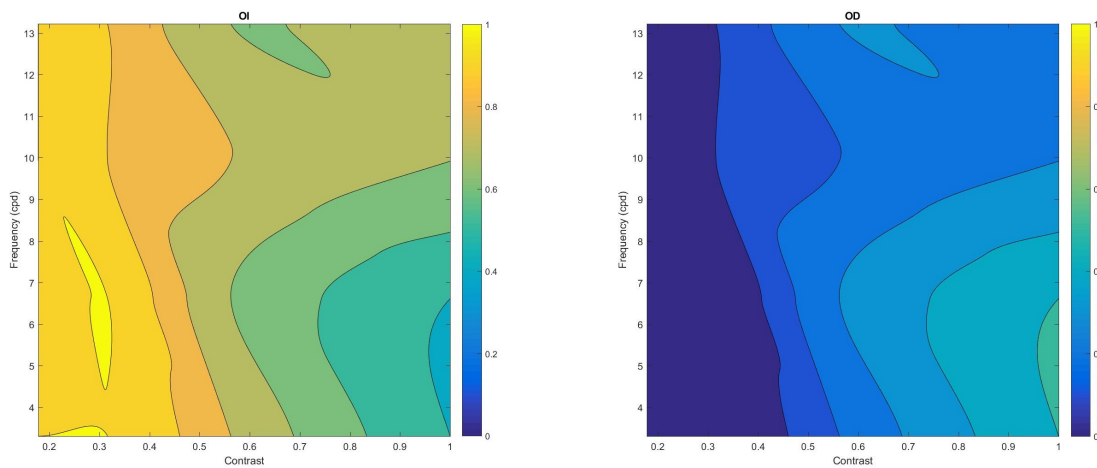


Figura 4.8.: Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para bajos contrastes (correspondiente al paciente 023).

- La Figura 4.9 muestra el mapa de prevalencia de una persona con mayor prevalencia del OI para altas frecuencias y bajos contrastes.

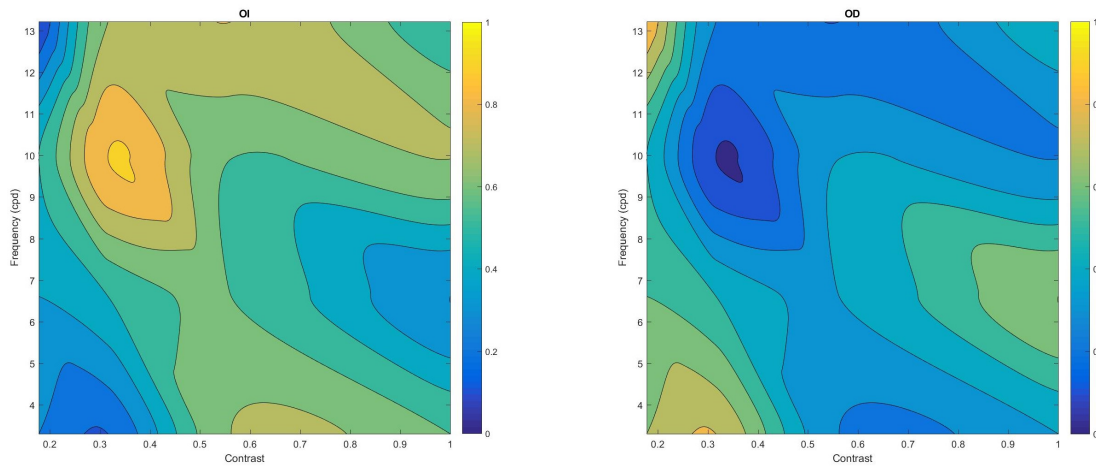


Figura 4.9.: Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para altas frecuencias y bajos contrastes (correspondiente al paciente 102).

- La Figura 4.10 muestra el mapa de prevalencia de una persona con mayor prevalencia del OD para altas frecuencias y altos contrastes.

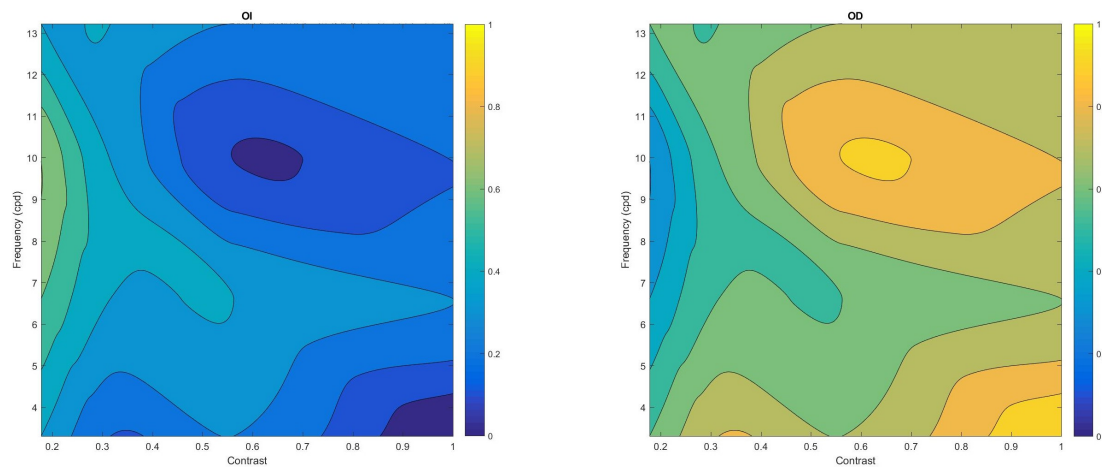


Figura 4.10.: Mapa que muestra mayor prevalencia del OD para altas frecuencias y altos contrastes (correspondiente al paciente 027).

- La Figura 4.11 muestra el mapa de prevalencia de una persona con mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias y bajos contrastes.

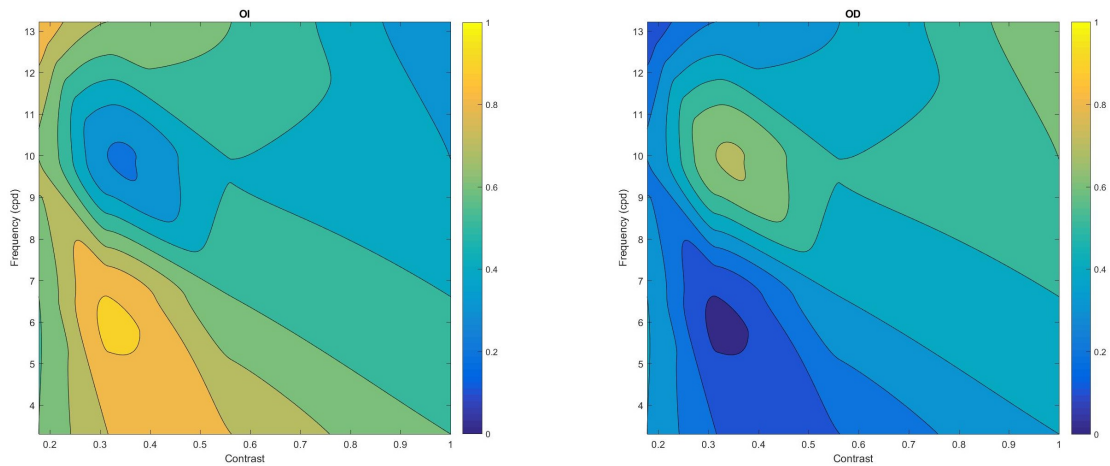


Figura 4.11.: Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias y bajos contrastes (correspondiente al paciente 107).

- La Figura 4.12 muestra el mapa de prevalencia de una persona con mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias y altos contrastes.

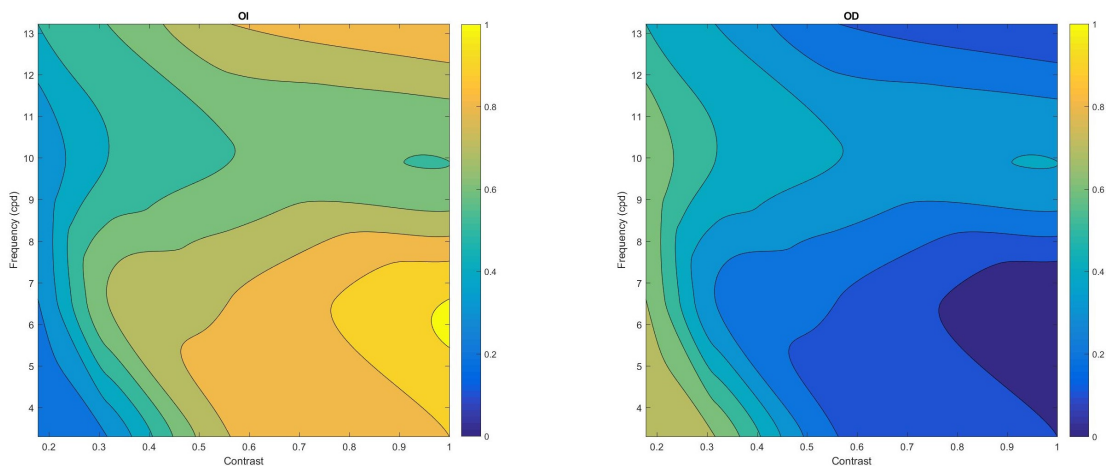
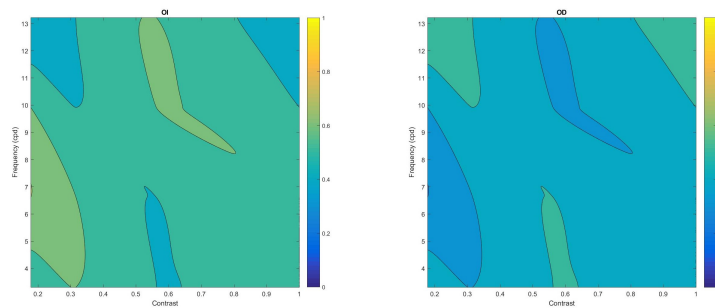
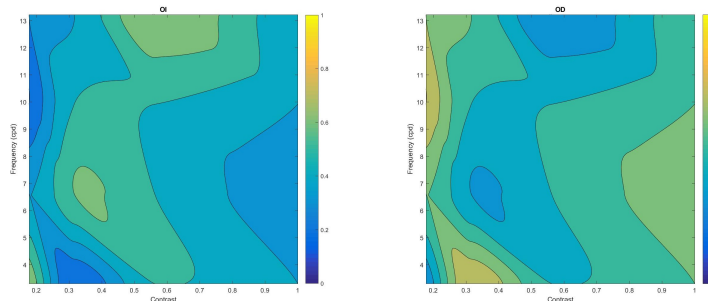


Figura 4.12.: Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias y altos contrastes (correspondiente al paciente 89).

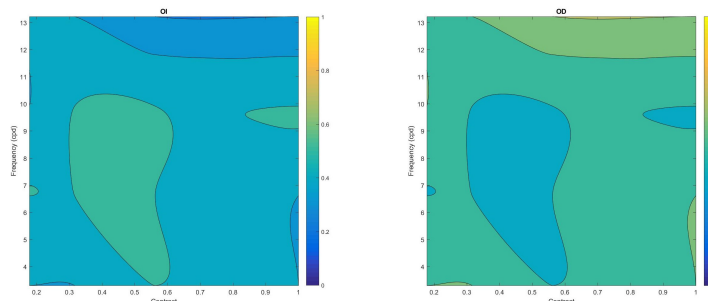
- La figura 4.13 muestra mapas de prevalencia de personas que no revelan una prevalencia clara de un ojo sobre el otro.



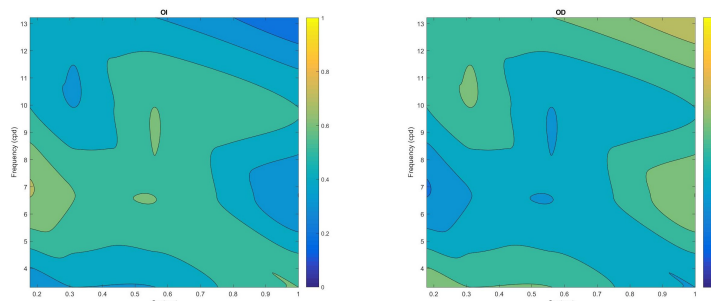
(a) Mapa correspondiente al paciente 079



(b) Mapa correspondiente al paciente 042



(c) Mapa correspondiente al paciente 094



(d) Mapa correspondiente al paciente 095

Figura 4.13.: Mapas que no muestra prevalencia clara de un ojo sobre el otro.

Como se muestra en estos ejemplos, los mapas de color obtenidos con el nuevo método resultan una representación gráfica muy útil para una caracterización rápida de la prevalencia ocular de cada persona.

En el Anexo, en la página 139 se presentan todas las imágenes generadas para el total de los participantes por el nuevo dispositivo.

4.2.1. Determinación del ojo prevalente con el nuevo método propuesto

Los datos de prevalencia se obtienen como la probabilidad acumulada de detección promedio de cada ojo, es decir:

$$P(OD) = \frac{1}{N} \sum_f \sum_C P_i(OD) \quad (4.1)$$

$$P(OI) = \frac{1}{N} \sum_f \sum_C P_i(OI) \quad (4.2)$$

Donde P_i es la probabilidad de cada combinación f, C en cada ojo y N el número total de muestras f, C medidas.

En la tabla 4.9 en la página siguiente se muestra los valores de prevalencia de cada ojo en cada sujeto para todas las imágenes (frecuencias y contrastes) presentadas.

A partir de estos valores, se pueden definir las siguientes prevalencias derivadas:

- Prevalencia de altas frecuencias espaciales y alto contraste (HFHC): este valor se obtiene tomando los valores de P_i para $C > 0,5$ y $f > 0,8$. Se determinará el valor de prevalencia para cada ojo en el intervalo, es decir P_{OI}^{HFHC} y P_{OD}^{HFHC} .

- Prevalencia de bajas frecuencias espaciales y bajo contraste (LFLC): este valor se obtiene tomando los valores de P_i para $C < 0,5$ y $f < 0,8$. Se determinará el valor de prevalencia para cada ojo en el intervalo, es decir P_{OI}^{LFLC} y P_{OD}^{LFLC} .

Evidentemente, con esta definición se debe cumplir que:

$$P(OI) = P_{OI}^{HFHC} + P_{OI}^{LFLC}$$

y también que:

$$P(OD) = P_{OD}^{HFHC} + P_{OD}^{LFLC}.$$

Tabla 4.9: Prevalencia ocular de los 108 participantes para el total de frecuencias y contrastes.

| SUJETO | DATOS DE PREVALENCIA | | SUJETO | DATOS DE PREVALENCIA | |
|--------|----------------------|------------|--------|----------------------|------------|
| | OD | OI | | OD | OI |
| 001 | 0,11827588 | 0,88172412 | 055 | 0,41614511 | 0,58385489 |
| 002 | 0,70879955 | 0,29120045 | 056 | 0,02878959 | 0,97121041 |
| 003 | 0,58951398 | 0,41048602 | 057 | 0,34002028 | 0,65997972 |
| 004 | 0,27048498 | 0,72951502 | 058 | 0,64473136 | 0,35526864 |
| 005 | 0,35980118 | 0,64019882 | 059 | 0,29035292 | 0,70964708 |
| 006 | 0,44715325 | 0,55284675 | 060 | 0,47841034 | 0,52158966 |
| 007 | 0,60361489 | 0,39638511 | 061 | 0,24927466 | 0,75072534 |
| 008 | 0,16461525 | 0,83538475 | 062 | 0,40418935 | 0,59581065 |
| 009 | 0,19072636 | 0,80927364 | 063 | 0,03989862 | 0,96010138 |
| 010 | 0,53873357 | 0,46126643 | 064 | 0,66654072 | 0,33345928 |
| 011 | 0,45752224 | 0,54247776 | 065 | 0,75848617 | 0,24151383 |
| 012 | 0,30408563 | 0,69591437 | 066 | 0,41763899 | 0,58236101 |
| 013 | 0,44539495 | 0,55460505 | 067 | 0,33998072 | 0,66001928 |
| 014 | 0,52017676 | 0,47982324 | 068 | 0,56570303 | 0,43429697 |
| 015 | 0,57171943 | 0,42828057 | 069 | 0,3905326 | 0,6094674 |
| 016 | 0,60026689 | 0,39973311 | 070 | 0,55765983 | 0,44234017 |
| 017 | 0,24963342 | 0,75036658 | 071 | 0,24291268 | 0,75708732 |
| 018 | 0,3206773 | 0,6793227 | 072 | 0,78972426 | 0,21027574 |
| 019 | 0,15270521 | 0,84729479 | 073 | 0,23277818 | 0,76722182 |
| 020 | 0,40035933 | 0,59964067 | 074 | 0,20977094 | 0,79022906 |
| 021 | 0,54814365 | 0,45185635 | 075 | 0,09940327 | 0,90059673 |
| 022 | 0,92231672 | 0,07768328 | 076 | 0,01740113 | 0,98259887 |
| 023 | 0,22887361 | 0,77112639 | 077 | 0,68868847 | 0,31131153 |
| 024 | 0,78242556 | 0,21757444 | 078 | 0,83004466 | 0,16995534 |
| 025 | 0,53472417 | 0,46527583 | 079 | 0,44692568 | 0,55307432 |
| 026 | 0,80684757 | 0,19315243 | 080 | 0,42871624 | 0,57128376 |
| 027 | 0,70608099 | 0,29391901 | 081 | 0,31275621 | 0,68724379 |
| 028 | 0,32666155 | 0,67333845 | 082 | 0,97777529 | 0,02222471 |
| 029 | 0,09580603 | 0,90419397 | 083 | 0,51183286 | 0,48816714 |
| 030 | 0,53440935 | 0,46559065 | 084 | 0,22890154 | 0,77109846 |
| 031 | 0,05379996 | 0,94620004 | 085 | 0,41027748 | 0,58972252 |
| 032 | 0,38187061 | 0,61812939 | 086 | 0,88658019 | 0,11341981 |
| 033 | 0,50473226 | 0,49526774 | 087 | 0,06115527 | 0,93884473 |
| 034 | 0,06544812 | 0,93455188 | 088 | 0,41694528 | 0,58305472 |
| 035 | 0,96542443 | 0,03457557 | 089 | 0,31136148 | 0,68863852 |
| 036 | 0,46076987 | 0,53923013 | 090 | 0,24399666 | 0,75600334 |
| 037 | 0,07300481 | 0,92699519 | 091 | 0,82894594 | 0,17105406 |
| 038 | 0,37121395 | 0,62878605 | 092 | 0,21000931 | 0,78999069 |
| 039 | 0,10160756 | 0,89839244 | 093 | 0,17793597 | 0,82206403 |
| 040 | 0,76227303 | 0,23772697 | 094 | 0,54274005 | 0,45725995 |
| 041 | 0,25460218 | 0,74539782 | 095 | 0,500111 | 0,499889 |
| 042 | 0,53103813 | 0,46896187 | 096 | 0,48354549 | 0,51645451 |
| 043 | 0,4509924 | 0,5490076 | 097 | 0,4672268 | 0,5327732 |
| 044 | 0,2232138 | 0,7767862 | 098 | 0,57651463 | 0,42348537 |
| 045 | 0,07202701 | 0,92797299 | 099 | 0,75115603 | 0,24884397 |
| 046 | 0,23161069 | 0,76838931 | 100 | 0,71560376 | 0,28439624 |
| 047 | 0,17092134 | 0,82907866 | 101 | 0,01773761 | 0,98226239 |
| 048 | 0,37263628 | 0,62736372 | 102 | 0,4038418 | 0,5961582 |
| 049 | 0,69931968 | 0,30068032 | 103 | 0,43466398 | 0,56533602 |
| 050 | 0,02479523 | 0,97520477 | 104 | 0,01546726 | 0,98453274 |
| 051 | 0,3151681 | 0,6848319 | 105 | 0,50564462 | 0,49435538 |
| 052 | 0,0124577 | 0,9875423 | 106 | 0,99212852 | 0,00787148 |
| 053 | 0,58852265 | 0,41147735 | 107 | 0,42163104 | 0,57836896 |
| 054 | 0,31795566 | 0,68204434 | 108 | 0,68512372 | 0,31487628 |

En la tabla 4.10 se muestra los valores de prevalencia de cada ojo obtenidos para cada uno de los 108 participantes según sus respuestas ante las imágenes con alta frecuencia y alto contraste (HFHC) (tareas de cerca).

Tabla 4.10: Prevalencia de cada ojo de los 108 participantes para imágenes con alta frecuencia y alto contraste (HFHC) (tareas de cerca).

| SUJETO | DATOS DE PREVALENCIA | | SUJETO | DATOS DE PREVALENCIA | |
|--------|----------------------|------------|--------|----------------------|------------|
| | ODHFC | OIHFC | | ODHFC | OIHFC |
| 001 | 0,07352142 | 0,42548058 | 055 | 0,21176429 | 0,28723771 |
| 002 | 0,35538823 | 0,14361376 | 056 | 0,00848235 | 0,49051965 |
| 003 | 0,33869462 | 0,16030737 | 057 | 0,14672668 | 0,35227531 |
| 004 | 0,14328922 | 0,35571278 | 058 | 0,29860706 | 0,20039494 |
| 005 | 0,1818492 | 0,31715279 | 059 | 0,16380754 | 0,33519446 |
| 006 | 0,24654713 | 0,25245486 | 060 | 0,21810109 | 0,28090091 |
| 007 | 0,29018087 | 0,20882112 | 061 | 0,12477188 | 0,37423012 |
| 008 | 0,09035895 | 0,40864304 | 062 | 0,21949721 | 0,27950478 |
| 009 | 0,14452309 | 0,3544789 | 063 | 0,03266882 | 0,46633318 |
| 010 | 0,25366888 | 0,24533312 | 064 | 0,29704505 | 0,20195695 |
| 011 | 0,19127262 | 0,30772938 | 065 | 0,4124372 | 0,08656479 |
| 012 | 0,13563215 | 0,36336985 | 066 | 0,19017964 | 0,30882235 |
| 013 | 0,2430894 | 0,25591259 | 067 | 0,16822823 | 0,33077377 |
| 014 | 0,26391653 | 0,23508546 | 068 | 0,26414761 | 0,23485439 |
| 015 | 0,26529083 | 0,23371117 | 069 | 0,23139047 | 0,26761153 |
| 016 | 0,23168738 | 0,26731462 | 070 | 0,27470699 | 0,224295 |
| 017 | 0,14409238 | 0,35490962 | 071 | 0,14304341 | 0,35595859 |
| 018 | 0,15960273 | 0,33939927 | 072 | 0,42219912 | 0,07680288 |
| 019 | 0,06329992 | 0,43570207 | 073 | 0,08487243 | 0,41412957 |
| 020 | 0,22098795 | 0,27801404 | 074 | 0,09838111 | 0,40062089 |
| 021 | 0,26979299 | 0,229209 | 075 | 0,06735349 | 0,43164851 |
| 022 | 0,44439432 | 0,05460768 | 076 | 0,00201598 | 0,49698602 |
| 023 | 0,14531994 | 0,35368206 | 077 | 0,33565241 | 0,16334959 |
| 024 | 0,4042552 | 0,09474679 | 078 | 0,38771504 | 0,11128696 |
| 025 | 0,30372741 | 0,19527458 | 079 | 0,21989745 | 0,27910454 |
| 026 | 0,36185065 | 0,13715135 | 080 | 0,22530814 | 0,27369385 |
| 027 | 0,38607618 | 0,11292582 | 081 | 0,17149535 | 0,32750665 |
| 028 | 0,17637359 | 0,3226284 | 082 | 0,48815855 | 0,01084345 |
| 029 | 0,06441971 | 0,43458229 | 083 | 0,23787449 | 0,26112751 |
| 030 | 0,28233525 | 0,21666675 | 084 | 0,1119872 | 0,38701479 |
| 031 | 0,03535212 | 0,46364988 | 085 | 0,17945736 | 0,31954463 |
| 032 | 0,23011065 | 0,26889135 | 086 | 0,45745707 | 0,04154493 |
| 033 | 0,22462119 | 0,2743808 | 087 | 0,04198411 | 0,45701789 |
| 034 | 0,03711186 | 0,46189013 | 088 | 0,20736143 | 0,29164057 |
| 035 | 0,49590737 | 0,00309463 | 089 | 0,13672273 | 0,36227926 |
| 036 | 0,25001982 | 0,24898218 | 090 | 0,15207929 | 0,34692271 |
| 037 | 0,03879863 | 0,46020336 | 091 | 0,43317916 | 0,06582283 |
| 038 | 0,15654291 | 0,34245909 | 092 | 0,09565013 | 0,40335187 |
| 039 | 0,03628662 | 0,46271538 | 093 | 0,11094281 | 0,38805919 |
| 040 | 0,37444718 | 0,12455481 | 094 | 0,28171236 | 0,21728964 |
| 041 | 0,16450657 | 0,33449542 | 095 | 0,26339736 | 0,23560464 |
| 042 | 0,26540047 | 0,23360153 | 096 | 0,22913353 | 0,26986846 |
| 043 | 0,2438184 | 0,2551836 | 097 | 0,26287967 | 0,23612233 |
| 044 | 0,1437918 | 0,3552102 | 098 | 0,26157916 | 0,23742283 |
| 045 | 0,02023916 | 0,47876284 | 099 | 0,37441297 | 0,12458902 |
| 046 | 0,10108415 | 0,39791785 | 100 | 0,36281415 | 0,13618784 |
| 047 | 0,08811089 | 0,4108911 | 101 | 0,00350077 | 0,49550123 |
| 048 | 0,186355 | 0,312647 | 102 | 0,19571632 | 0,30328568 |
| 049 | 0,40726545 | 0,09173654 | 103 | 0,16900568 | 0,32999631 |
| 050 | 0,00758443 | 0,49141757 | 104 | 0,00911785 | 0,48988415 |
| 051 | 0,18339389 | 0,31560811 | 105 | 0,24731958 | 0,25168242 |
| 052 | 0,00795799 | 0,491044 | 106 | 0,49099476 | 0,00800724 |
| 053 | 0,25370797 | 0,24529403 | 107 | 0,2472216 | 0,2517804 |
| 054 | 0,15169547 | 0,34730652 | 108 | 0,35487009 | 0,14413191 |

En la tabla 4.11 se muestra los valores obtenidos ante las imágenes con baja frecuencia y bajo contraste (LFLC) (tareas de lejos).

Tabla 4.11: Valores de prevalencia de cada ojo obtenidos para cada uno de los 108 participantes según sus respuestas ante las imágenes con baja frecuencia y bajo contraste (LFLC) (tareas de lejos).

| SUJETO | DATOS DE PREVALENCIA | | SUJETO | DATOS DE PREVALENCIA | |
|--------|----------------------|------------|--------|----------------------|------------|
| | ODLFLC | OILFLC | | ODLFLC | OILFLC |
| 001 | 0,0445406 | 0,4544614 | 055 | 0,20351459 | 0,2954874 |
| 002 | 0,35191663 | 0,14708537 | 056 | 0,02023219 | 0,47876981 |
| 003 | 0,24954206 | 0,24945994 | 057 | 0,19267622 | 0,30632577 |
| 004 | 0,12663396 | 0,37236804 | 058 | 0,34463112 | 0,15437088 |
| 005 | 0,17736813 | 0,32163387 | 059 | 0,12591665 | 0,37308534 |
| 006 | 0,19953874 | 0,29946325 | 060 | 0,25919271 | 0,23980929 |
| 007 | 0,31216997 | 0,18683203 | 061 | 0,12399375 | 0,37500825 |
| 008 | 0,07393822 | 0,42506378 | 062 | 0,18382586 | 0,31517614 |
| 009 | 0,04586458 | 0,45313741 | 063 | 0,0071722 | 0,49182979 |
| 010 | 0,2838914 | 0,2151106 | 064 | 0,36827046 | 0,13073153 |
| 011 | 0,26538907 | 0,23361293 | 065 | 0,3445469 | 0,1544551 |
| 012 | 0,16777382 | 0,33122817 | 066 | 0,2266416 | 0,27236039 |
| 013 | 0,20139782 | 0,29760418 | 067 | 0,17115148 | 0,32785051 |
| 014 | 0,25525528 | 0,24374672 | 068 | 0,3004642 | 0,19853779 |
| 015 | 0,30530431 | 0,19369768 | 069 | 0,15833048 | 0,34067152 |
| 016 | 0,36740845 | 0,13159354 | 070 | 0,28177631 | 0,21722569 |
| 017 | 0,10505729 | 0,3939447 | 071 | 0,09930922 | 0,39969277 |
| 018 | 0,16039899 | 0,33860301 | 072 | 0,36588674 | 0,13311526 |
| 019 | 0,08899011 | 0,41001188 | 073 | 0,14750849 | 0,3514935 |
| 020 | 0,17862087 | 0,32038112 | 074 | 0,11096075 | 0,38804125 |
| 021 | 0,2773171 | 0,2216849 | 075 | 0,0318776 | 0,4671244 |
| 022 | 0,47604249 | 0,02295951 | 076 | 0,01530695 | 0,48369504 |
| 023 | 0,08301165 | 0,41599035 | 077 | 0,35164606 | 0,14735594 |
| 024 | 0,3764632 | 0,12253879 | 078 | 0,44060261 | 0,05839939 |
| 025 | 0,22989659 | 0,26910541 | 079 | 0,22609757 | 0,27290442 |
| 026 | 0,44327849 | 0,0557235 | 080 | 0,20243091 | 0,29657108 |
| 027 | 0,31853519 | 0,18046681 | 081 | 0,140703 | 0,35829899 |
| 028 | 0,14961886 | 0,34938313 | 082 | 0,4876533 | 0,0113487 |
| 029 | 0,03118296 | 0,46781904 | 083 | 0,27289636 | 0,22610564 |
| 030 | 0,25099564 | 0,24800636 | 084 | 0,11639855 | 0,38260345 |
| 031 | 0,01838384 | 0,48061815 | 085 | 0,22989972 | 0,26910228 |
| 032 | 0,15103014 | 0,34797185 | 086 | 0,42736636 | 0,07163564 |
| 033 | 0,27910806 | 0,21989394 | 087 | 0,01906189 | 0,47994011 |
| 034 | 0,02818525 | 0,47081674 | 088 | 0,20880046 | 0,29020154 |
| 035 | 0,46759847 | 0,03140353 | 089 | 0,17406949 | 0,32493251 |
| 036 | 0,20979053 | 0,28921146 | 090 | 0,09154793 | 0,40745407 |
| 037 | 0,03404327 | 0,46495872 | 091 | 0,39419726 | 0,10480473 |
| 038 | 0,21396483 | 0,28503716 | 092 | 0,11386463 | 0,38513736 |
| 039 | 0,06513433 | 0,43386767 | 093 | 0,06659191 | 0,43241008 |
| 040 | 0,38632305 | 0,11267894 | 094 | 0,25995681 | 0,23904519 |
| 041 | 0,08966705 | 0,40933495 | 095 | 0,23576084 | 0,26324116 |
| 042 | 0,26452157 | 0,23448043 | 096 | 0,25341404 | 0,24558796 |
| 043 | 0,20607101 | 0,29293098 | 097 | 0,20332179 | 0,2956802 |
| 044 | 0,0790318 | 0,4199702 | 098 | 0,31380595 | 0,18519605 |
| 045 | 0,05167833 | 0,44732367 | 099 | 0,37524443 | 0,12375756 |
| 046 | 0,13006627 | 0,36893573 | 100 | 0,35130908 | 0,14769292 |
| 047 | 0,08255957 | 0,41644243 | 101 | 0,01416287 | 0,48483913 |
| 048 | 0,18551619 | 0,3134858 | 102 | 0,20730513 | 0,29169686 |
| 049 | 0,29073405 | 0,20826794 | 103 | 0,26482893 | 0,23417307 |
| 050 | 0,0171733 | 0,48182869 | 104 | 0,00635644 | 0,49264555 |
| 051 | 0,13108118 | 0,36792082 | 105 | 0,2572566 | 0,2417454 |
| 052 | 0,00448001 | 0,49452199 | 106 | 0,49913452 | 0,0001325 |
| 053 | 0,33361923 | 0,16538276 | 107 | 0,17348446 | 0,32551753 |
| 054 | 0,16558069 | 0,3334213 | 108 | 0,32889577 | 0,17010622 |

Según estos datos consideraremos el ojo más prevalente el que presente un valor de prevalencia mayor en cada caso.

Se obtiene así el ojo más prevalente analizando las respuestas obtenidas durante la prueba de cada persona de la siguiente forma:

- Prevalencia total:** El ojo con un mayor valor de prevalencia analizando las respuestas ante todas las imágenes (todas las frecuencias y contrastes) presentadas en la prueba.
- HFHC:** El ojo con mayor valor de prevalencia cuando se presentan imágenes con altas frecuencias y contrastes (tareas de cerca).
- LFCL:** El ojo con mayor valor de prevalencia cuando se presentan imágenes con bajas frecuencias y contrastes (tareas de lejos).

En el análisis de estos resultados con la prueba binomial (ver tabla 4.12) se obtienen mayores porcentajes en los tres casos para el OI, lo que quiere decir que la mayoría de los sujetos tienen el OI más prevalente tanto en el total como en lejos y cerca. Las diferencias son estadísticamente significativas en todos los casos ($p < 0,05$).

Tabla 4.12: Análisis de los resultados del ojo con mayor valor de prevalencia según las respuestas para el total de las frecuencias y contrastes (*Promedio_Prev_Tot*), para las frecuencias y contrastes altos (*HFHC*) y para las frecuencias y contrastes bajos (*LFCL*).

| Prueba binomial | | | | | | | |
|-----------------------|---------|-----------|-----|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | Categoría | N | Prop. observada | Prop. de prueba | Significación exacta (bilateral) | Significación exacta (bilateral) |
| Promedio_Prev_Tot_OJO | Grupo 1 | OI | 68 | ,63 | ,50 | ,009 | ,009 |
| | Grupo 2 | OD | 40 | ,37 | | | |
| | Total | | 108 | 1,00 | | | |
| HFHC_OJO | Grupo 1 | OI | 70 | ,65 | ,50 | ,003 | ,003 |
| | Grupo 2 | OD | 38 | ,35 | | | |
| | Total | | 108 | 1,00 | | | |
| LFCL_OJO | Grupo 1 | OI | 66 | ,61 | ,50 | ,026 | ,026 |
| | Grupo 2 | OD | 42 | ,39 | | | |
| | Total | | 108 | 1,00 | | | |

Con el test de la T de Student para muestras pareadas (tabla 4.13) se estudian las diferencias entre las medias para saber la media de las diferencias. El resultado de estas pruebas indica que en el Par 1 (resultados para todas las frecuencias y contrastes) hay una diferencia a favor del OI de 0.16². El valor negativo indica que es a favor del OI y el $p = 0,001$ nos dice que esa diferencia a favor del OI es estadísticamente significativa. Lo mismo sucede para el Par 2 (resultados para las frecuencias y contrastes altos) y para el Par 3 (resultados para las frecuencias y contrastes bajos).

Tabla 4.13: Análisis de las diferencias obtenidas en el ojo prevalente obtenido según las respuestas ante todas las frecuencia y contrastes (*PrevTotal*), altas frecuencias y contrastes (*HFHC*) y bajas frecuencias y contrastes (*LFLC*).

| Prueba T | | Media | N | Desviación estándar | Media de error estándar | | | | |
|---|---|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|--------|----------|------------------|
| Estadísticas de muestras emparejadas | | | | | | | | | |
| Par 1 | Promedio de PrevTotal_OD | ,418 | 108 | ,2453598 | ,0236098 | | | | |
| | Promedio de PrevTotal_OI | ,582 | 108 | ,2453598 | ,0236098 | | | | |
| Par 2 | ODHFHC | ,211 | 108 | ,1226815 | ,0118050 | | | | |
| | OIHFC | ,288 | 108 | ,1226815 | ,0118050 | | | | |
| Par 3 | ODLFLC | ,206 | 108 | ,1261368 | ,0121375 | | | | |
| | OILFLC | ,293 | 108 | ,1261310 | ,0121370 | | | | |
| Prueba de muestras emparejadas | | | | | | | | | |
| | | Diferencias emparejadas | | | | | t | gl | Sig. (bilateral) |
| | | Media | Desviación estándar | Media de error estándar | de la diferencia | | | | |
| | | | | | | | | Inferior | Superior |
| Par 1 | Promedio de PrevTotal_OD - Promedio de PrevTotal_OI | -,1634762 | ,4907195 | ,0472195 | -,2570834 | -,0698691 | -3,462 | 107 | ,001 |
| Par 2 | ODHFHC - OIHFC | -,0766580 | ,2453630 | ,0236101 | -,1234622 | -,0298538 | -3,247 | 107 | ,002 |
| Par 3 | ODLFLC - OILFLC | -,0865241 | ,2522678 | ,0242745 | -,1346455 | -,0384028 | -3,564 | 107 | ,001 |

Los resultados indican que en el grupo estudiado es más prevalente el OI que el OD.

²resulta de restar a las medias del OD (0,42) las del OI (0,58), que aparecen en la tabla superior del cuadro

4.2.2. Relación entre prevalencia ocular y dominancia sensorial y direccional

Para analizar si coinciden los resultados con los obtenidos en las pruebas de dominancia direccional y sensorial, comparamos los resultados de las pruebas tradicionales de dominancia de lejos y de cerca con los resultados de prevalencia ocular de lejos (baja frecuencia y contraste) y cerca (alta frecuencia y contraste). Dado que se puede asimilar que la dominancia OD/OI es equivalente a una respuesta binaria (0, 1), comparamos con los resultados de prevalencia de dos formas: en primer lugar, mediante un test ANOVA que compare la significancia estadística de las diferencias entre las dos muestras. En segundo lugar, mediante un test más específico, el Cochran Q-test, que permite la comparación de resultados de respuesta (1, 0). Para ello, se han normalizado los valores de prevalencia, considerando prevalencia 1 para valores por encima de la media + desviación estándar, y 0 por debajo, es decir:

$$\text{Prevalencia normalizada } P = \begin{cases} 0, & \text{si } P < \bar{P} + \sigma \\ 1, & \text{si } P > \bar{P} + \sigma \end{cases} \quad (4.3)$$

Para la comparación de dominancia y prevalencia se crearán tablas cruzadas con la siguiente notación:

Dominancias tradicionales:

VLSOD: Dominancia sensorial Visión de lejos OD

VLSOI: Dominancia sensorial Visión de lejos OI

VPSOD: Dominancia sensorial Visión próxima OD

VPSOI: Dominancia sensorial Visión próxima OI

VLMOD: Dominancia direccional Visión de lejos OD

VLMOI: Dominancia direccional Visión de lejos OI

VPMOD: Dominancia direccional Visión próxima OD

VPMOI: Dominancia direccional Visión próxima OI

Prevalencias

OD: Prevalencia de OD

OI: Prevalencia de OI

ODHFHC: Prevalencia de OD en zona de altas frecuencias y alto contraste

OIHFC: Prevalencia de OI en zona de altas frecuencias y alto contraste

ODLFLC: Prevalencia de OD en zona de bajas frecuencias y bajo contraste

OILFLC: Prevalencia de OI en zona de bajas frecuencias y bajo contraste

Tabla 4.14: Valores p del test ANOVA cruzado entre los diferentes valores de dominancia y prevalencia

| | OD | OI | ODHFHC | ODLFLC | OIHFC | OILFLC |
|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| VLSOD | 0.0138 | 0.1694 | 0.006 | 0.02 | 0.0974 | 0.2731 |
| VLDOI | 0.1691 | 0.0138 | 0.0974 | 0.2168 | 0.006 | 0.0291 |
| VPSOD | 0.3338 | 0.004 | 0.2118 | 0.4084 | 0.0016 | 0.0095 |
| VPSOI | 0.004 | 0.338 | 0.00016 | 0.0063 | 0.2118 | 0.4317 |
| VLMOI | 0 | 0.0794 | 0 | 0 | 0.141 | 0.04 |
| VLMOI | 0.0794 | 0 | 0.141 | 0.0582 | 0 | 0 |
| VPMOI | 0 | 0.0562 | 0 | 0 | 0.1037 | 0.0286 |
| VPMOI | 0.0562 | 0 | 0.1037 | 0.004 | 0 | 0 |

A partir de los datos que aparecen en la tabla 4.14, se comprueba que es difícil establecer comparaciones entre los valores de dominancia y prevalencia, sin que exista un criterio válido. Así, por ejemplo, se podría derivar de estos datos que existe cierta correlación entre los datos de prevalencia y el test de dominancia sensorial en visión próxima, ya que existen diferencias significativas entre los valores de VPSOD y OI ($p < 0,005$), mientras que no se encuentran entre VPSOD y OD ($p > 0,005$). Sin embargo, es imposible extender este razonamiento al resto de cruces, dando resultados incongruentes.

En principio, este análisis es razonable, al ser ANOVA un test de comparación de medias poblacionales, que hace complejo un análisis sobre este tipo de test. Resulta más indicado por tanto hacer un test que compare los resultados por individuo, y que analice el grado de congruencia de las respuestas obtenidas. Dado que las respuestas son binarias, la opción más correcta es realizar un test de Cochran Q-test (Cochran, 1950), que analiza cuándo dos muestras binarias no paramétricas son idénticas. Al comparar dos muestras de datos x_i e y_i , el test de Cochran proporciona el valor Q , que es 1 cuando los resultados son de muestras congruentes y 0 cuando son diferentes.

El cuadro 4.15 muestra los resultados del test de Cochran en forma de tabla cruzada, en la que se han pasado las pruebas de forma cruzada.

Tabla 4.15: *Tabla de valores Q al realizar la prueba de Cochran cruzada*

| | OD | OI | ODHFHC | ODLFLC | OIHFFH | OILFLC |
|-------|----|----|--------|--------|--------|--------|
| VLSOD | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| VLDOI | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| VPSOD | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| VPSOI | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| VLMOI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| VLMOI | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| VPMOD | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| VPMOI | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Los resultados indican que existe una concordancia entre la metodología de prevalencia presentada y los resultados de dominancia sensorial en visión de lejos (en verde en la tabla 4.15).

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de resultados de dominancia ocular utilizando los métodos tradicionales

5.1.1. Dominancia direccional de lejos y de cerca

En el grupo estudiado se da una mayor dominancia direccional del OD tanto de lejos como de cerca y los resultados entre lejos y cerca concuerdan (ver gráfica en la Figura 5.1).

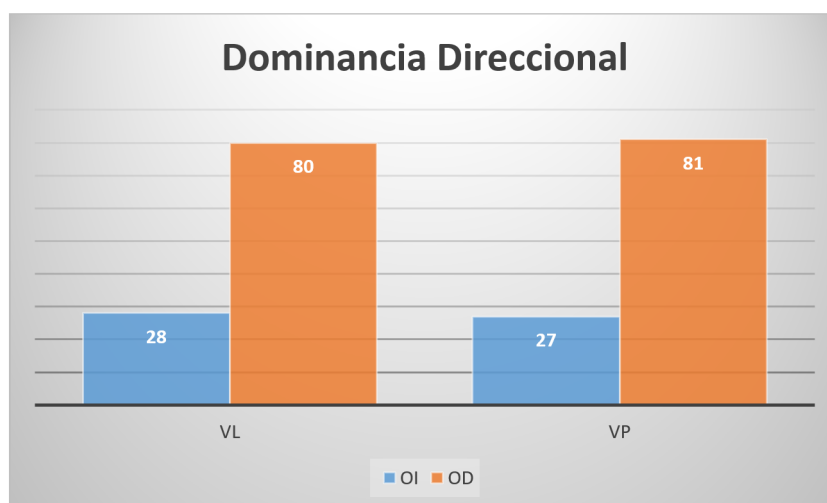


Figura 5.1.: Representación de los resultados de las pruebas de dominancia direccional de lejos y de cerca.

Nuestro resultado coincide con lo publicado por Porta en 1593 que, aplicando su test, concluyó que el ojo derecho era el dominante, aunque se basó en la observación individual y apenas hizo comparaciones entre sujetos (Wade, 1998).

También coincide con los resultados publicados por Porac y Coren que encontraron un mayor porcentaje de personas con OD dominante direccional (65%) que con OI (32%) (Porac and Coren, 1976).

Pero estos autores no utilizaron la prueba de la tarjeta como nosotros. En el estudio de Seijas de 2007 se realiza la misma prueba a un grupo con las mismas características que el de nuestro estudio (jóvenes de 18 a 35 años). En su caso analizan los resultados obtenidos por 26 personas y obtienen un porcentaje de dominancia del OD del 50% (Seijas et al., 2007). Esto no coincide con nuestro resultado.

No podemos comparar si hay coincidencia con los resultados obtenidos entre la prueba de lejos y cerca con el estudio de Seijas ya que en él no se realizó la prueba en visión próxima.

5.1.2. Dominancia sensorial de lejos y de cerca

El grupo estudiado no tiene un ojo dominante sensorial mayoritariamente (ver gráfica en la Figura 5.2).

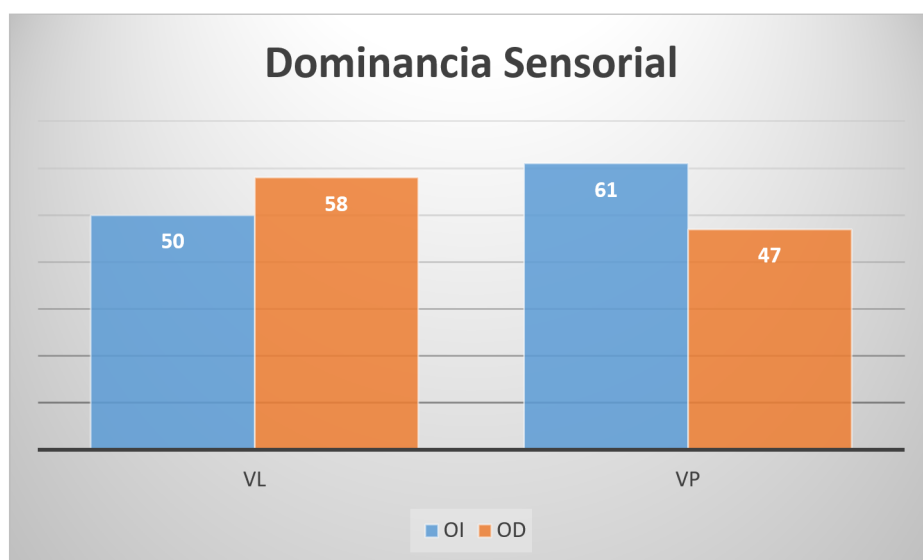


Figura 5.2.: Representación de los resultados de las pruebas de dominancia sensorial de lejos y de cerca.

Este resultado coincide con el obtenido en el estudio de Seijas, donde se utilizó la misma prueba de la lente positiva en un grupo de personas con las mismas características que los participantes en nuestro estudio. En su trabajo concluyeron que los resultados en esta prueba seguían una distribución aleatoria (Seijas et al., 2007).

Por otro lado, aunque nuestros resultados en las pruebas de dominancia sensorial de lejos y cerca concuerdan, lo que indica que la persona que tiene un ojo dominante sensorial de lejos obtiene el mismo resultado en cerca, esta concordancia no es muy alta, aunque sí es estadísticamente significativa.

El trabajo de Seijas no encontró concordancia entre el resultado de lejos y cerca porque obtuvieron muchos resultados inciertos en esta prueba. En nuestro estudio, al forzar la respuesta del paciente no tenemos resultados inciertos.

5.1.3. Correlación entre ambos métodos

Nuestros resultados indican que no hay coincidencia entre la dominancia direccional y sensorial de lejos ni de cerca.

Podemos comparar nuestros resultados con los del trabajo de Seijas, que realiza las mismas pruebas y las compara, aunque solamente en lejos pues no evaluaron la dominancia direccional en cerca. En su trabajo no se obtiene concordancia entre ellas (Seijas et al., 2007) lo que coincide con nuestro resultado.

Nuestra interpretación de este resultado es que las pruebas de dominancia direccional y sensorial tradicionales no coinciden porque miden funcionalidades distintas del sistema visual. Por lo tanto, se debe decidir primero la funcionalidad visual que se quiere analizar para aplicar una prueba u otra pues no evalúan lo mismo. Esa circunstancia es algo que ya se viene indicando desde la introducción de este trabajo en la definición (1.2) y clasificación (1.4) de los tipos de dominancia.

5.2. Análisis de resultados de prevalencia ocular utilizando el nuevo método

5.2.1. Determinación del ojo prevalente con el nuevo método

En el grupo de sujetos estudiados es más prevalente el OI que el OD. Esto sucede al analizar los resultados tanto para el total de las frecuencias y contrastes como para altas frecuencias y contrastes (cerca) y bajas frecuencias y contrastes (lejos). Además, hay concordancia entre los resultados obtenidos en las tres situaciones. (ver gráfica en la Figura 5.3).

5.2.2. Relación entre prevalencia ocular y dominancia sensorial y direccional

La comparación de estos resultados con los obtenidos en las pruebas de dominancia tradicional indica que no hay coincidencia entre la prevalencia ocular con el nuevo método y la dominancia direccional y sensorial.

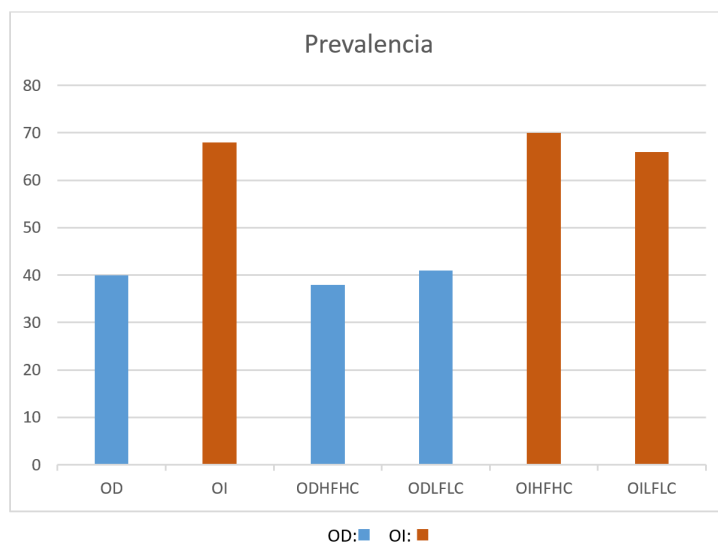


Figura 5.3.: Representación de los resultados de las pruebas de prevalencia ocular con el nuevo método para el total de las frecuencias, para altas frecuencias y contrastes (HFHC) y para bajas frecuencias y contrastes (LFLC).

Los valores Q de Cochran de la tabla 4.15 nos indican que existe una concordancia entre la metodología de prevalencia presentada y los resultados de dominancia sensorial en visión de lejos (en verde en el tabla 4.15). Esta concordancia se repite para las zonas de HFHC y LFLC.

En general, aunque se obtiene alguna concordancia entre la prevalencia y la dominancia direccional, la gran mayoría de combinaciones es nula, por lo que no se puede encontrar significancia. Encontramos coincidencias en las parejas VLMOI/OI y VP-MOD/ODHFHC y también en VPMOI/ODLFLC y VPMOD/OILFLC, aunque estas últimas tienen concordancia con el ojo contrario. Sin embargo, en el caso de la dominancia sensorial se obtiene otras dos concordancias lógicas (VPSOD/ODHFHC y VPSOI/OIHFHC), y solo una contralateral (VPSOD/OI).

Este resultado permite establecer cierta relación entre la medida de prevalencia estadística sobre frecuencias y contrastes con la medida de la dominancia sensorial. Sin embargo, no es posible establecer relación entre la dominancia y la tarea de forma explícita, pero sí parece razonable que la medida de la prevalencia en la zona HFHC será de interés para aquellos pacientes que necesiten de una especial efectividad en esta zona para tareas de lectura, por ejemplo.

5.2.3. Ventajas del uso de prevalencia frente a los métodos clásicos de dominancia

Como se puede ver en los resultados de prevalencia mostrados en la tabla 4.9, los valores de prevalencia no proporcionan una respuesta binaria, sino una probabilidad

de respuesta de un ojo frente a otro. Este modelo de análisis es más realista que los métodos clínicos tradicionales, que asumen la imposición de una dominancia tras la medida en todas las condiciones, pese a que es bien conocido que este valor no responde de forma unívoca (Seijas et al., 2007). El resultado de prevalencia permite un análisis mucho más indicado para determinadas aplicaciones clínicas, evitando las posibles respuestas falsas derivadas de un resultado tradicional. Es evidente que no se puede tratar de la misma forma un valor de dominancia que supone la respuesta del 100% de las ocasiones de un ojo al que indica una respuesta de un valor P%: no es lo mismo que se diga que el ojo dominante es el derecho a que existe un 59.6% de probabilidad de respuesta del ojo derecho. Esta diferencia aporta al clínico una nueva herramienta de trabajo, a la que se puede añadir un análisis funcional de los resultados: los datos de prevalencia pueden ser analizados en función de la tarea que se va a realizar. Por ejemplo, si es necesario determinar el ojo prevalente en un paciente cuya carga profesional está en la lectura, parece evidente que se decida que el ojo prevalente será aquél que saca los mejores valores en la zona HFHC, independientemente de que los resultados de dominancia indiquen un ojo u otro.

6. CONCLUSIONES

6 CONCLUSIONES

Las conclusiones de nuestro estudio son las siguientes:

1. La mayoría de las personas presentan como dominante direccional el OD, tanto de lejos como de cerca.
2. No hay un ojo dominante sensorial mayoritariamente entre todas las personas analizadas pero el ojo dominante sensorial de lejos para una persona generalmente coincide con el de cerca.
3. No hay coincidencia entre la dominancia direccional y sensorial de lejos ni de cerca. Esto se justifica porque ambas pruebas miden funcionalidades distintas del sistema visual.
4. Con el método de prevalencia, el OI resulta por lo general más prevalente que el OD para todas las frecuencias y contrastes.
5. Con el nuevo método, la mayoría de las personas presentan prevalencia muy poco marcada puesto que los valores de prevalencia son similares para ambos ojos.
6. Existe una concordancia entre los datos de prevalencia en frecuencia espacial y contraste con el test de dominancia sensorial de lejos.
7. No hay coincidencia entre el método de dominancia sensorial (con lente positiva) y la prevalencia con el nuevo método en condiciones de bajo contraste.
8. No existe coincidencia entre los resultados de dominancia direccional y prevalencia con el nuevo método.
9. Los tres métodos analizados miden funcionalidades visuales distintas.
10. Con el nuevo método, las componentes frecuenciales y de contraste pueden mejorar el diagnóstico de la dominancia en función de la tarea. Sin embargo, se requieren medidas adicionales para delimitar la competencia frecuencial y de contraste de la tarea y si existen otras relaciones.

7. ANEXOS

A. anexo

Documentos

- A.1 Informe favorable del Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos
- A.2 Hoja informativa para participantes
- A.3 Documento de consentimiento informado
- A.4 Cuestionario de síntomas y antecedentes
- A.5 Ficha de registro de resultados

A.1. Informe del Comité de Ética



**Informe Dictamen Favorable
Proyecto Investigación Biomédica**

C.P. - C.I. 13/407-E

29 de enero de 2014

CEIC Hospital Clínico San Carlos

INFORME DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA

Dra. Mar García Arenillas
Secretaria del CEIC Hospital Clínico San Carlos

CERTIFICA

Que la Tesis Doctoral titulada **"DETERMINACION DE LA DOMINANCIA OCULAR MEDIANTE UN MÉTODO PSICOFISICO DE MEDIDA: APLICACIONES CLÍNICAS"** con código interno nº 13/407-E del que es Investigador Principal **D. Angel Luis Gutierrez Hernández**. Profesor colaborador de la Facultad de Óptica y Optometría de la Universidad Complutense de Madrid, ha sido estudiado por este Comité, no habiéndose realizado objeción alguna al mismo.

Es por ello que el Comité **informa favorablemente** sobre la realización de dicha Tesis.

Lo que firmo en Madrid, a 29 de enero de 2014

Dra. Mar García Arenillas
Secretaria del CEIC Hospital Clínico San Carlos

A.2. Hoja informativa para participantes



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DETERMINACIÓN DE LA DOMINANCIA OCULAR MEDIANTE UN MÉTODO PSICOFÍSICO DE MEDIDA: APLICACIONES CLÍNICAS

INVESTIGADOR RESPONSABLE: Ángel Luís Gutiérrez Hernández

Prof. colaborador Facultad de Óptica y Optometría

Dep. Óptica II (Optometría y Visión)

e-mail: aguther@ucm.es

EVALUACIÓN CLÍNICA DE LA FUNCIÓN VISUAL EN SUJETOS ADULTOS

El objetivo de este estudio es evaluar diferentes aspectos de la función visual en personas adultas. En su desarrollo se cumplirán las normas de Buena Práctica Clínica (BPC) en investigación respetando la Declaración de Helsinki.

Ninguna de las pruebas es invasiva ni requiere la aplicación de ningún fármaco.

Los datos recabados serán los resultados de las siguientes pruebas optométricas:

-Refracción ocular: Medida y corrección del error refractivo de un sujeto mediante la colocación de lentes compensadoras. (Graduación de la vista).

El procedimiento consiste en la colocación de distintas lentes oftálmicas delante del ojo del sujeto buscando la combinación que proporcione la mejor visión de un test situado a cierta distancia.

-Agudeza visual: Medida de la capacidad de un sujeto para discriminar los detalles de un objeto a una distancia determinada.

El procedimiento consiste en la identificación por parte del sujeto de las letras de un test situado a cierta distancia.

-Evaluación de la visión binocular: Medida de la capacidad de un sujeto para realizar tareas visuales utilizando los dos ojos de forma conjunta y coordinada.

El procedimiento consta de dos partes para evaluar:

-El alineamiento ocular: Valorar la posición de ambos ojos mientras fijan un estímulo situado a cierta distancia. Para ello el sujeto sólo debe mirar el estímulo mientras el examinador tapa un ojo y otro alternativamente.

-La capacidad de vergencias: Valorar la capacidad del sujeto para realizar movimientos oculares de convergencia y divergencia. Para ello el sujeto debe mirar un estímulo situado a cierta distancia mientras el examinador coloca delante de sus ojos lentes prismáticas y avisar cuando vea doble.

-Evaluación de la capacidad de acomodación: Medida de la capacidad de un sujeto para realizar cambios de enfoque manteniendo la visión de un objeto nítida. Para realizar esta prueba el sujeto debe mirar un texto situado a una distancia cercana mientras el examinador coloca lentes buscando la de mayor potencia con la que el paciente sea capaz de seguir leyendo el texto.

-Determinación de la dominancia ocular mediante diferentes métodos:

Identificar en un sujeto el ojo que presenta cierta superioridad sobre el otro en algunas tareas perceptuales o motoras.

El procedimiento consta de tres pruebas de dominancia ocular:

- El sujeto debe mirar con los dos ojos abiertos un objeto situado a cierta distancia mientras el examinador determina el ojo con el que está fijándolo.

- El sujeto debe mirar con los dos ojos abiertos las letras de un test situado a cierta distancia mientras el examinador coloca una lente delante de un ojo y otro alternativamente para averiguar la situación que proporciona mejor visión.

- El sujeto debe colocarse frente a una pantalla de ordenador que muestra una imagen a cada ojo y debe decir al examinador qué imagen es la que percibe de las dos.

Si durante la realización de las pruebas alguno de los resultados resultara excluyente para participar en el estudio se le hará saber y sus datos no serán incluidos en el mismo. En ese caso los documentos que incluyan alguno de sus datos serán destruidos.

El tiempo estimado para la realización de este examen visual es de una hora.

El proyecto cuenta con el informe favorable del Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos.

Su participación en este estudio es voluntaria, así como la posibilidad de retirarse del mismo en cualquier momento. Si deseara revocar su consentimiento podrá hacerlo en cualquier momento poniéndose en contacto con el investigador responsable a través del correo electrónico facilitado en este documento. En ese caso sus datos serán excluidos del estudio y se destruirán los documentos que los contengan.

Por su participación en este estudio no obtendrá ningún beneficio.

Los datos clínicos obtenidos serán utilizados únicamente con fines de investigación según la LOPD 15/1999 de protección de datos de carácter personal.

Únicamente el investigador responsable tendrá acceso a sus datos de carácter personal. Todos sus datos quedarán asignados a un número de paciente para el tratamiento de los mismos.

El investigador principal le agradece su participación y queda a su disposición para aclarar cualquier duda que le pudiera surgir en relación con este estudio y su participación en el mismo.

A.3. Documento de consentimiento informado



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DETERMINACIÓN DE LA DOMINANCIA OCULAR MEDIANTE UN MÉTODO PSIOCOFÍSICO DE MEDIDA: APLICACIONES CLÍNICAS

INVESTIGADOR RESPONSABLE: ÁNGEL LUÍS GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ

EVALUACIÓN CLÍNICA DE LA FUNCIÓN VISUAL EN SUJETOS ADULTOS

CONSENTIMIENTO INFORMADO

El objetivo de este estudio es evaluar diferentes aspectos de la función visual en personas adultas. En su desarrollo se cumplirán las normas de Buena Práctica Clínica (BPC) en investigación respetando la Declaración de Helsinki.

Su participación en este estudio es voluntaria, así como la posibilidad de retirarse del mismo en cualquier momento. Los datos clínicos obtenidos serán utilizados únicamente con fines de investigación según la LOPD 15/1999 de protección de datos de carácter personal.

Yo..... DNI.....

Habiendo recibido suficiente información sobre el estudio, comprendo que mi participación es voluntaria y doy libremente mi conformidad para participar en la investigación. Para ello firmo el presente documento en,
Madrid a..... de..... de 20.....

Firma

A.4. Cuestionario síntomas y antecedentes

CUESTIONARIO SÍNTOMAS Y ANTECEDENTES VISUALES

Por favor marque con una X los cuadrados correspondientes a los síntomas y antecedentes visuales que se correspondan con su situación personal.

SINTOMAS:

- Borrosidad de lejos
 - Borrosidad de cerca
 - Fatiga visual al realizar tareas de cerca
 - Borrosidad al pasar lejos/cerca o viceversa
 - Irritación ocular
 - Dolor de cabeza al realizar tareas de cerca
 - Visión doble ocasional
 - Otros síntomas visuales – Explique brevemente _____
-
-
-

ANTECEDENTES:

- Ojo vago
- Estrabismo
- Ojo vago
- Cirugía ocular: Refractiva Estrabismo Otra (indicar) _____
- Traumatismos oculares
- Patología ocular – Indique diagnóstico _____
- Otros (indicar): _____

HISTORIA MÉDICA:

- Diabetes
- Hipertensión
- Problemas de tiroides
- Migrañas
- Otros (indicar): _____

CORRECCIÓN ÓPTICA ACTUAL:

- Gafas
- Lentes de contacto
- Ninguna

A.5. Ficha de registro de resultados

| | | | |
|---|---|---|-----|
| Dominancia Ocular | | | |
| NOMBRE Y APELLIDOS _____ | | | |
| EDAD _____ TELÉFONO DE CONTACTO _____ | | | |
| DIP: <input style="width: 150px;" type="text"/> | | | |
| COMPENSACIÓN ACTUAL: | | | |
| OD | | AV: | AO: |
| OI | | AV: | |
| AUTORREFRACTÓMETRO: | | | |
| OD | | ØPupila | |
| OI | | ØPupila | |
| REFRACCIÓN SUBJETIVA: | | | |
| OD | | AV: | AO: |
| OI | | AV: | |
| AMPLITUD DE ACOMODACIÓN: (lente negativa) | | | |
| OD | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| OI | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| VERGENCIAS FUSIONALES: | | | |
| LEJOS | BI: <input style="width: 40px;" type="text"/> | BE: <input style="width: 40px;" type="text"/> | |
| CERCA | BI: <input style="width: 40px;" type="text"/> | BE: <input style="width: 40px;" type="text"/> | |
| FORIAS HORIZONTALES: | | | |
| LEJOS | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| CERCA | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| DOMINANCIA SENSORIAL: (lente positiva) | | | |
| LEJOS | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| CERCA | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| DOMINANCIA DIRECCIONAL: (LEJOS tarjeta/ CERCA espejo) | | | |
| LEJOS | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| CERCA | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| AGUDEZA ESTEREOSCÓPICA: | | | |
| TEST: | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| VALOR: | <input style="width: 150px;" type="text"/> | | |
| MOTILIDAD | | | |
| <input style="width: 150px;" type="text"/> | | | |

B. anexo

Bit stealing¹

¹«Bit stealing» puede traducirse como «Sustracción o robo de bits».

Una imagen digital es equivalente a una matriz bidimensional. Cada valor dentro de la matriz representa una unidad espacial llamada pixel. El valor de cada pixel se refiere al color de ese pixel. En sistemas de 8 bit los valores posibles para cada pixel están en la gama de 0 a 255.

Si medimos la luminancia generada por cada nivel digital para cada componente de color se obtienen diferentes curvas. Estas curvas pueden representarse mediante expresiones exponenciales (Berns 1996, Gibson y Fairchild 2000, Kwak y MacDonald 2000, Sharma 2002) caracterizadas por el valor γ .

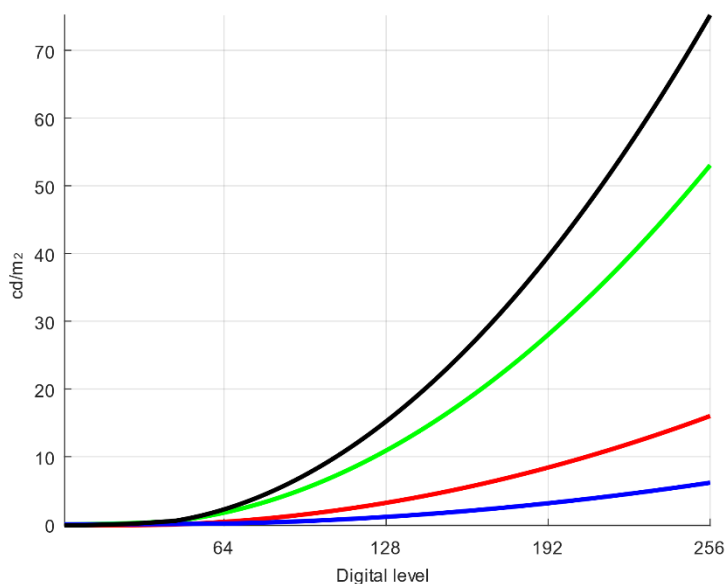


Figura B.1.: *Luminancia generada por cada valor digital para cada canal y la escala de grises. Rojo para el subpixel rojo, verde para el subpixel verde, azul para el subpixel azul y negro para los tres subpíxeles al mismo tiempo.*

En la figura B.1 se aprecia fácilmente que el nivel de luminancia máximo para cada canal de color se diferencia enormemente. La combinación lineal de los tres canales determina la luminancia de canal del blanco.

Los colores de una imagen digital se determinan por tripletes de valores digitales. En particular, los tripletes del mismo valor digital generan colores grises. Así, los pasos de luminancia de una escala de grises son 256 valores, siendo $[0, 0, 0]$ el nivel de luminancia del negro y $[255, 255, 255]$ el nivel de luminancia del blanco. Estos pasos son demasiado grandes para determinar el umbral de sensibilidad de contraste del sistema visual humano. Para el estudio de la visión es aconsejable usar el hardware apropiado, combinando una tarjeta gráfica de 12 bit con una pantalla de 10 bit, pero

esto resulta una solución realmente cara. Las opciones para usar hardware de 8 bit se basan en usar hardware externo, *dithering*², ruido de alta frecuencia temporal y *bit-stealing*. Un ejemplo de solución de hardware es usar un sistema que combina atenuadores y amplificadores para aumentar la resolución de luminancia de la salida de una imagen de 8 bit (Li 2003), pero con esta clase de dispositivos es completamente necesario tener información detallada del tipo de manipulación de la señal para generar una imagen de entrada correcta y no se puede usar con tablets. El *dithering*, o método de tonos medios (Ulichney 1987, Ulichney 1988) está basado en el método que usan las impresoras para generar la apariencia de gris, pero a veces aparece un patrón de ruido (Daly 2005). Otro método se basa en la alta resolución temporal alcanzada por las pantallas modernas (Allard 2008), la idea es de generar un ruido controlado de modo que el promedio de la luminancia sea la luminancia deseada.

El algoritmo propuesto por el Tyler (Tyler 1992, Tyler 1997), basado en Faubert (Faubert 1991) genera colores intermedios mediante la modificación apropiada de los tripletes grises que producirá niveles de luminancia controlados entre los 256 grises verdaderos. De este modo generamos colores grises con una saturación muy baja.

Para nuestro sistema decidimos generar seis valores intermedios de luminancia mediante este procedimiento. Primero la combinación de tarjeta gráfica y pantalla fue caracterizada usando un fotómetro CL-200 Chroma Meter³ (Konica Minolta, Tokio, Japón) tras un tiempo de 30 minutos de calentamiento de la pantalla. Se generaron 5 muestras de color a pantalla completa por cada canal en color con estos valores digitales: 0, 64, 128, 192 y 256. La luminancia de cada muestra se midió en el centro de la pantalla.

La luminancia del gris se calculó añadiendo la luminancia tricolor. A cada canal se le ajustó un polinomio de segundo grado. Las curvas de luminancia se muestran en la tabla B.1. Se ve fácilmente que entre dos niveles de grises $[i, i, i]$ y $[i+1, i+1, i+1]$ se pueden generar los siguientes grises: $[i+1, i, i]$, $[i, i+1, i]$, $[i, i, i+1]$, que corresponden a un gris rojizo, un gris verdoso y un gris azulado respectivamente. Se pueden generar otros tres colores modificando dos niveles digitales al mismo tiempo: $[i+1, i+1, i]$, $[i+1, i, i+1]$, $[i, i+1, i+1]$, que corresponde respectivamente a un gris amarillento, un gris púrpura y un gris cian.

En la tabla B.1 los 8 tripletes se clasifican por luminancia ascendente. Por ejemplo, para los tripletes grises $[192, 192, 192]$, $[193, 193, 193]$ y $[194, 194, 194]$ el aumento en la luminancia es 0.4690 y 0.4718 cd/m², usando la técnica de *bit-stealing* los tripletes contiguos son $[193, 193, 192]$, $[193, 193, 193]$ [y $193, 193, 194]$ y el aumento en la luminancia es 0.0395 y 0.0398 cd/m².

El resultado es que con este procedimiento podemos generar $255 + 6 * 254$ niveles de luminancia posibles en una escala pseudogris, que es equivalente a un sistema de profundidad de bit de 10.8. Este aumento de la resolución de luminancia es más que

²dithering equivale a interpolado

³Pg. del fotómetro CL-200 Chroma Meter: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cl-200a-chroma-meter>

Tabla B.1: *Tripletes digitales correspondientes a los colores grises que generan niveles de luminancia entre pasos de gris en orden ascendente.*

| |
|-------------------|
| $[i, i, i]$ |
| $[i, i, i+1]$ |
| $[i+1, i, i]$ |
| $[i+1, i, i+1]$ |
| $[i, i+1, i]$ |
| $[i, i+1, i+1]$ |
| $[i+1, i+1, i]$ |
| $[i+1, i+1, i+1]$ |

suficiente para alcanzar el umbral de sensibilidad de contraste. Todo este procedimiento se codificó en una función de Matlab[®] para generar imágenes pseudogrises de imágenes de luminancia.

De todos los métodos posibles para aumentar la resolución de luminancia, esta es la mejor opción para una configuración económica.

C. anexo

Mapas de prevalencia

A continuación, se presentan las imágenes de los mapas de prevalencia ocular de todos los participantes generadas mediante el nuevo dispositivo.

Su descripción y modo para facilitar su interpretación están descritos en la sección [4.2](#) en la [página 88](#)

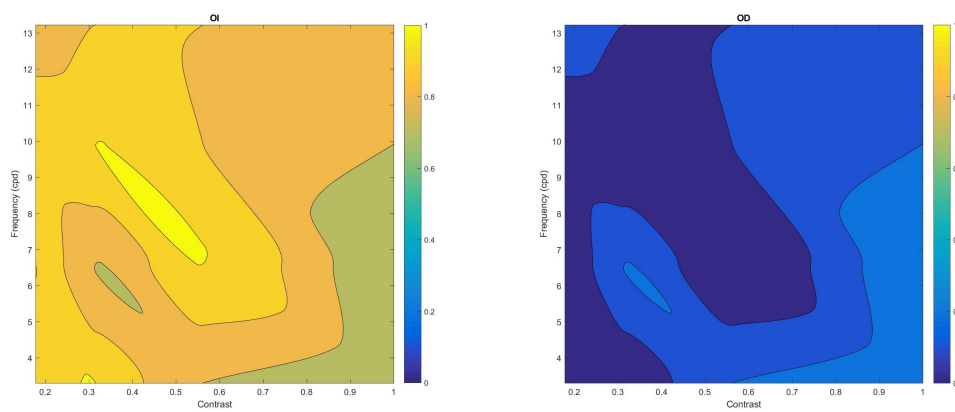


Figura C.1.: Mapa del paciente 001

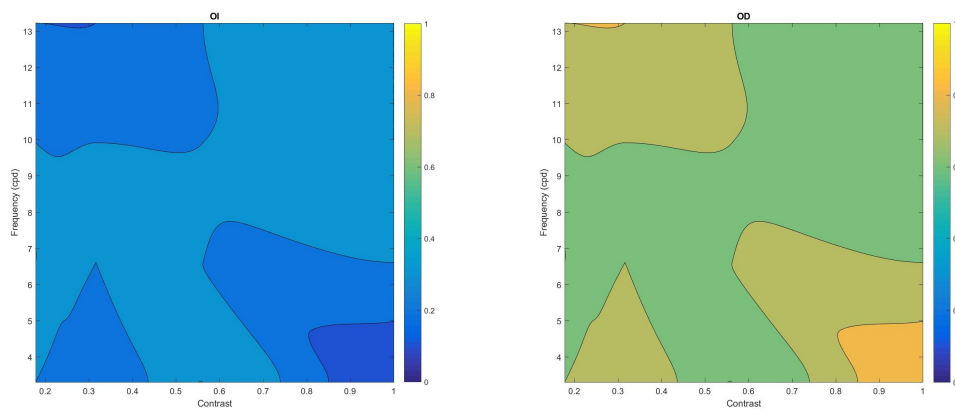


Figura C.2.: Mapa del paciente 002

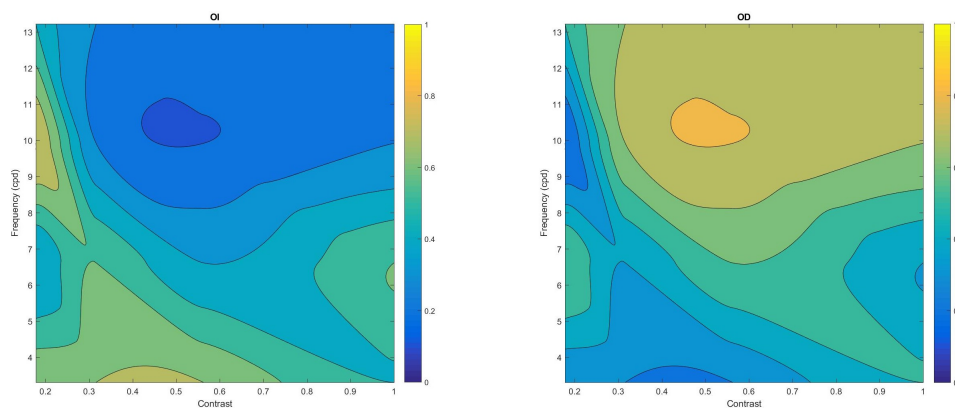


Figura C.3.: Mapa del paciente 003

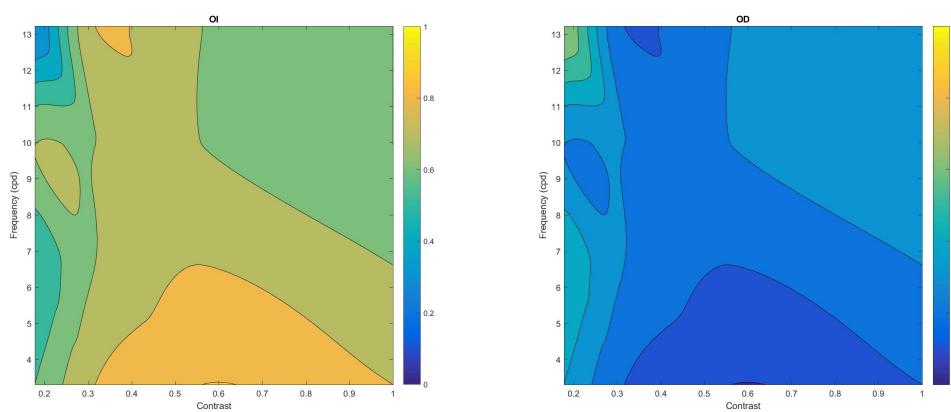


Figura C.4.: *Mapa del paciente 004*

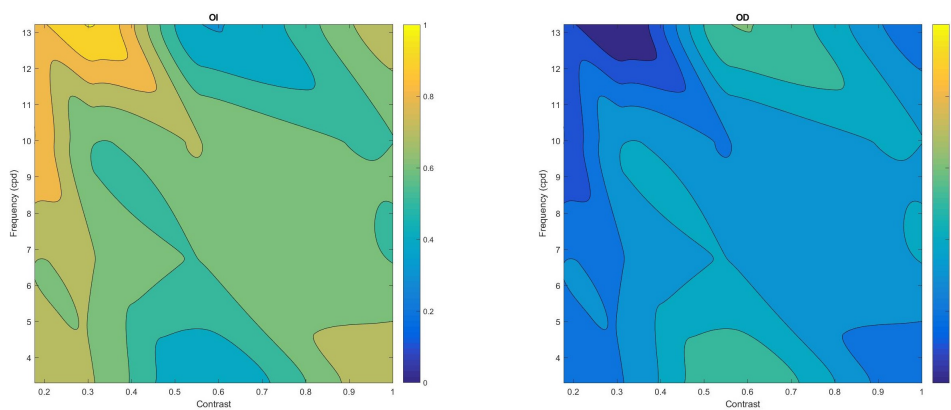


Figura C.5.: *Mapa del paciente 005*

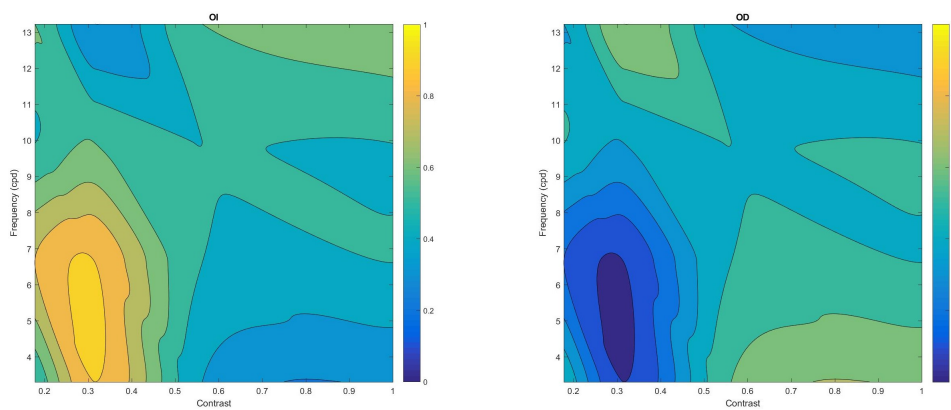


Figura C.6.: *Mapa del paciente 006*

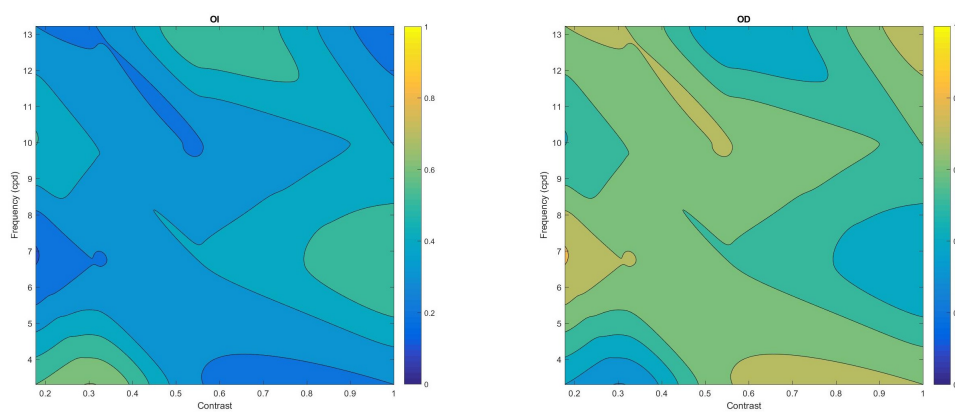


Figura C.7.: *Mapa del paciente 007*

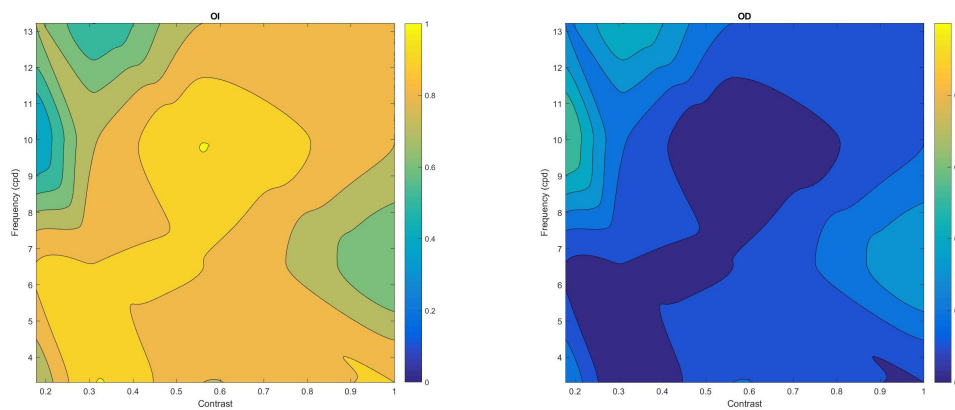


Figura C.8.: *Mapa del paciente 008*

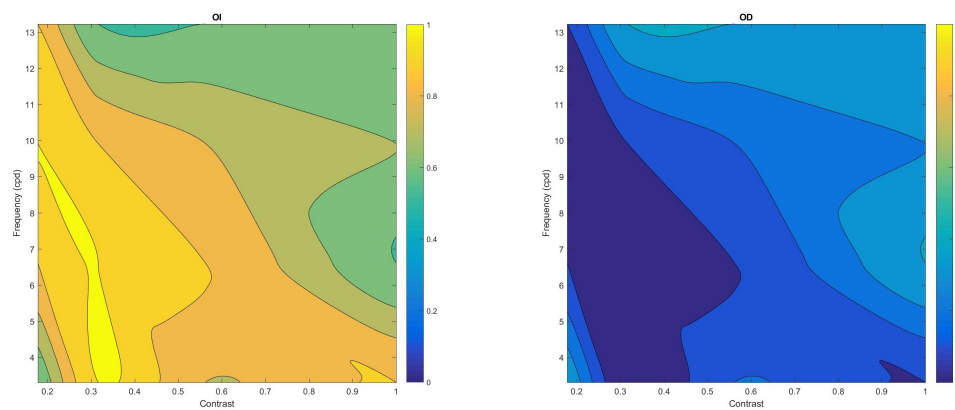


Figura C.9.: *Mapa del paciente 009*

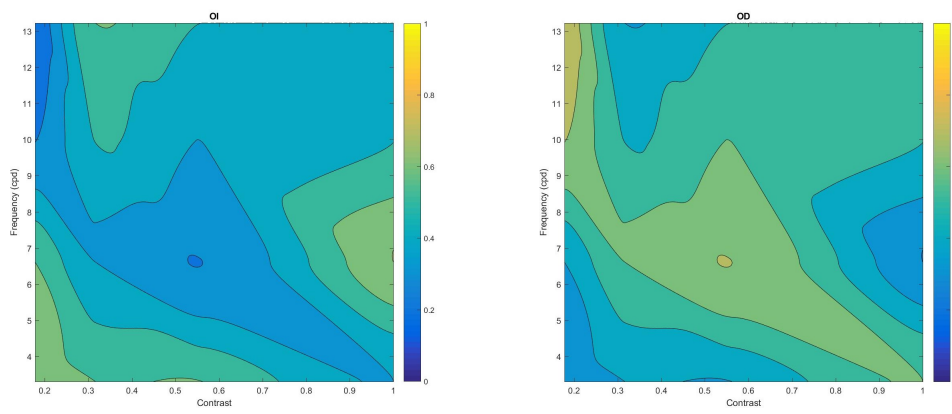


Figura C.10.: *Mapa del paciente 010*

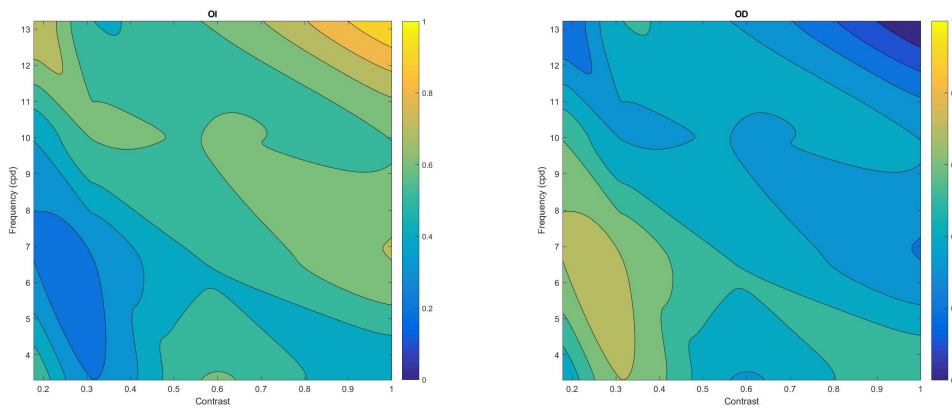


Figura C.11.: *Mapa del paciente 011*

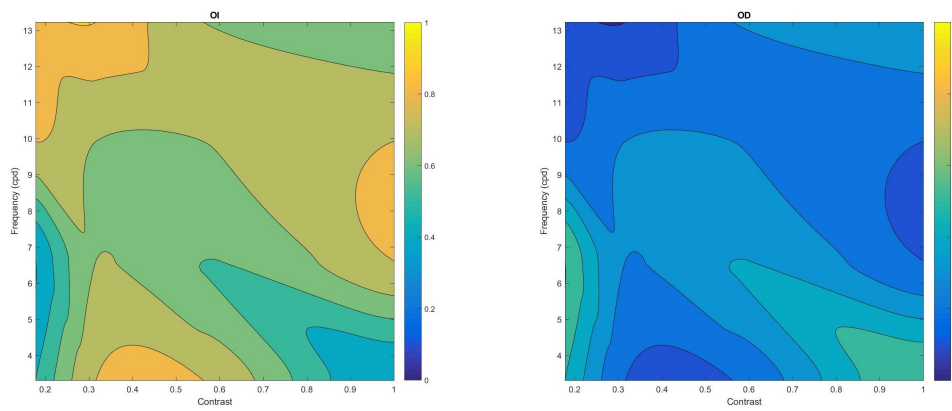


Figura C.12.: *Mapa del paciente 012*

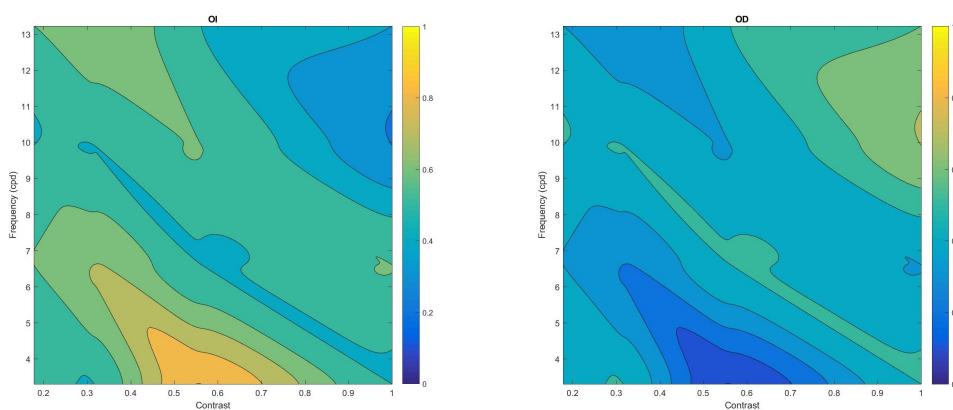


Figura C.13.: *Mapa del paciente 013*

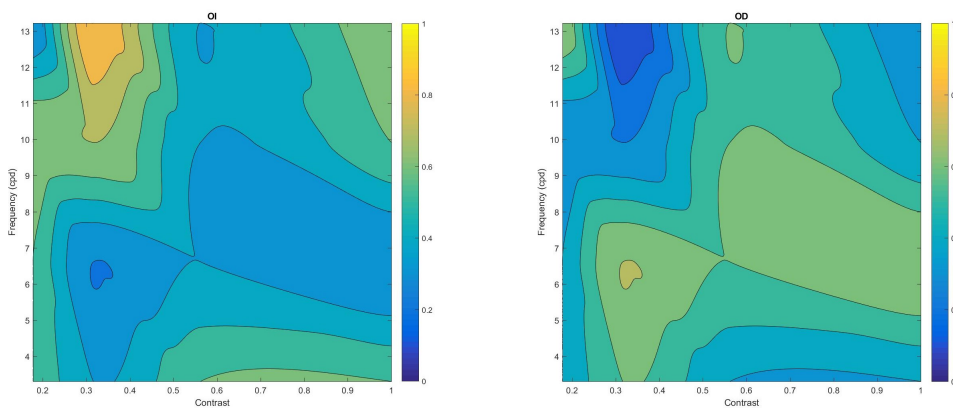


Figura C.14.: *Mapa del paciente 014*

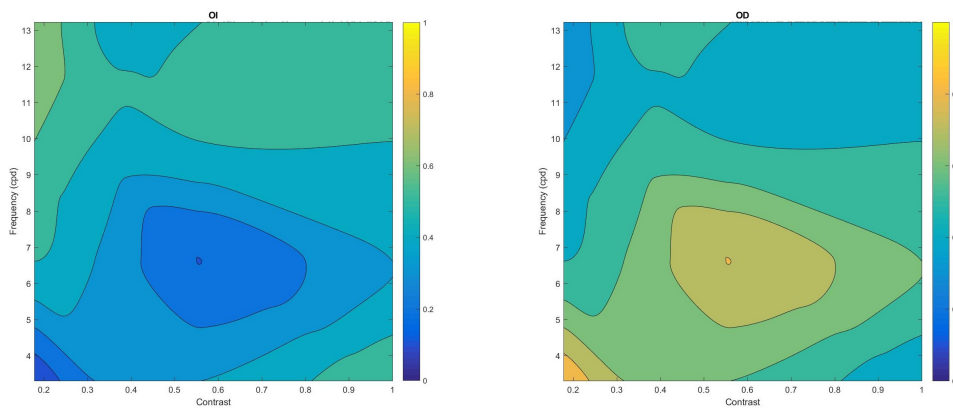


Figura C.15.: *Mapa del paciente 015*

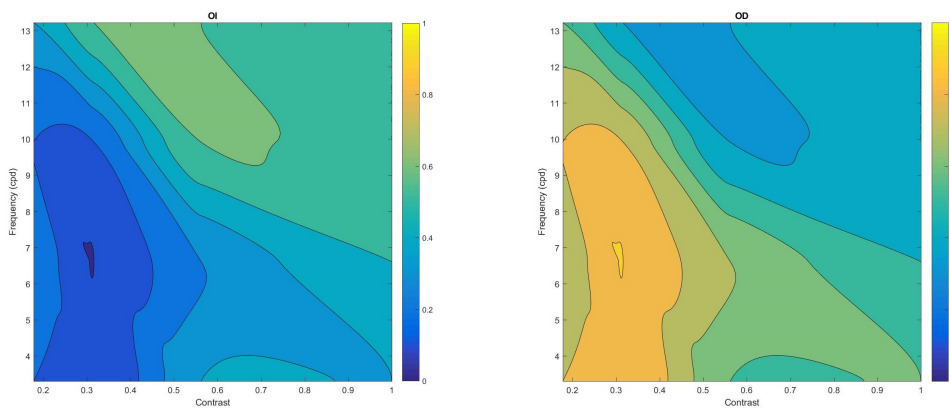


Figura C.16.: *Mapa del paciente 016*

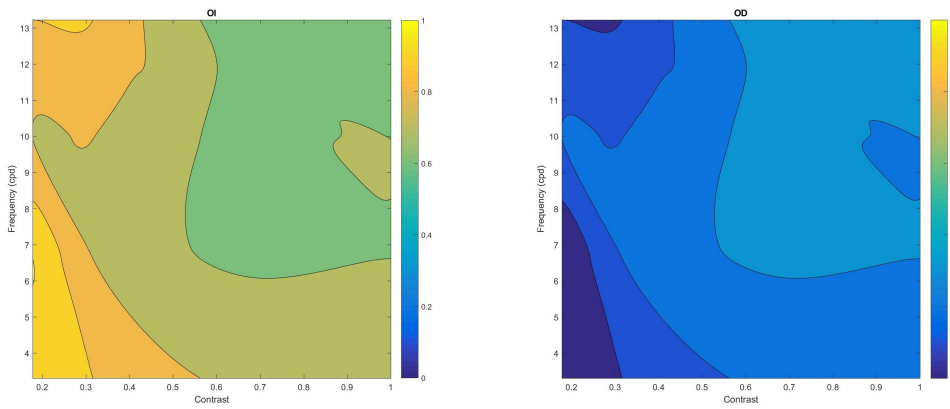


Figura C.17.: *Mapa del paciente 017*

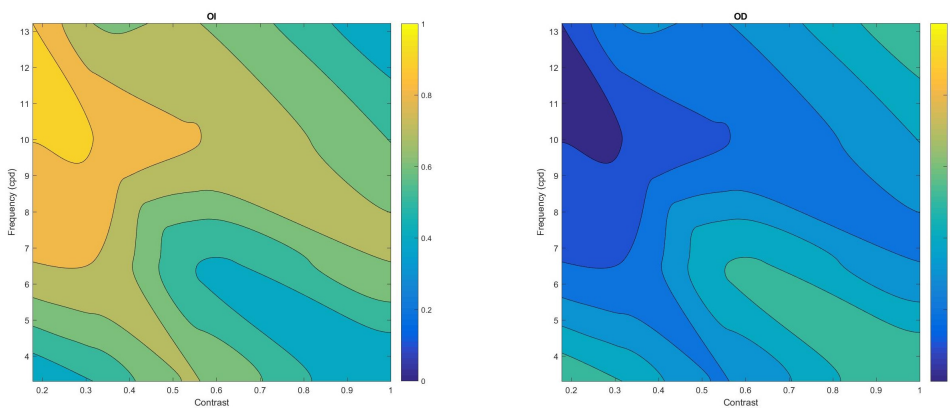


Figura C.18.: *Mapa del paciente 018*

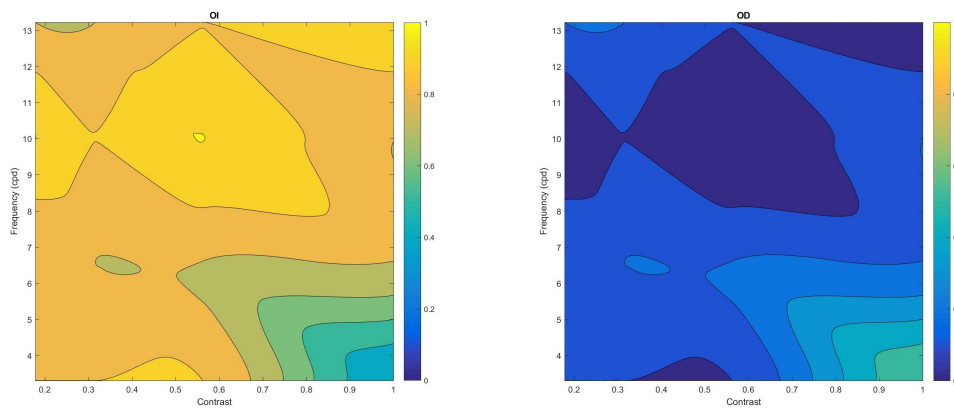


Figura C.19.: *Mapa del paciente 019*

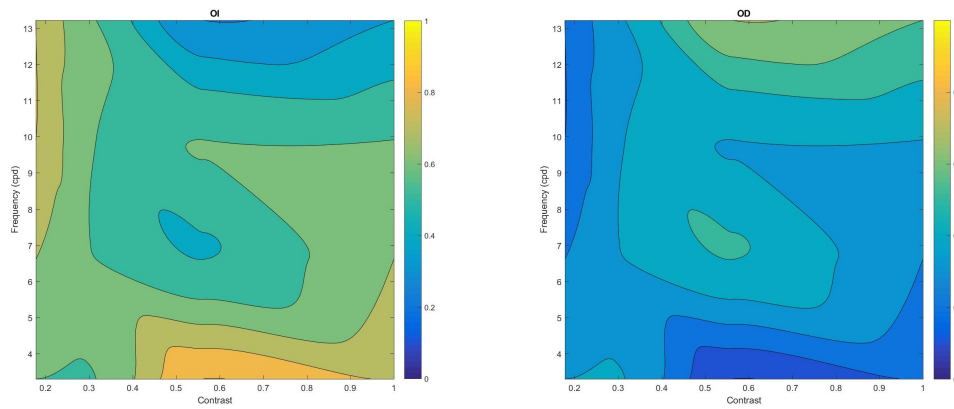


Figura C.20.: *Mapa del paciente 020*

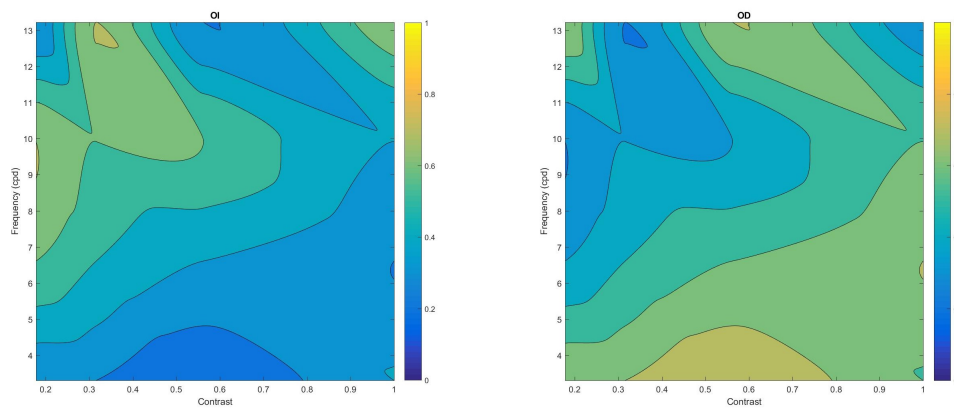


Figura C.21.: *Mapa del paciente 021*

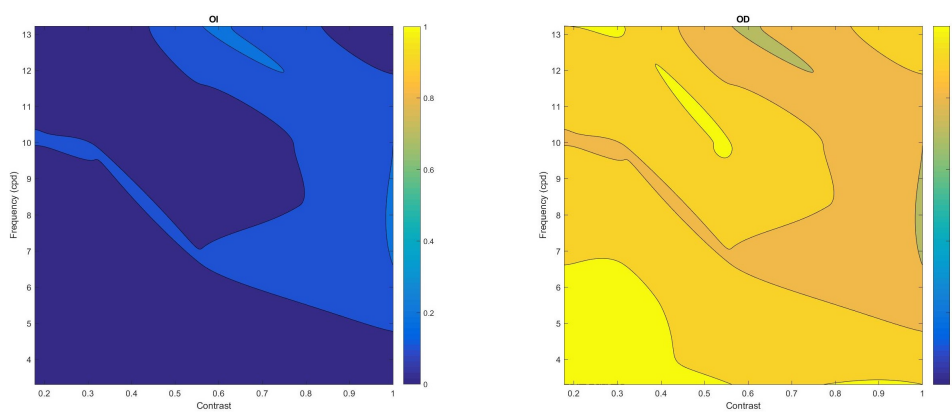


Figura C.22.: Mapa del paciente 022

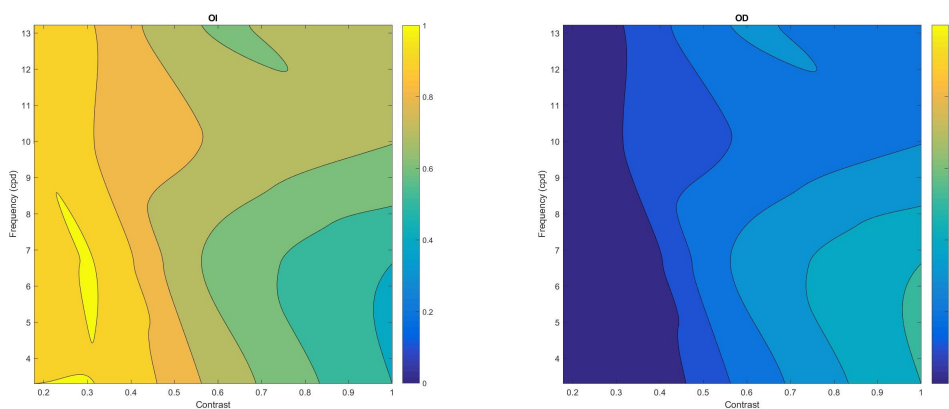


Figura C.23.: Mapa del paciente 023

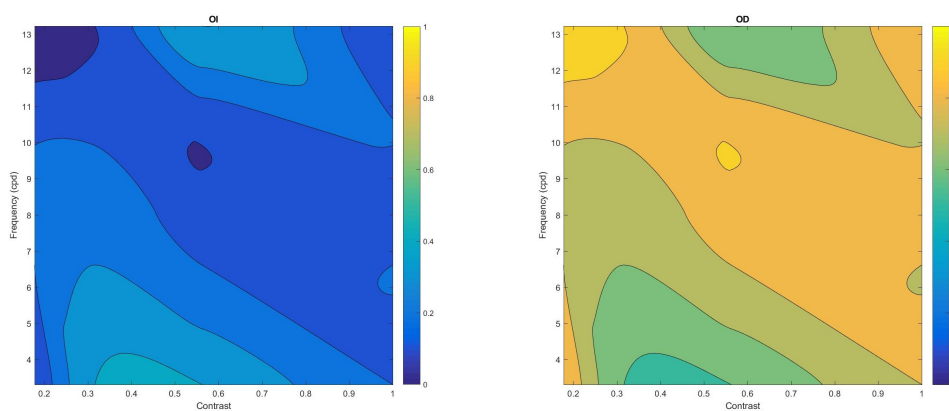


Figura C.24.: Mapa del paciente 024

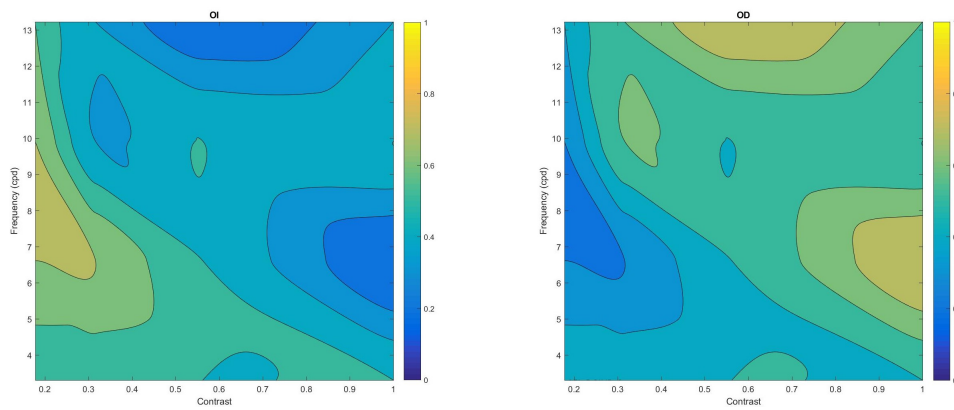


Figura C.25.: *Mapa del paciente 025*

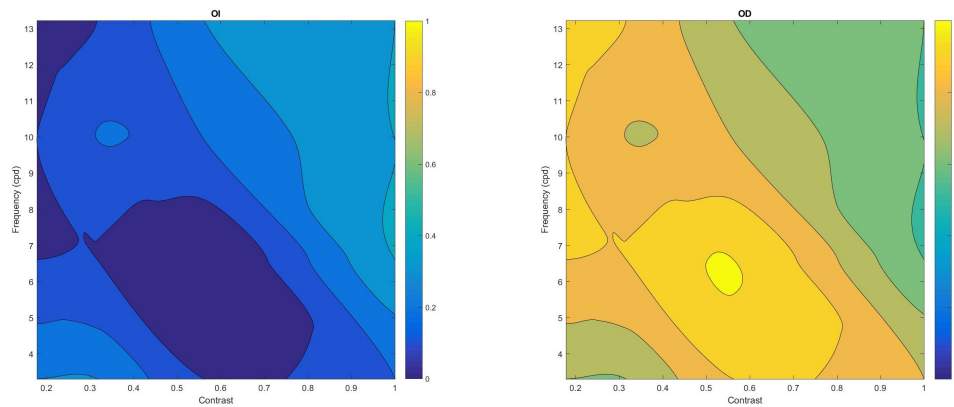


Figura C.26.: *Mapa del paciente 026*

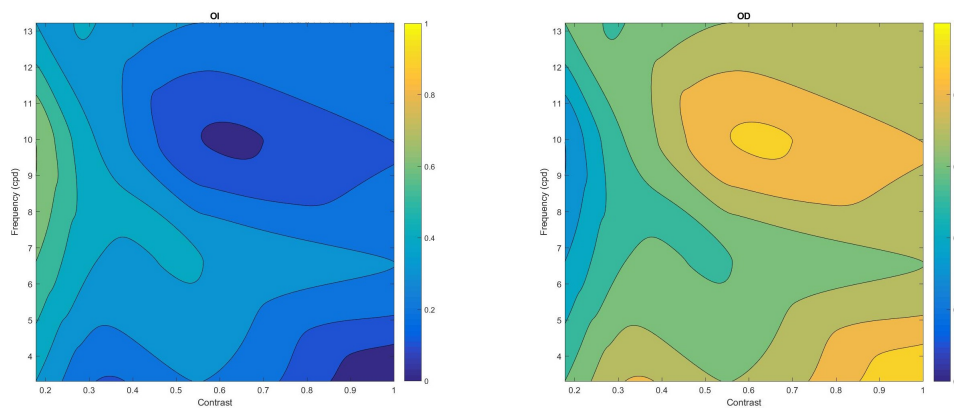


Figura C.27.: *Mapa del paciente 027*

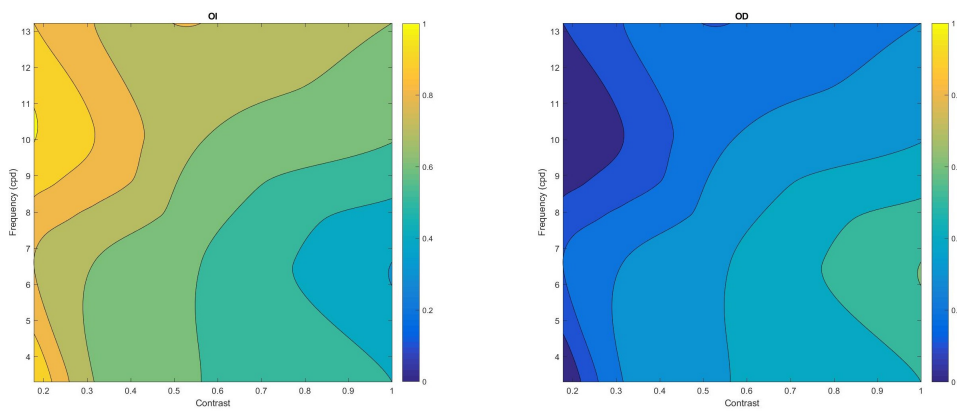


Figura C.28.: *Mapa del paciente 028*

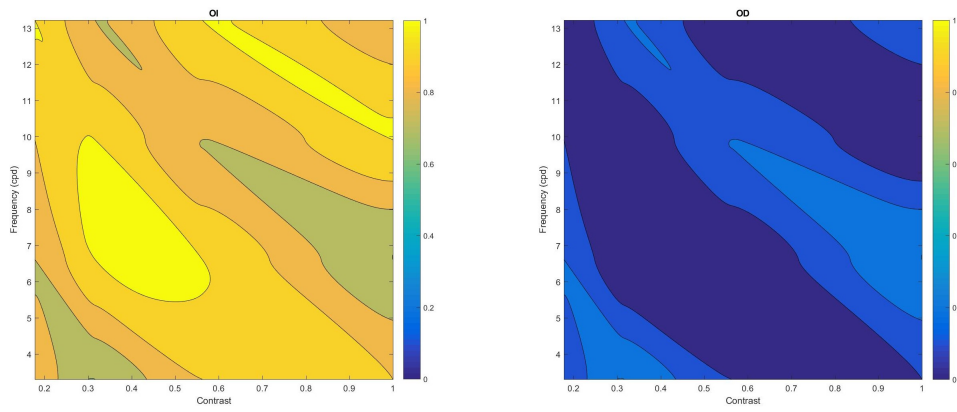


Figura C.29.: *Mapa del paciente 029*

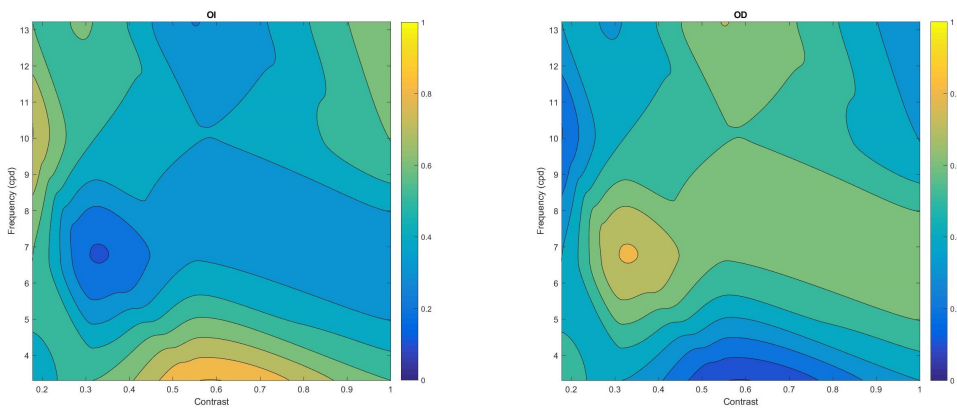


Figura C.30.: *Mapa del paciente 030*

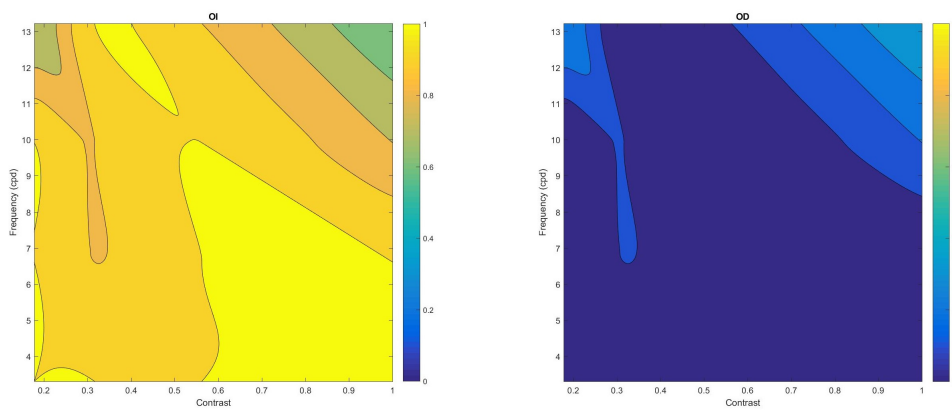


Figura C.31.: *Mapa del paciente 031*

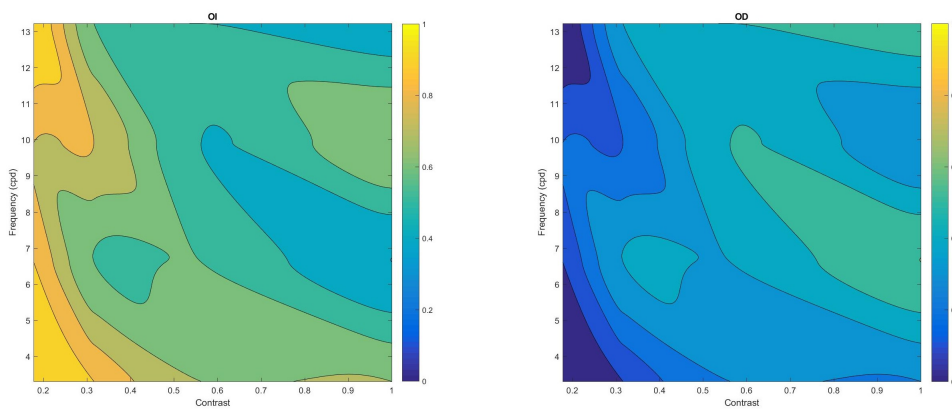


Figura C.32.: *Mapa del paciente 032*

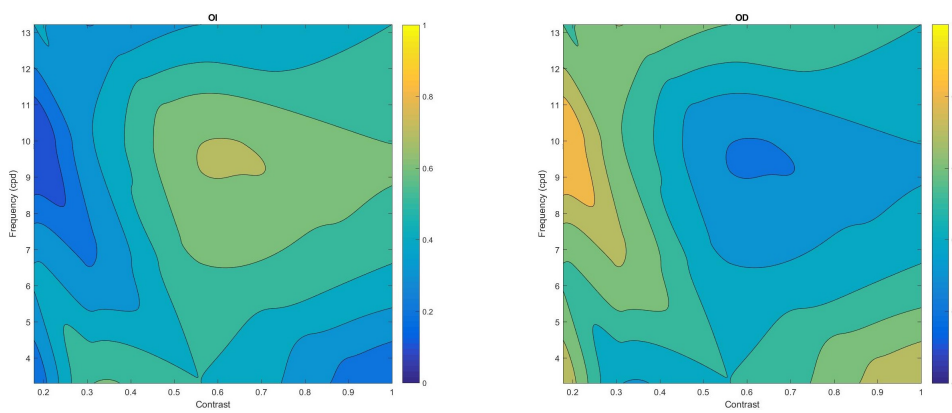


Figura C.33.: *Mapa del paciente 033*

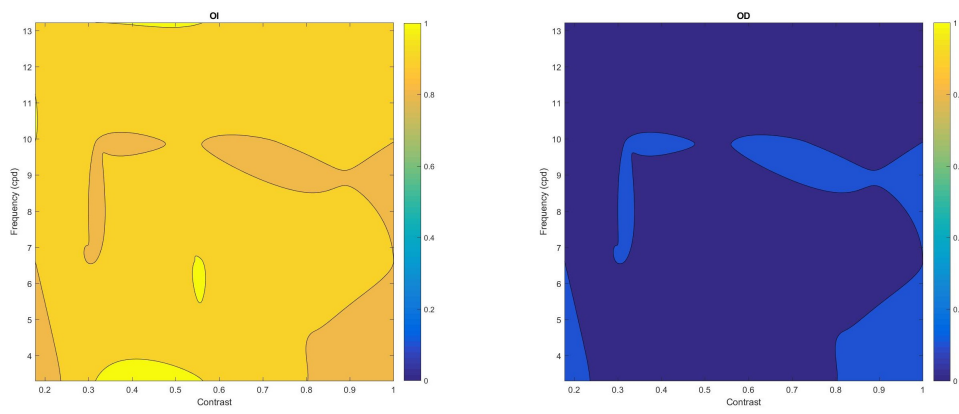


Figura C.34.: Mapa del paciente 034

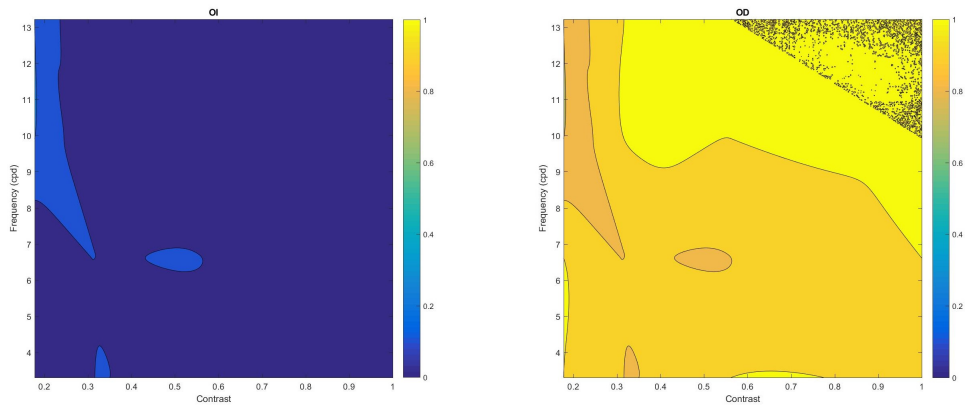


Figura C.35.: Mapa del paciente 035

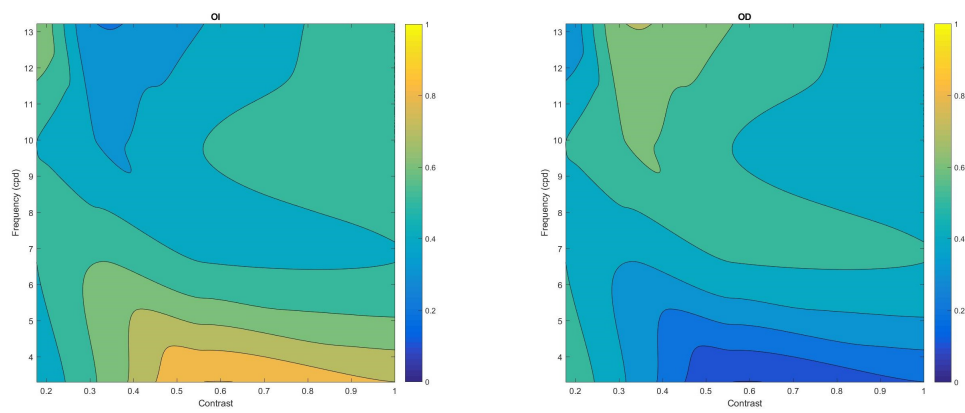


Figura C.36.: Mapa del paciente 036

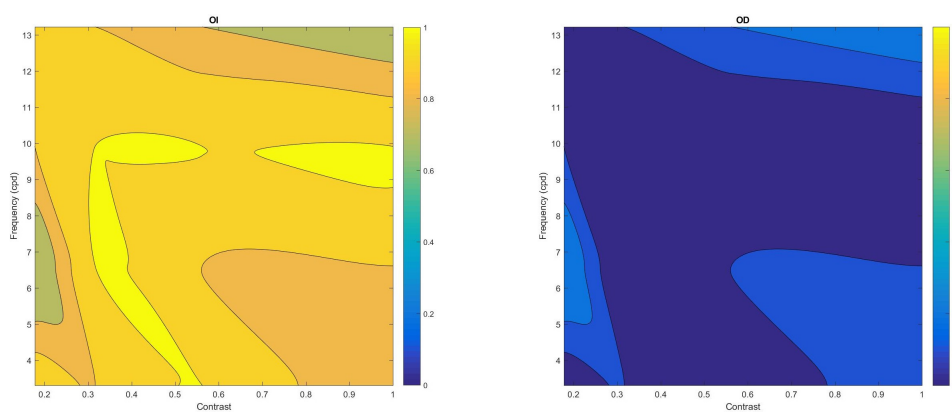


Figura C.37.: *Mapa del paciente 037*

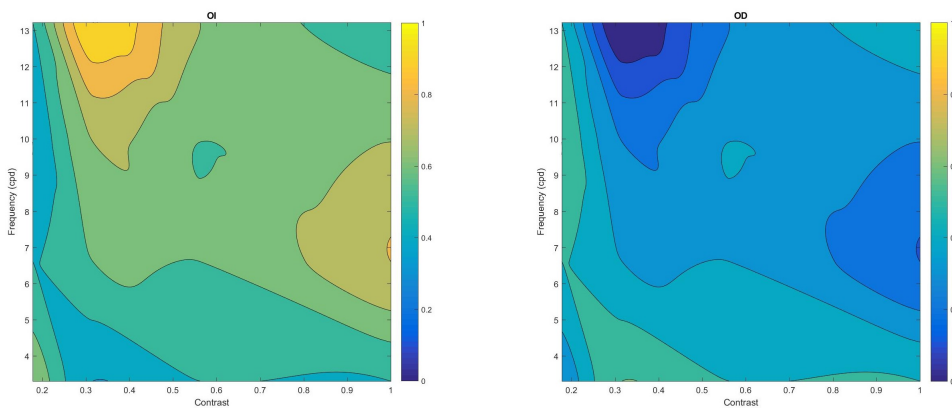


Figura C.38.: *Mapa del paciente 038*

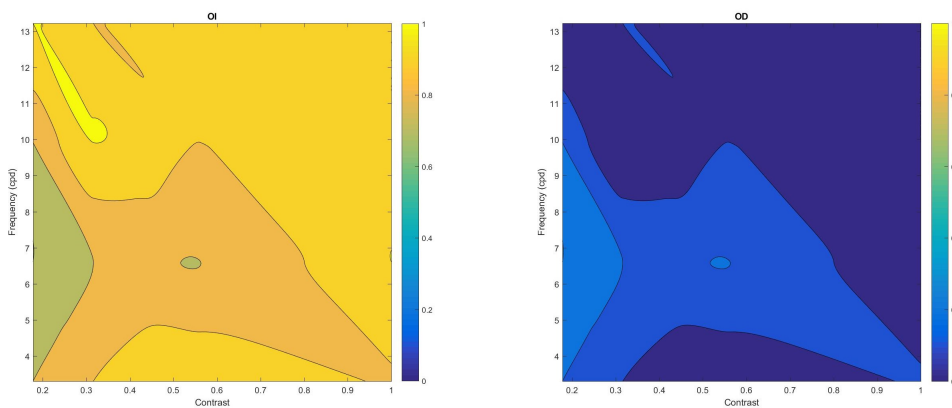


Figura C.39.: *Mapa del paciente 039*

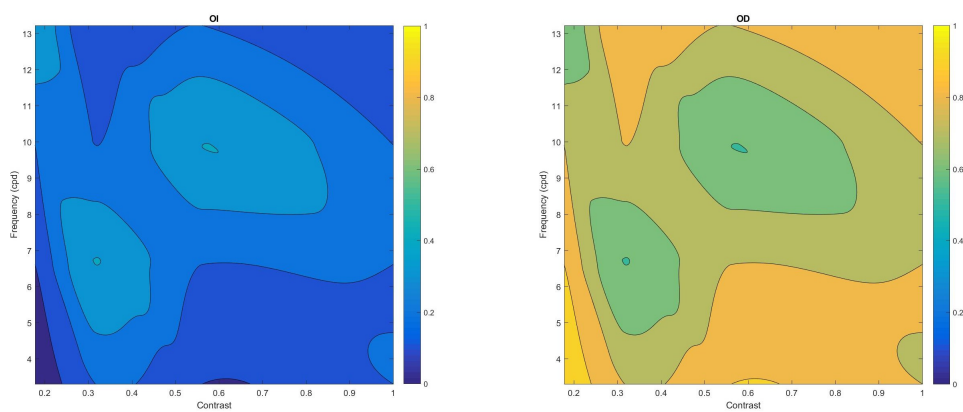


Figura C.40.: Mapa del paciente 040

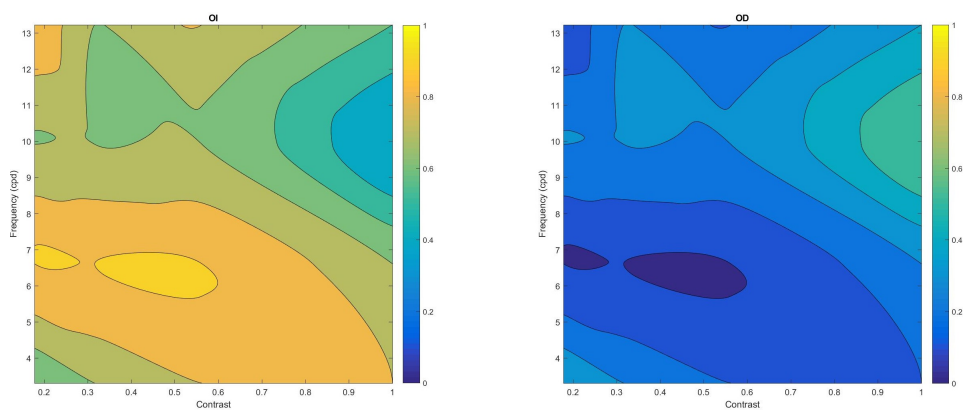


Figura C.41.: Mapa del paciente 041

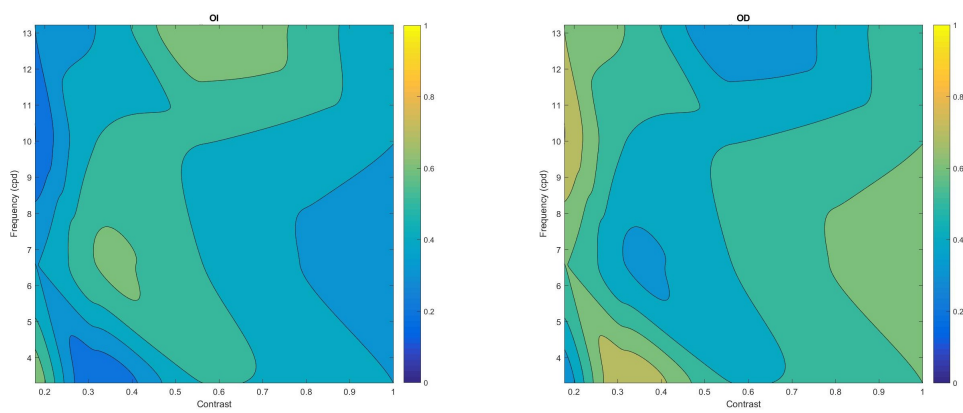


Figura C.42.: Mapa del paciente 042

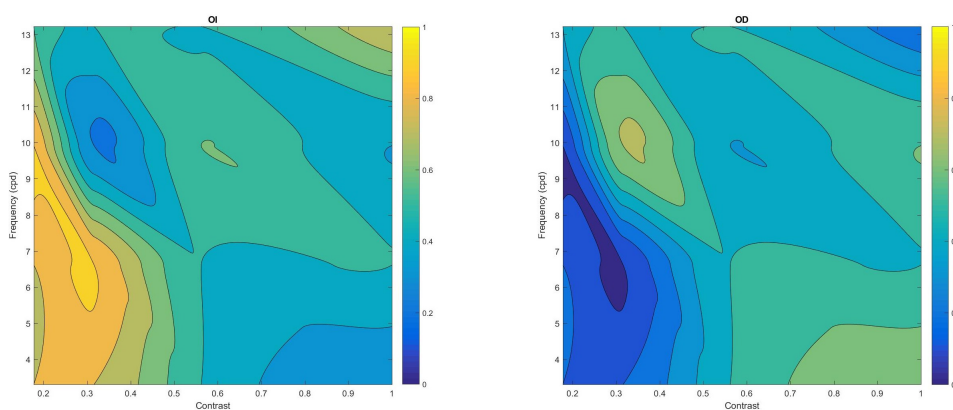


Figura C.43.: *Mapa del paciente 043*

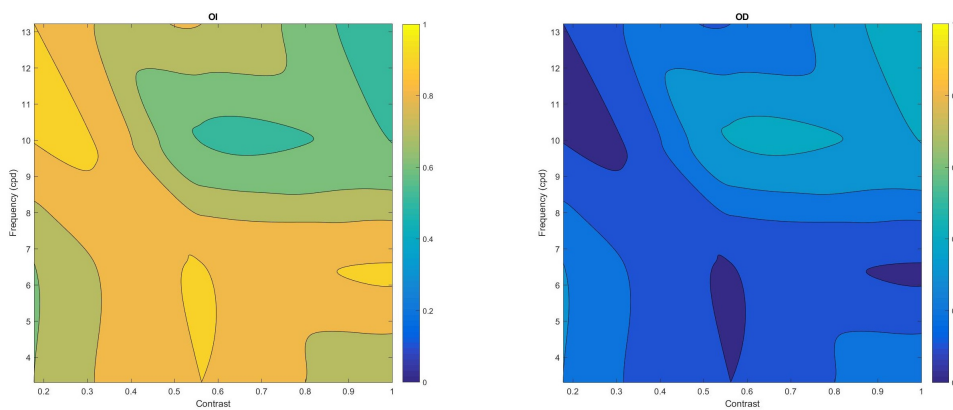


Figura C.44.: *Mapa del paciente 044*

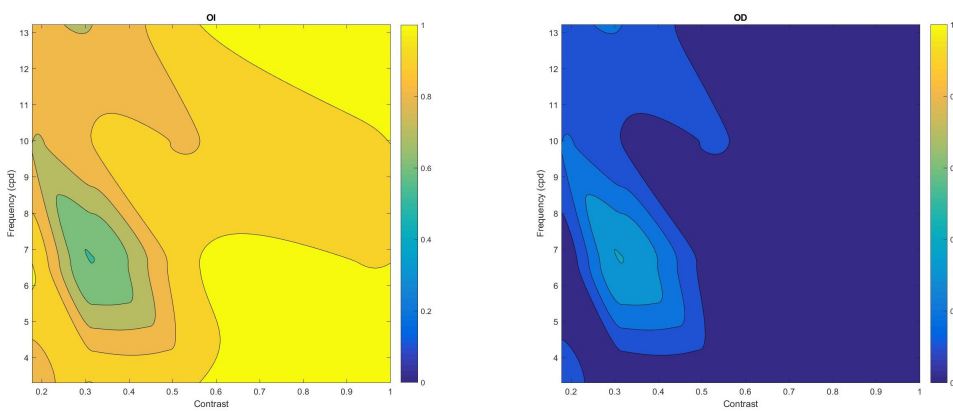


Figura C.45.: *Mapa del paciente 045*

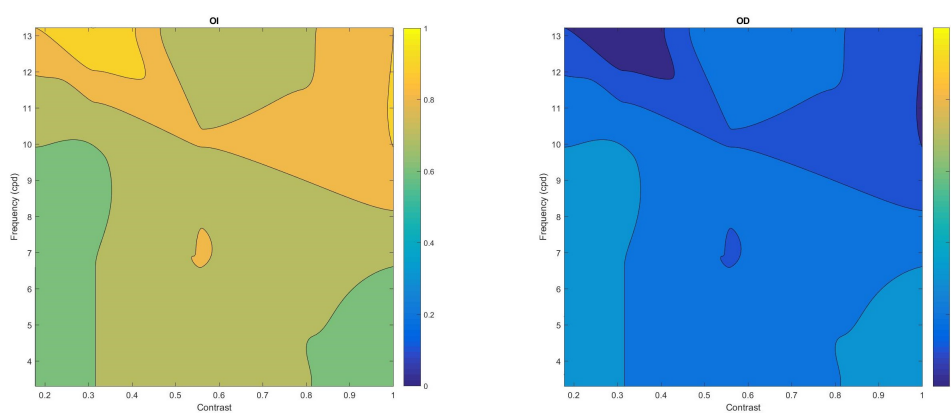


Figura C.46.: *Mapa del paciente 046*

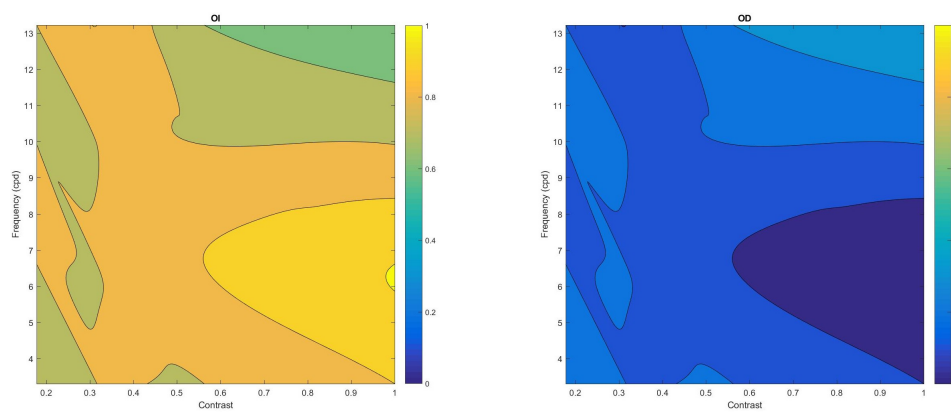


Figura C.47.: *Mapa del paciente 047*

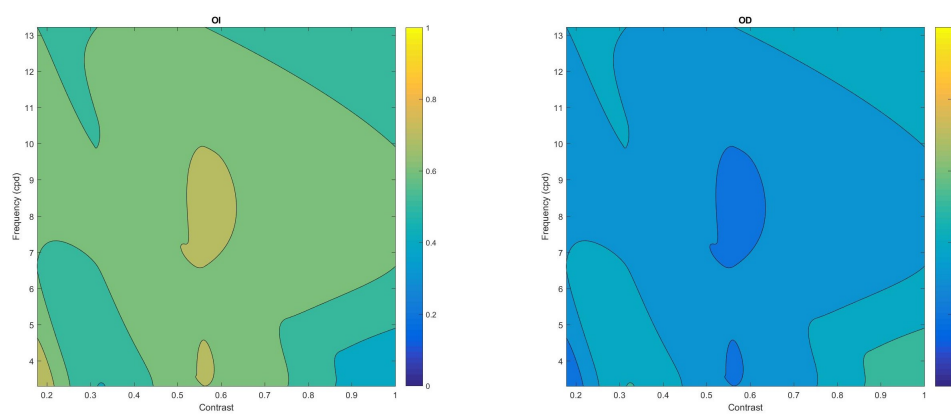


Figura C.48.: *Mapa del paciente 048*

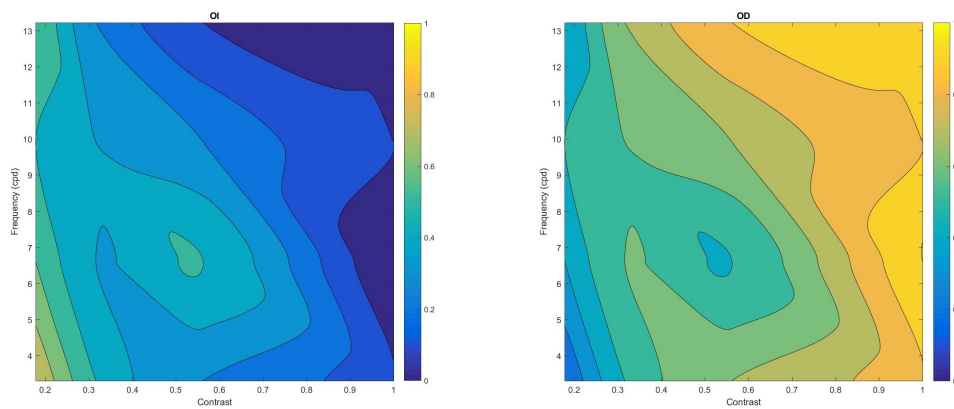


Figura C.49.: *Mapa del paciente 049*

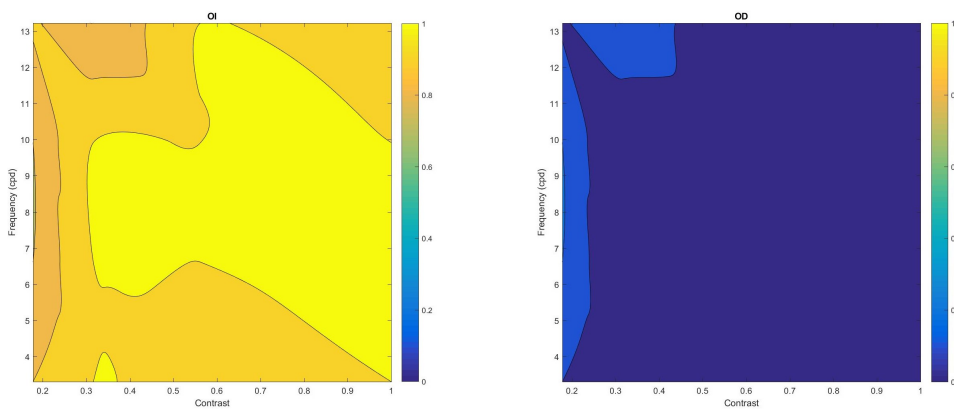


Figura C.50.: *Mapa del paciente 050*

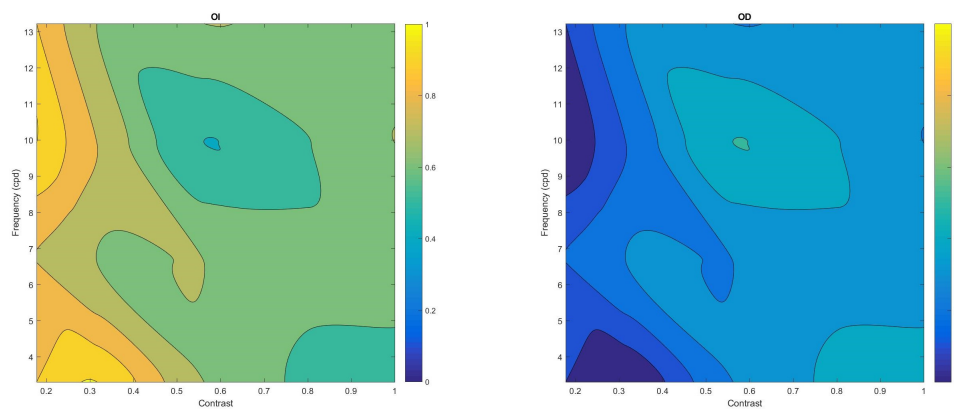


Figura C.51.: *Mapa del paciente 051*

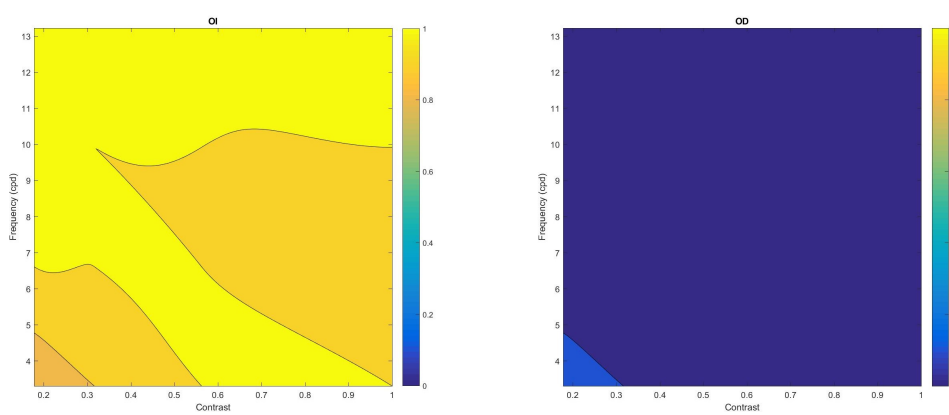


Figura C.52.: Mapa del paciente 052

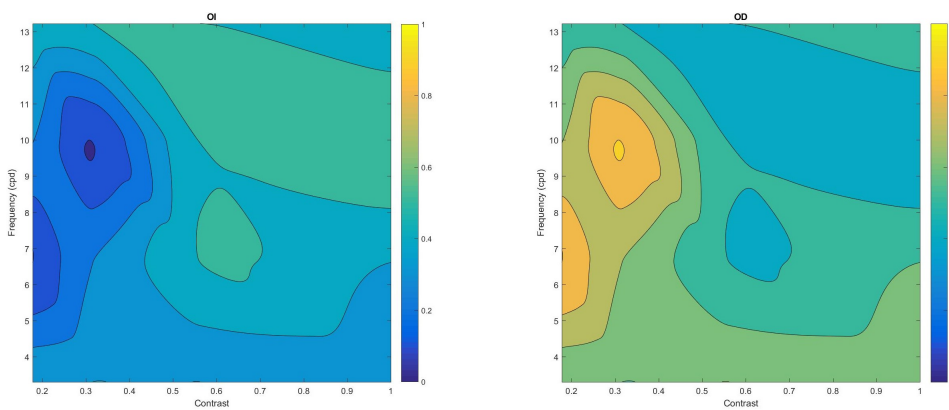


Figura C.53.: Mapa del paciente 053

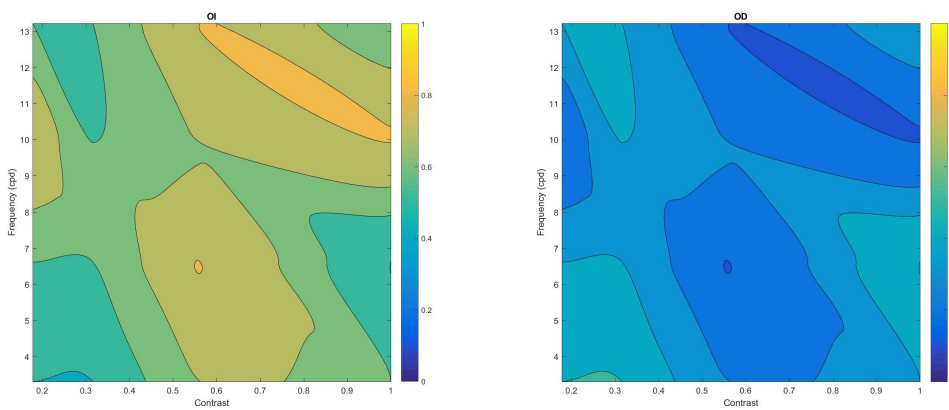


Figura C.54.: Mapa del paciente 054

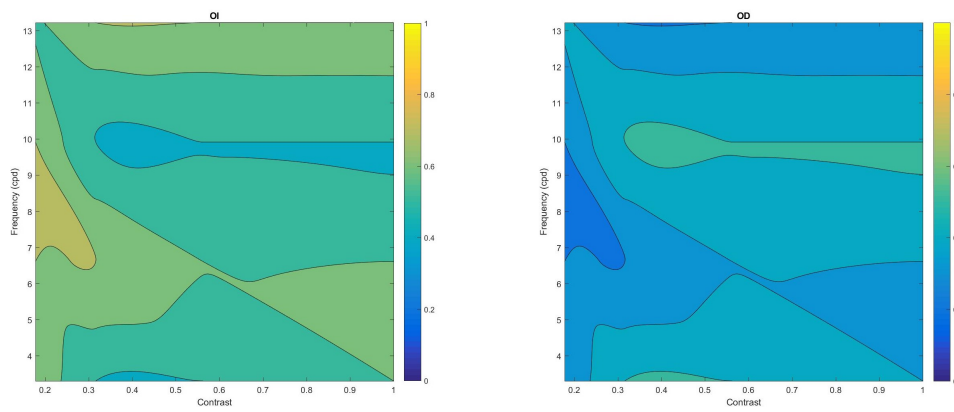


Figura C.55.: *Mapa del paciente 055*

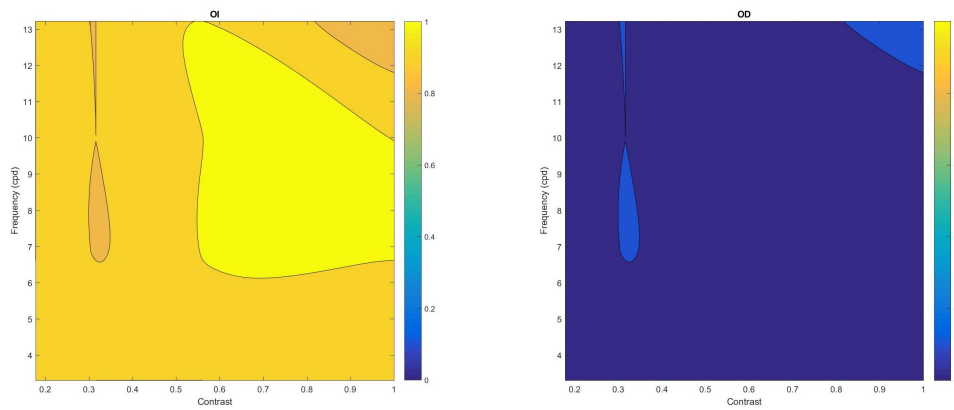


Figura C.56.: *Mapa del paciente 056*

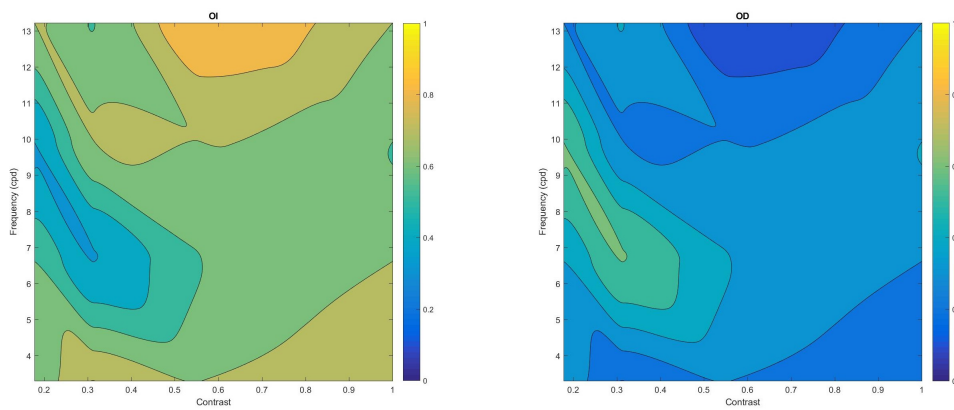


Figura C.57.: *Mapa del paciente 057*

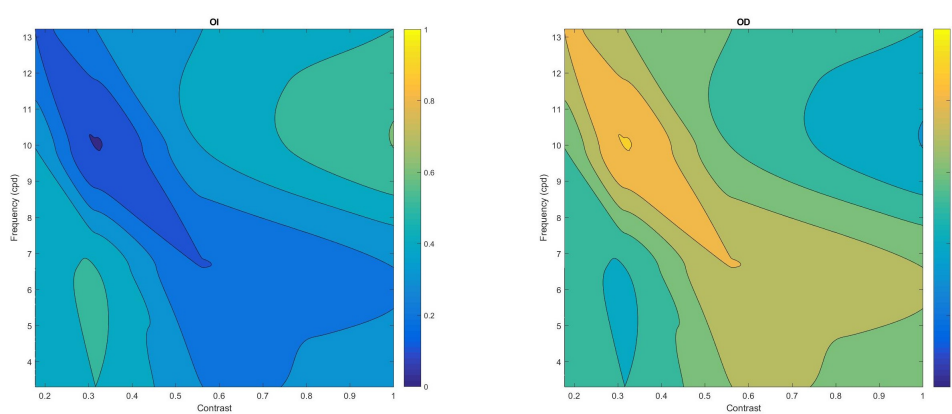


Figura C.58.: *Mapa del paciente 058*

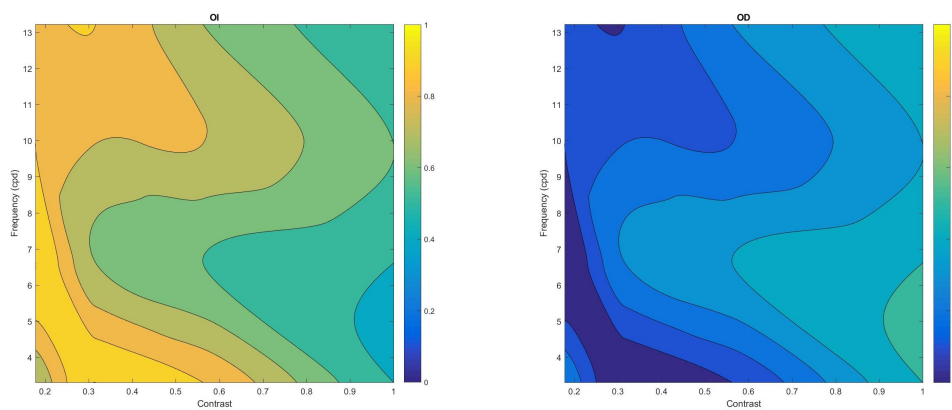


Figura C.59.: *Mapa del paciente 059*

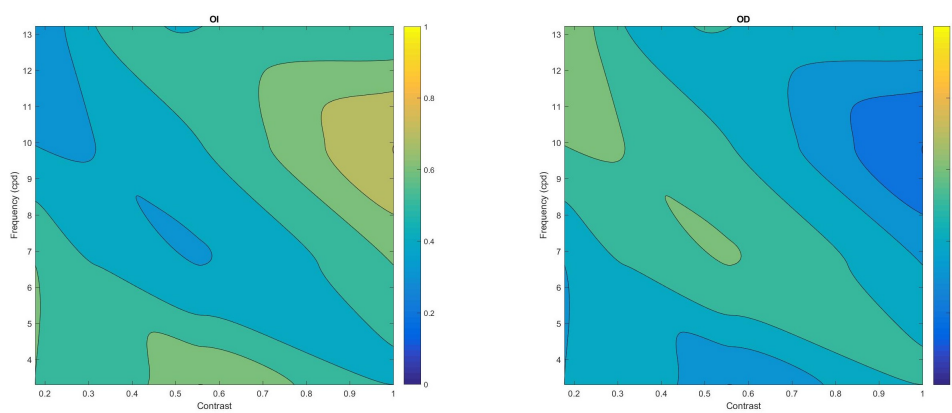


Figura C.60.: *Mapa del paciente 060*

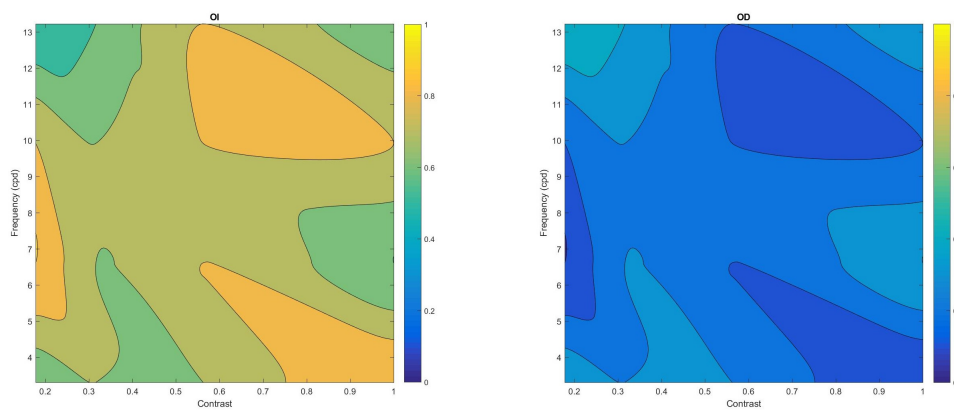


Figura C.61.: *Mapa del paciente 061*

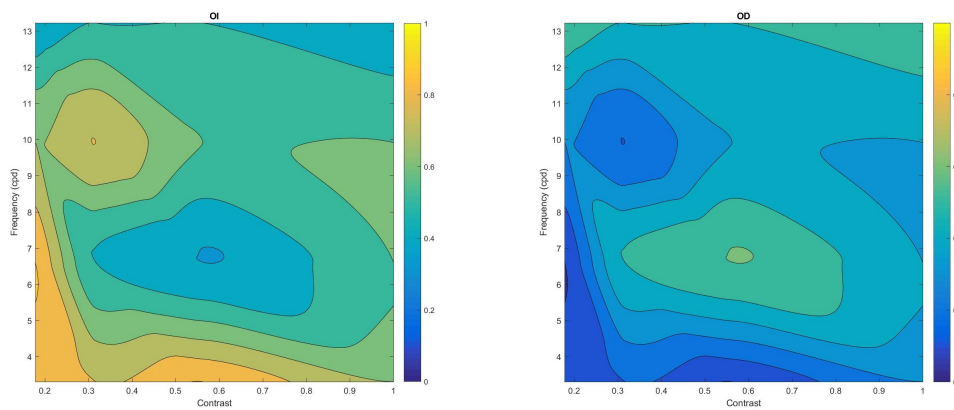


Figura C.62.: *Mapa del paciente 062*

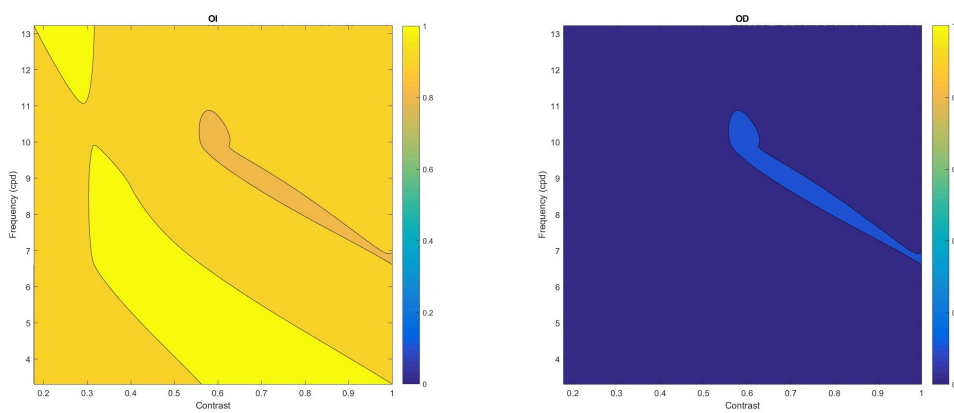


Figura C.63.: *Mapa del paciente 063*

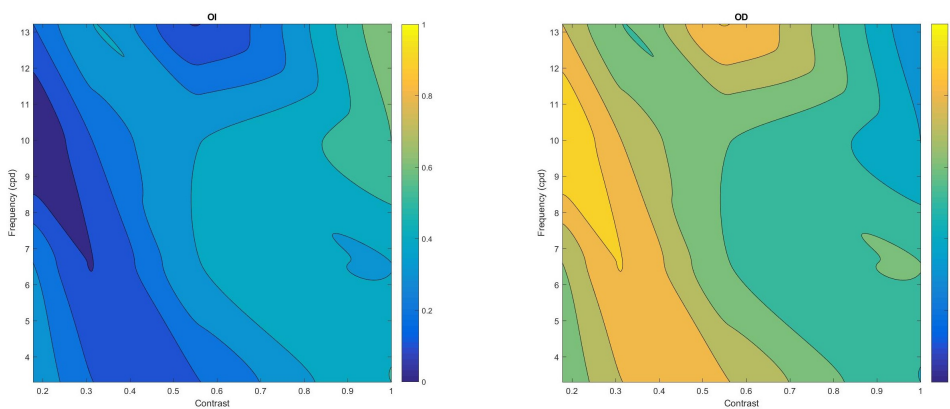


Figura C.64.: *Mapa del paciente 064*

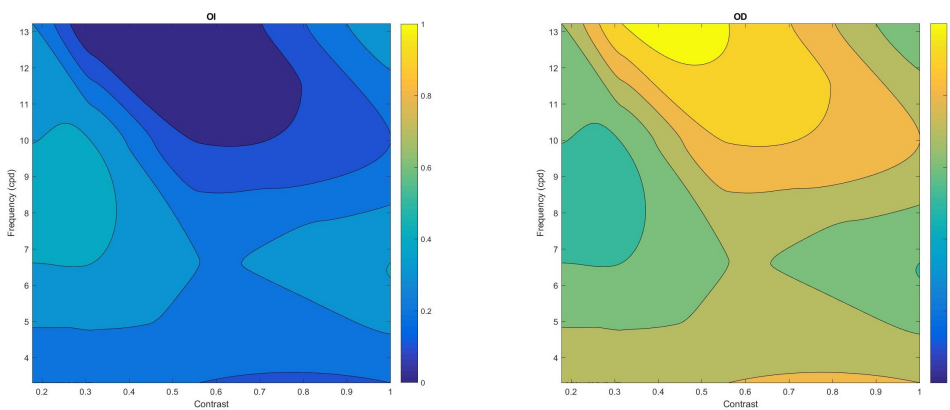


Figura C.65.: *Mapa del paciente 065*

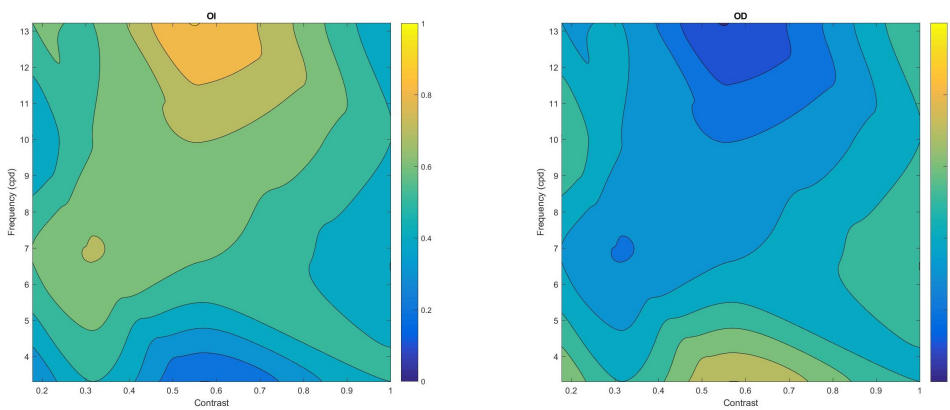


Figura C.66.: *Mapa del paciente 066*

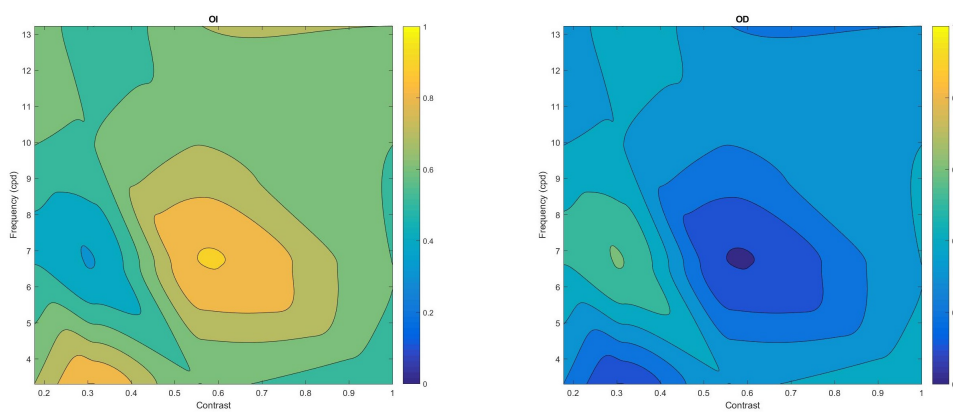


Figura C.67.: *Mapa del paciente 067*

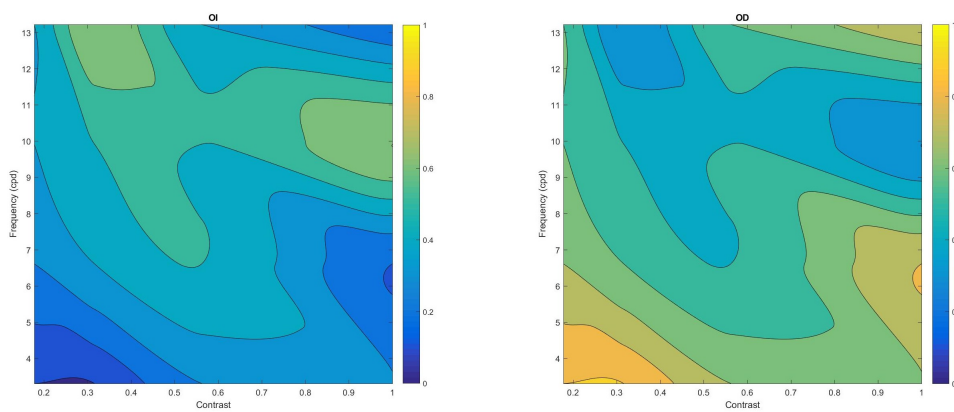


Figura C.68.: *Mapa del paciente 068*

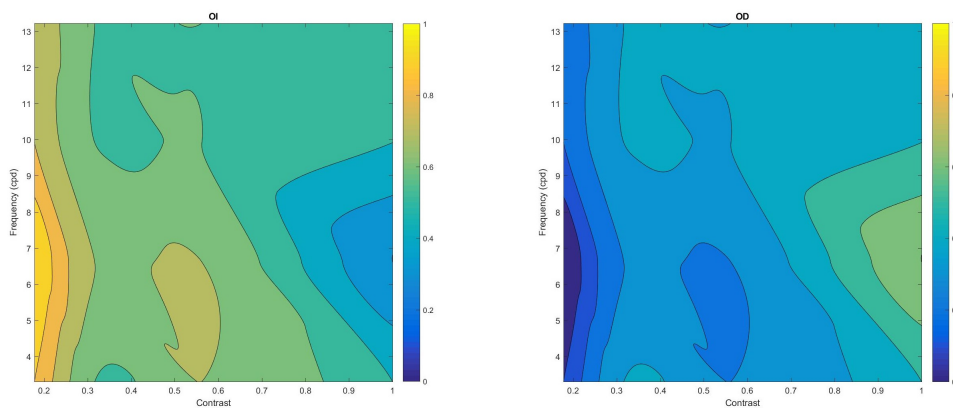


Figura C.69.: *Mapa del paciente 069*

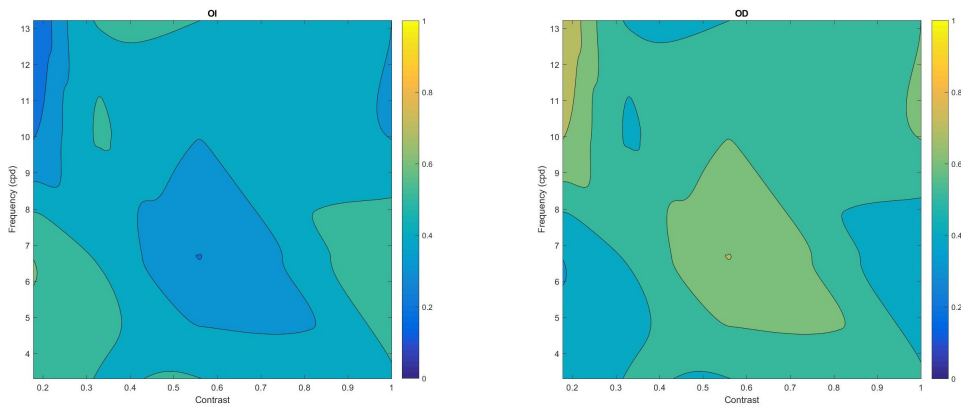


Figura C.70.: *Mapa del paciente 070*

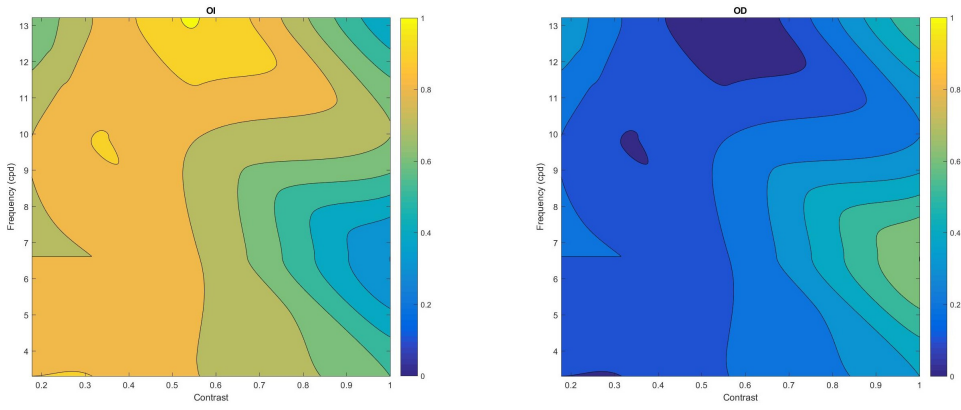


Figura C.71.: *Mapa del paciente 071*

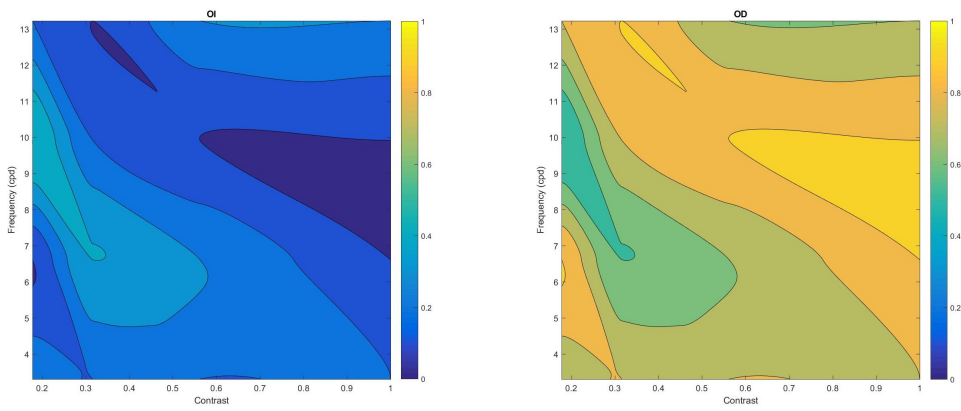


Figura C.72.: *Mapa del paciente 072*

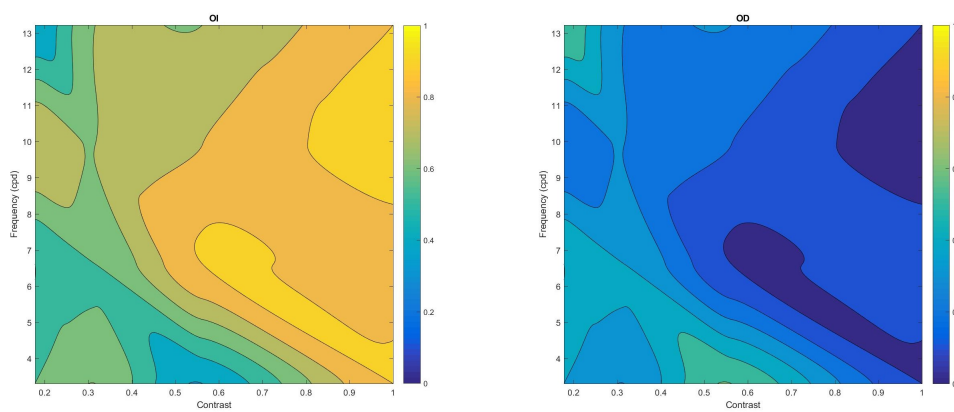


Figura C.73.: Mapa del paciente 073

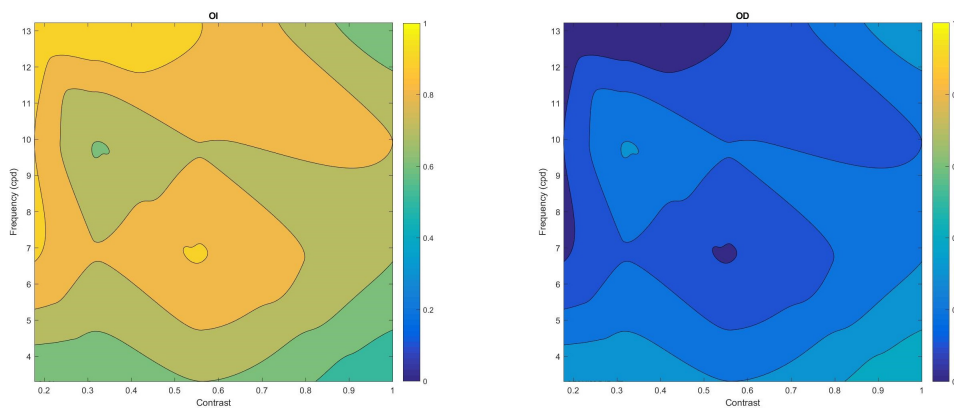


Figura C.74.: Mapa del paciente 074

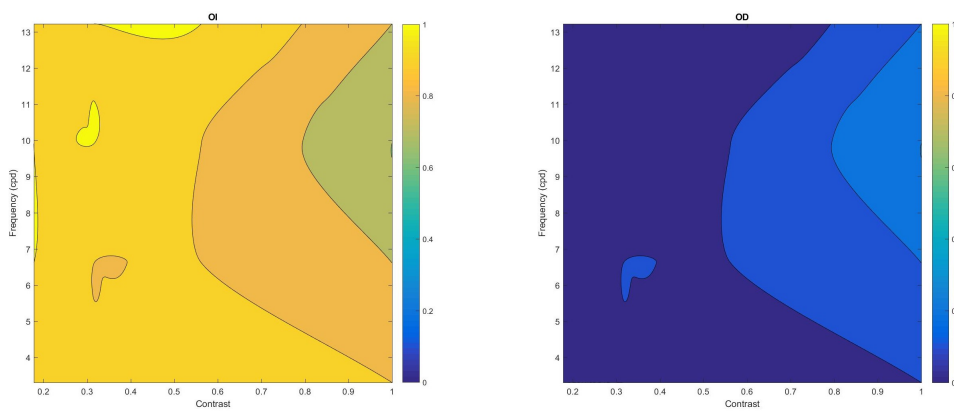


Figura C.75.: Mapa del paciente 075

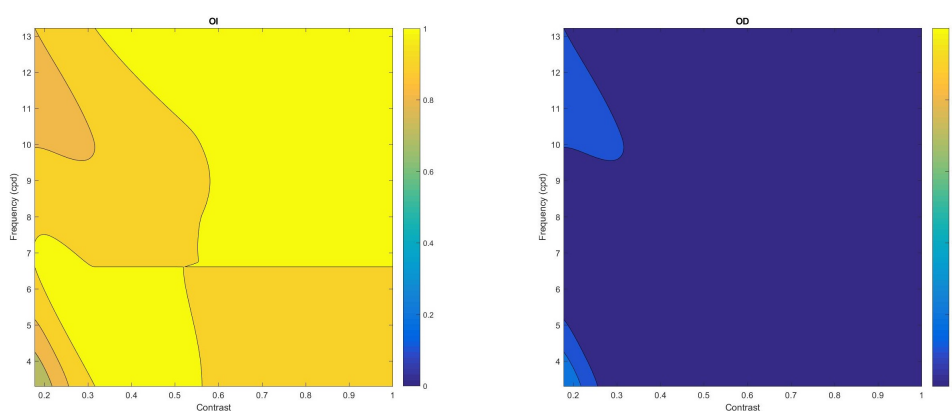


Figura C.76.: *Mapa del paciente 076*

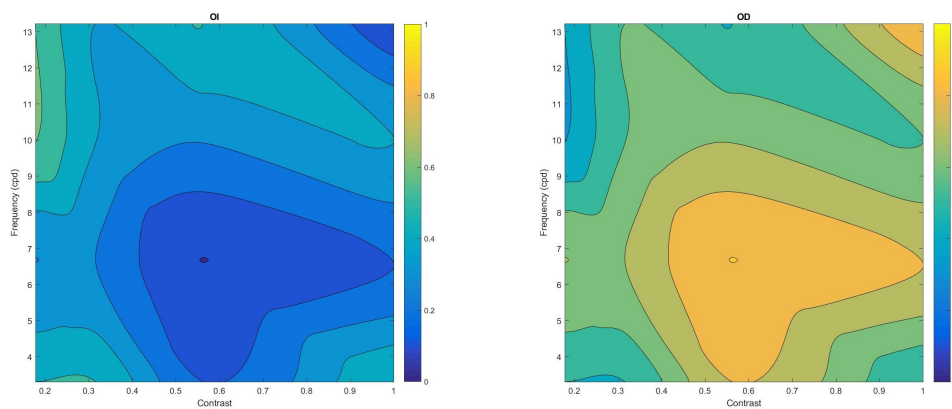


Figura C.77.: *Mapa del paciente 077*

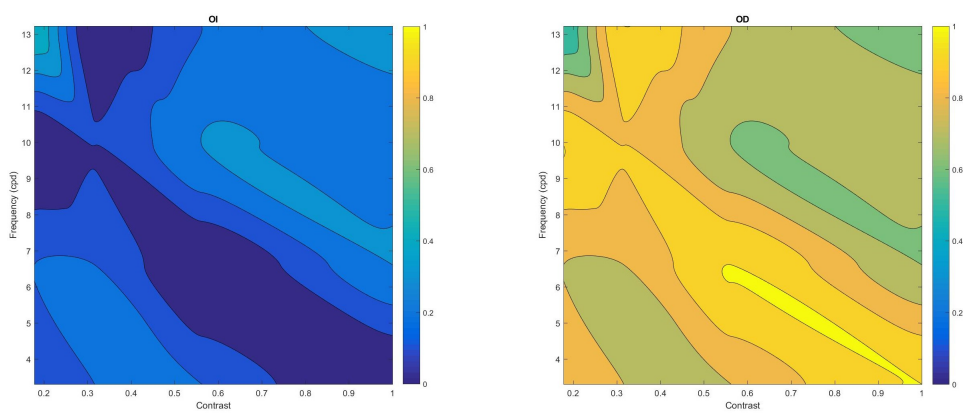


Figura C.78.: *Mapa del paciente 078*

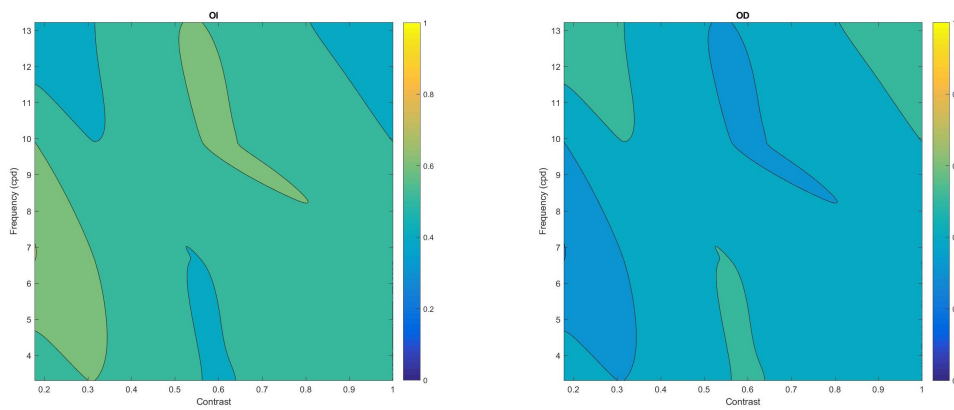


Figura C.79.: *Mapa del paciente 079*

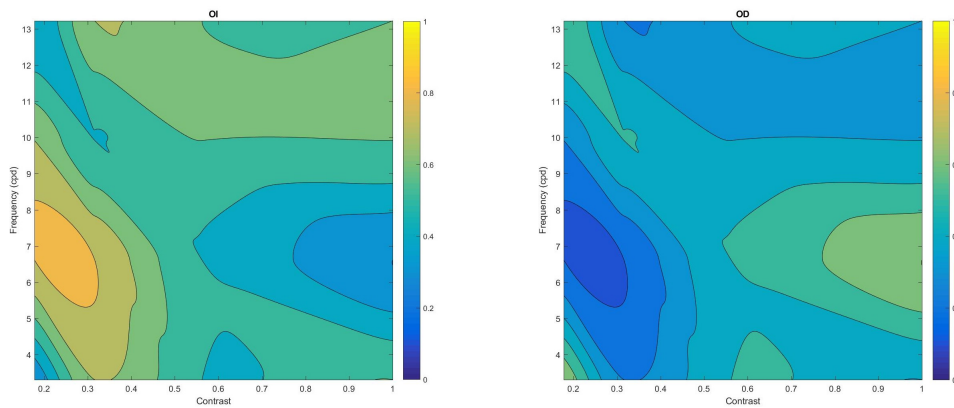


Figura C.80.: *Mapa del paciente 080*

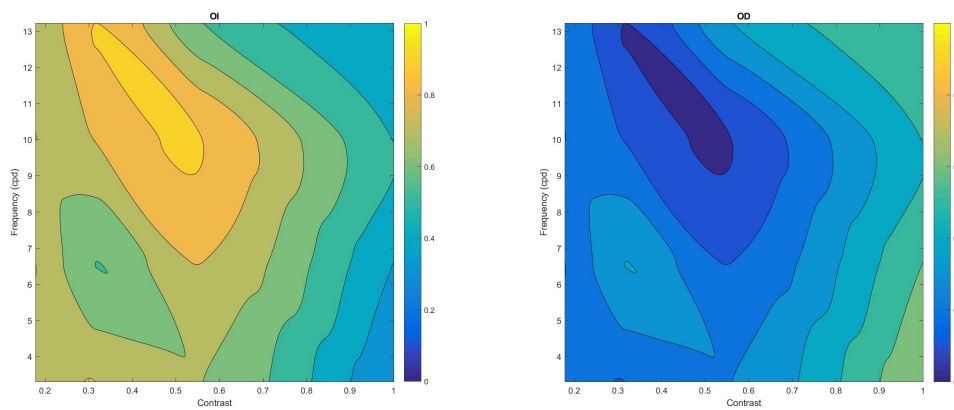


Figura C.81.: *Mapa del paciente 081*

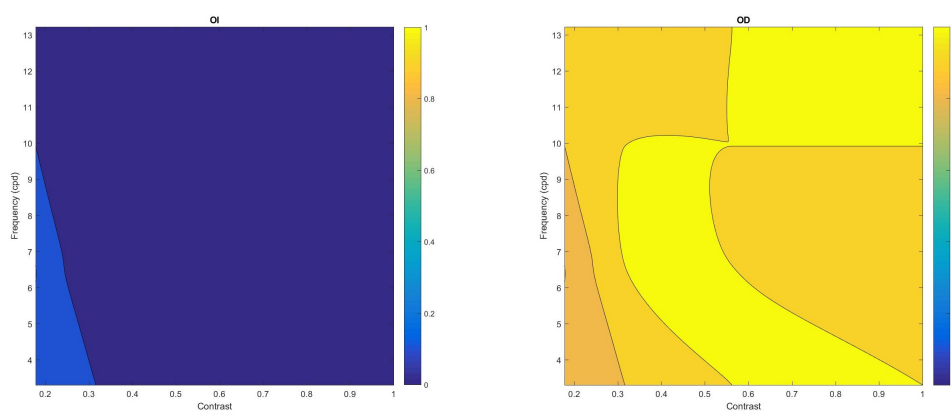


Figura C.82.: *Mapa del paciente 082*

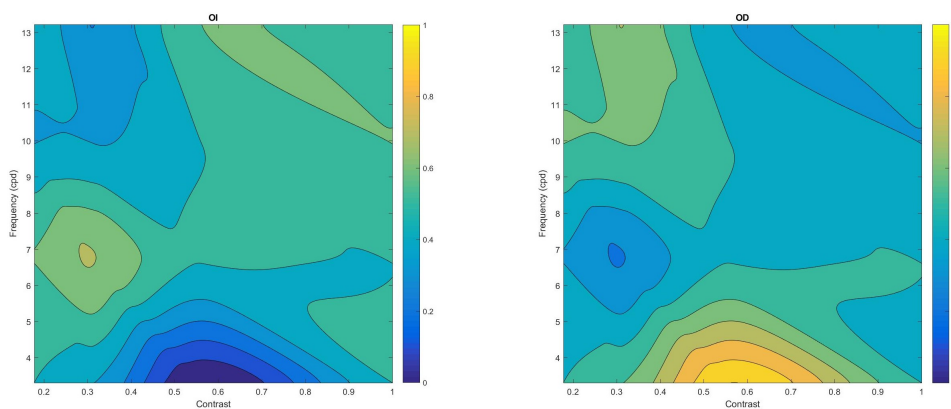


Figura C.83.: *Mapa del paciente 083*

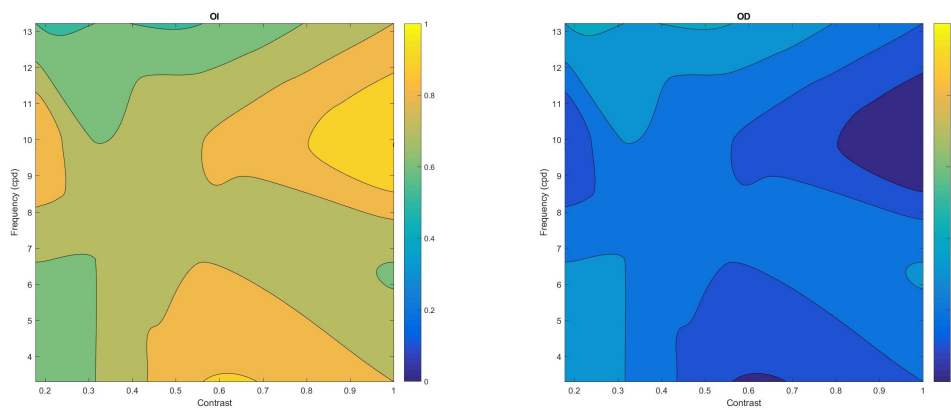


Figura C.84.: *Mapa del paciente 084*

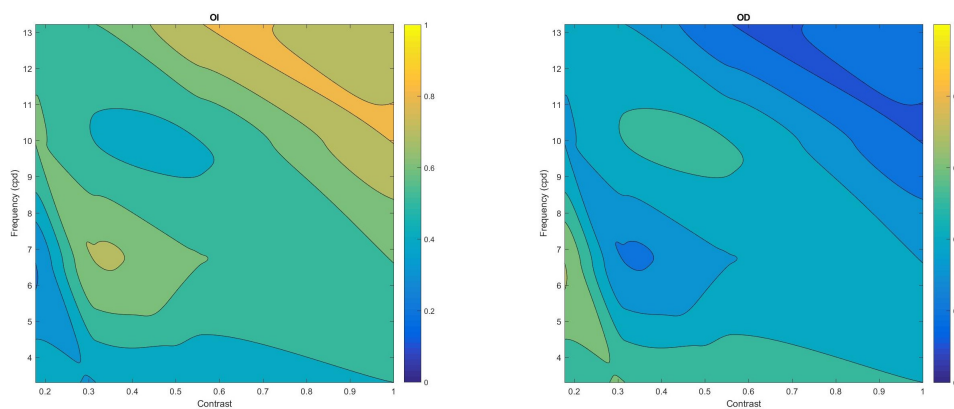


Figura C.85.: *Mapa del paciente 085*

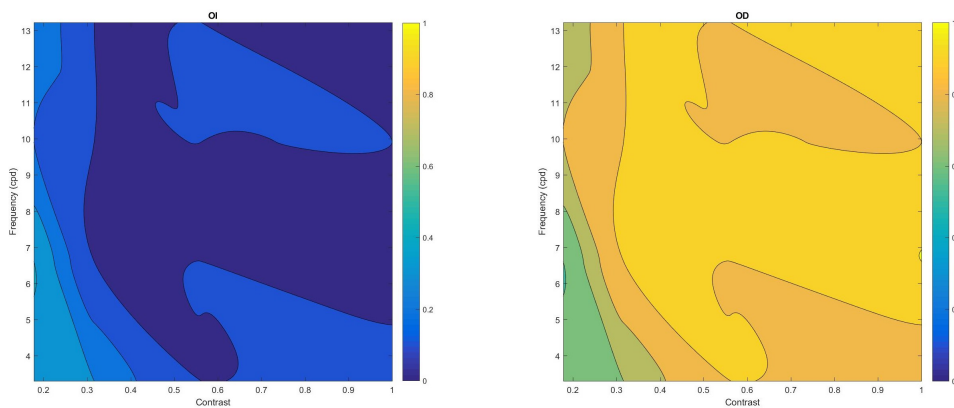


Figura C.86.: *Mapa del paciente 086*

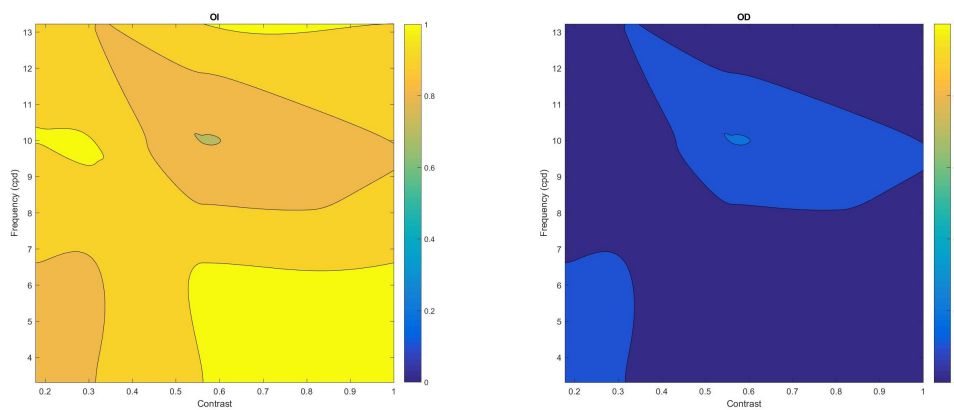


Figura C.87.: *Mapa del paciente 087*

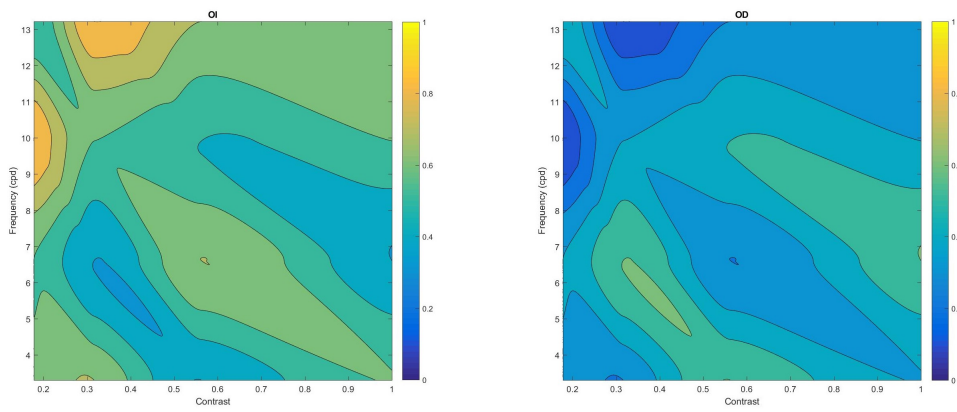


Figura C.88.: *Mapa del paciente 088*

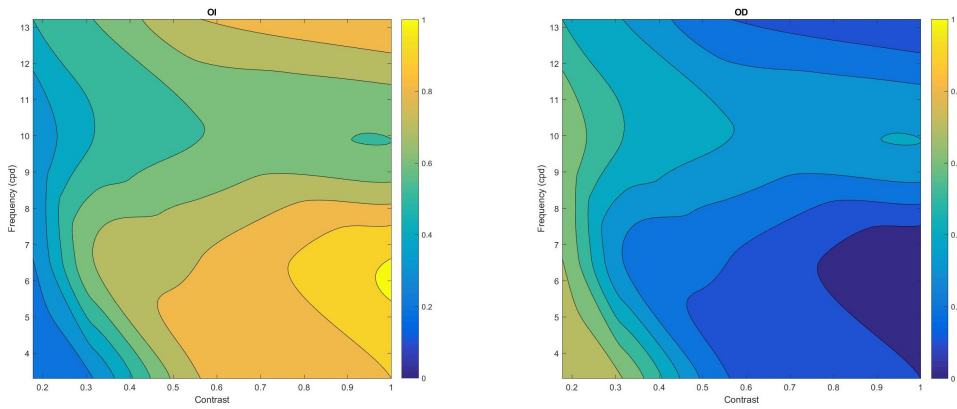


Figura C.89.: *Mapa del paciente 089*

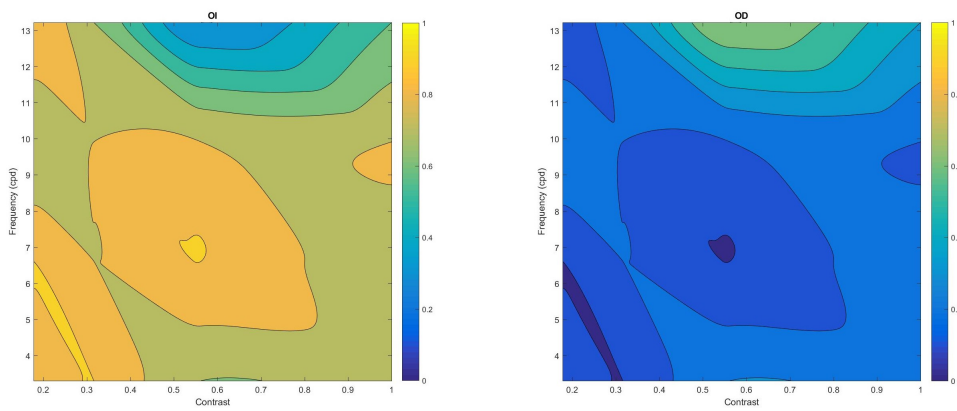


Figura C.90.: *Mapa del paciente 090*

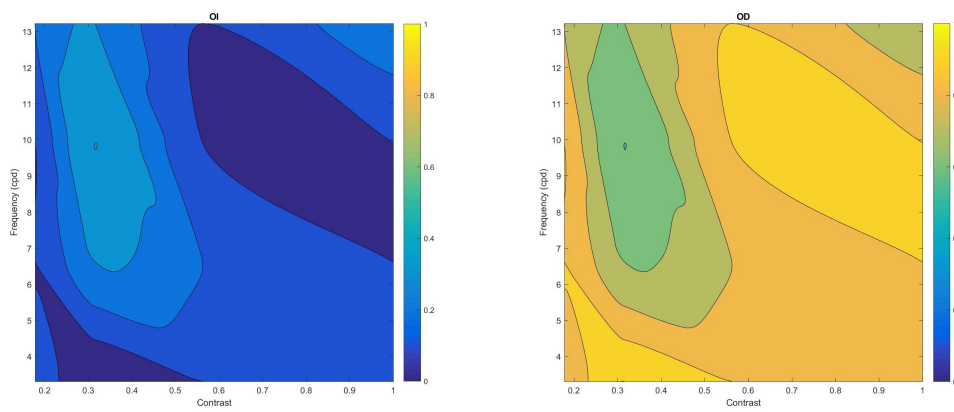


Figura C.91.: *Mapa del paciente 091*

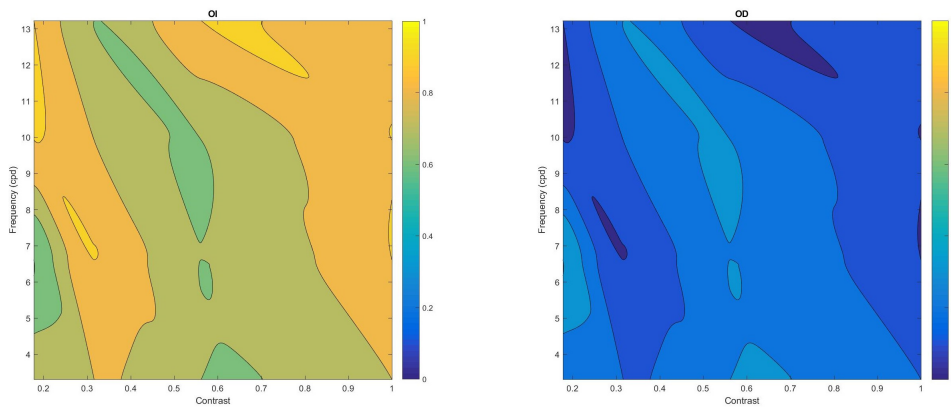


Figura C.92.: *Mapa del paciente 092*

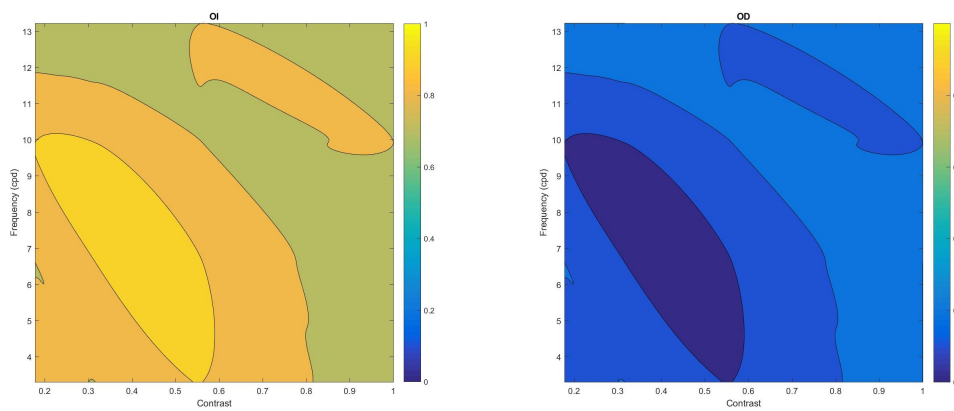


Figura C.93.: *Mapa del paciente 093*

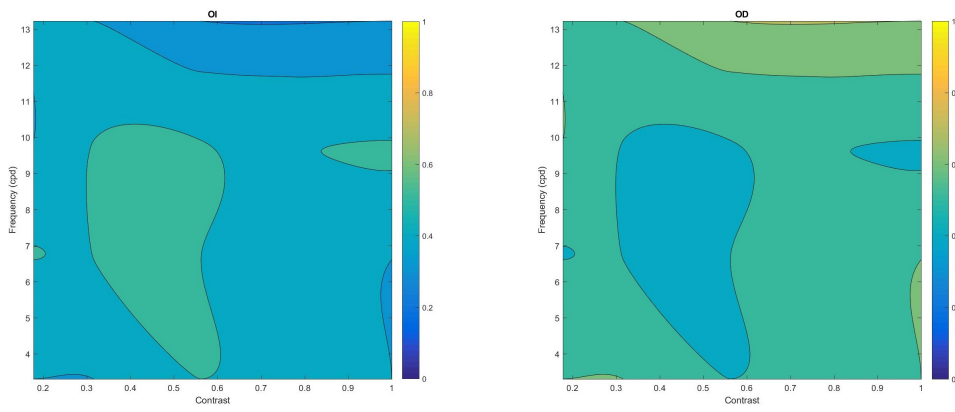


Figura C.94.: *Mapa del paciente 094*

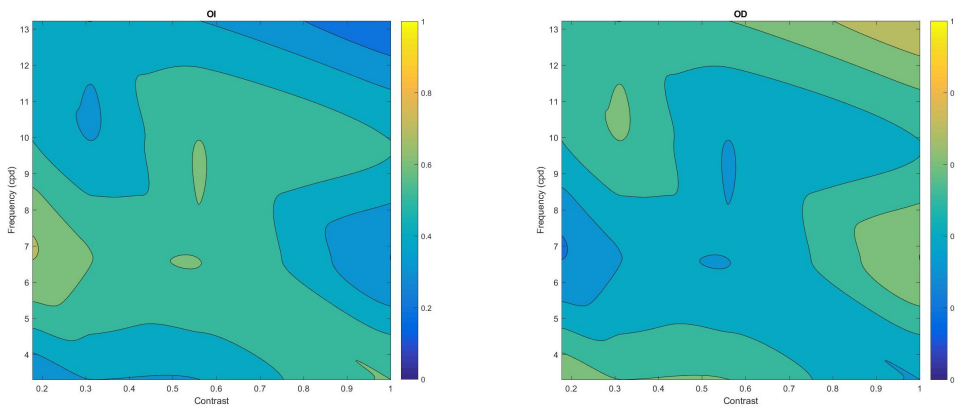


Figura C.95.: *Mapa del paciente 095*

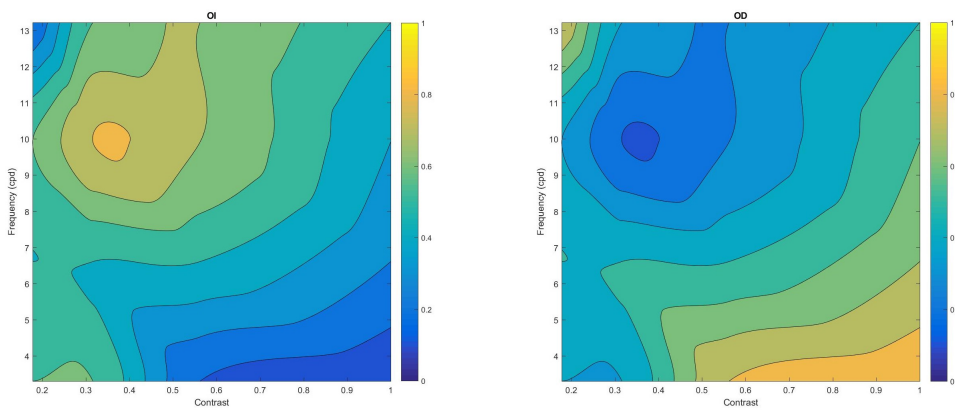


Figura C.96.: *Mapa del paciente 096*

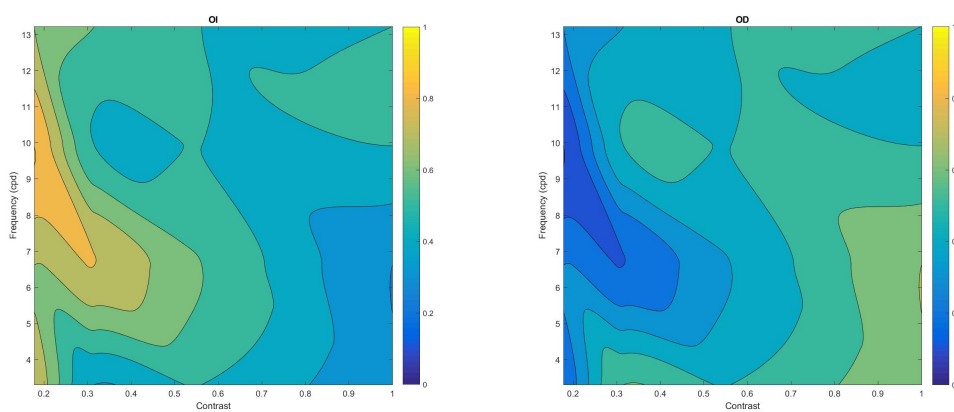


Figura C.97.: *Mapa del paciente 097*

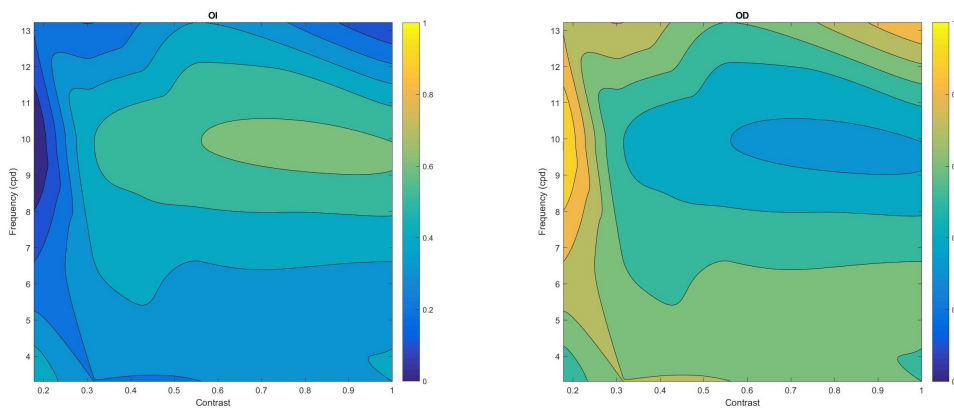


Figura C.98.: *Mapa del paciente 098*

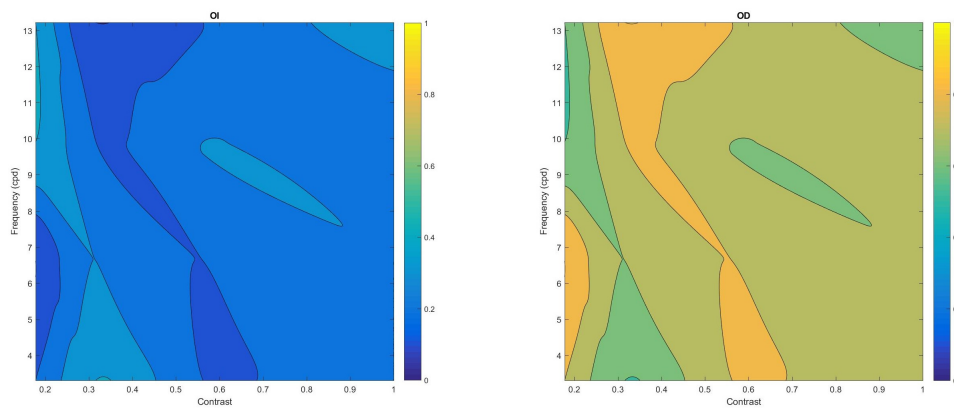


Figura C.99.: *Mapa del paciente 099*

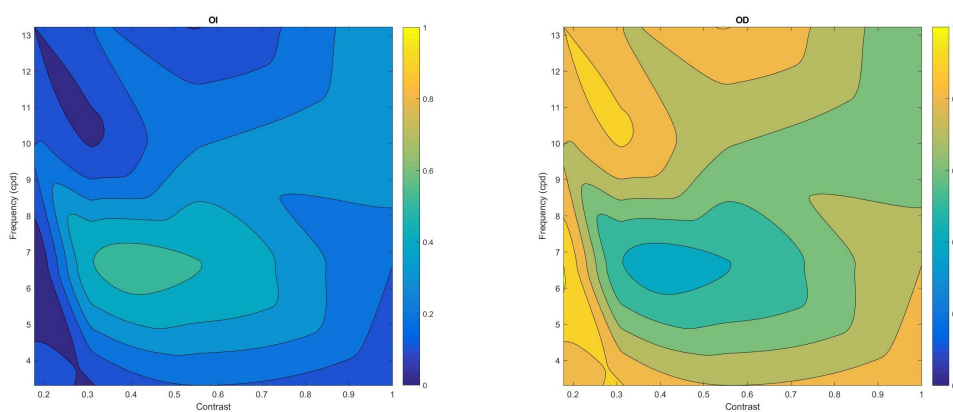


Figura C.100.: *Mapa del paciente 100*

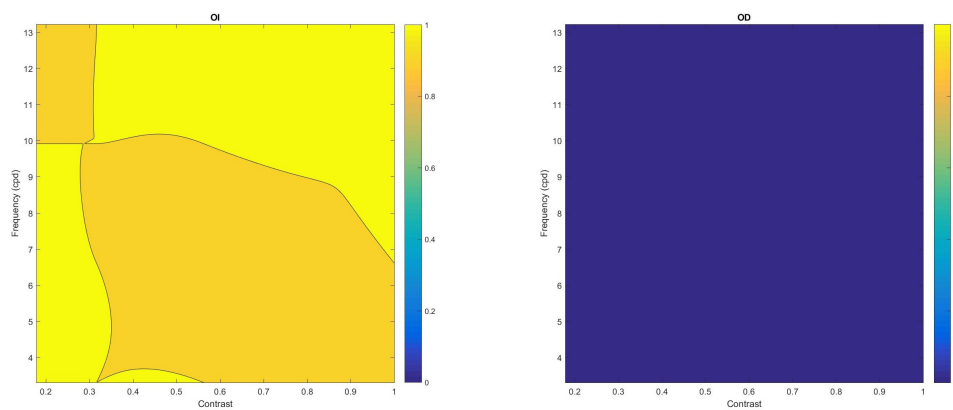


Figura C.101.: *Mapa del paciente 101*

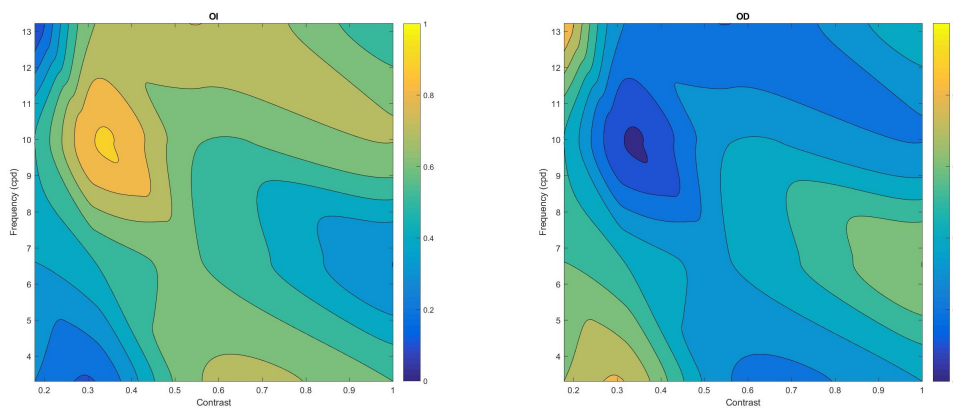


Figura C.102.: *Mapa del paciente 102*

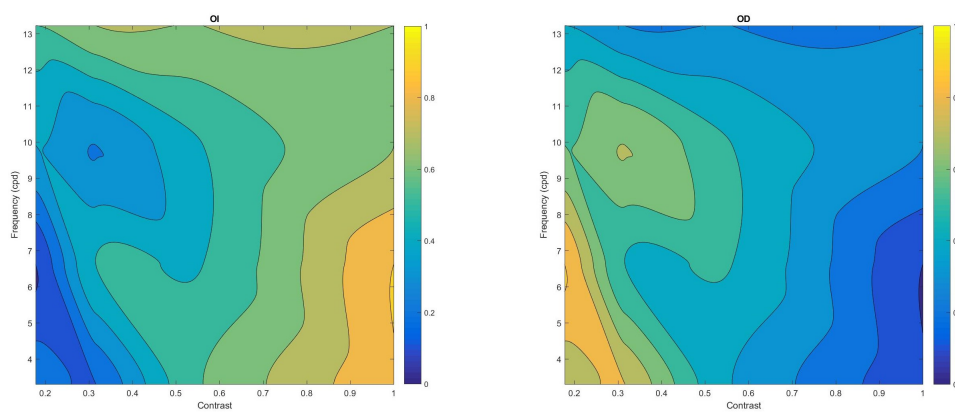


Figura C.103.: *Mapa del paciente 103*

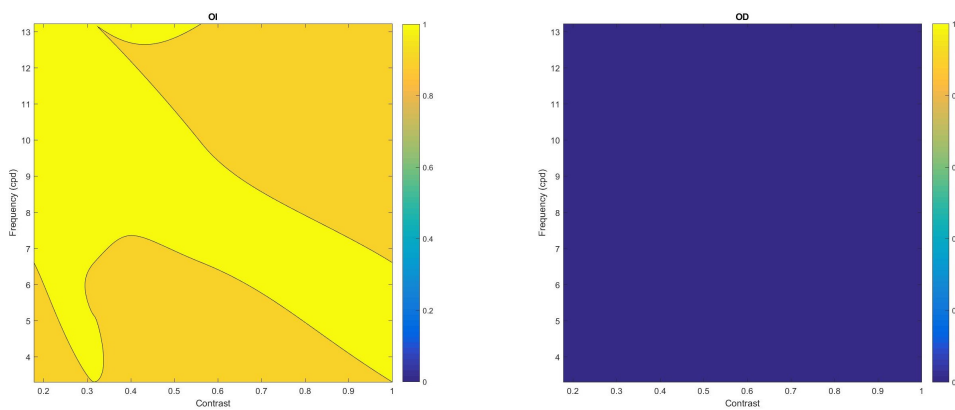


Figura C.104.: *Mapa del paciente 104*

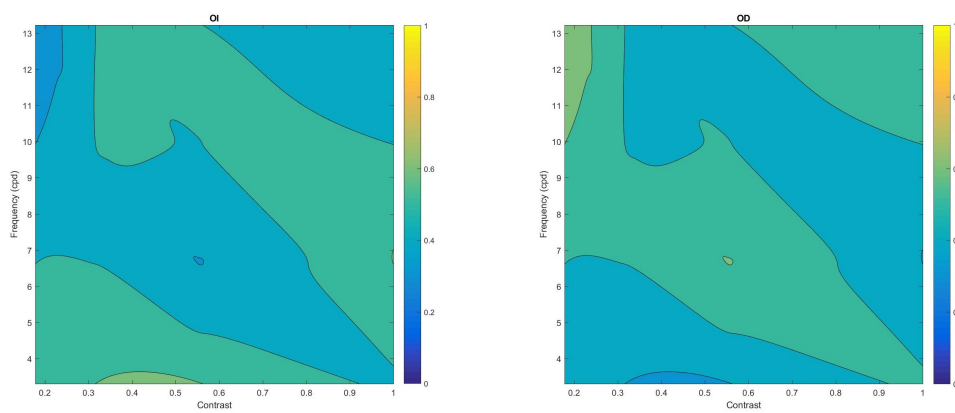


Figura C.105.: *Mapa del paciente 105*

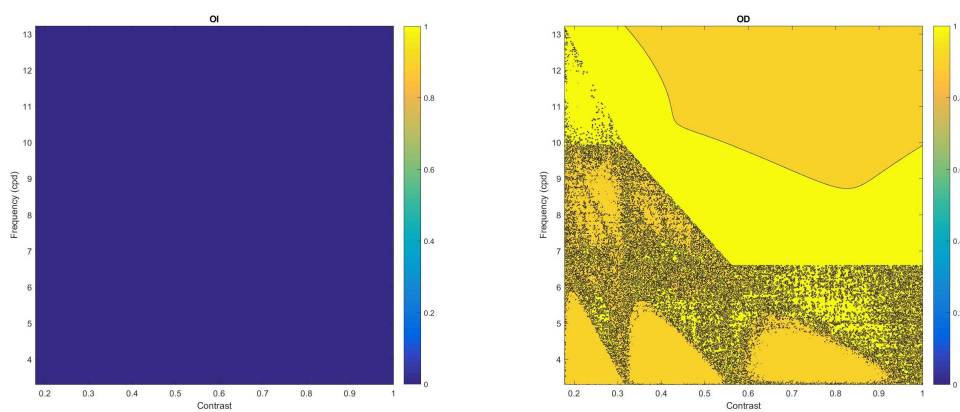


Figura C.106.: *Mapa del paciente 106*

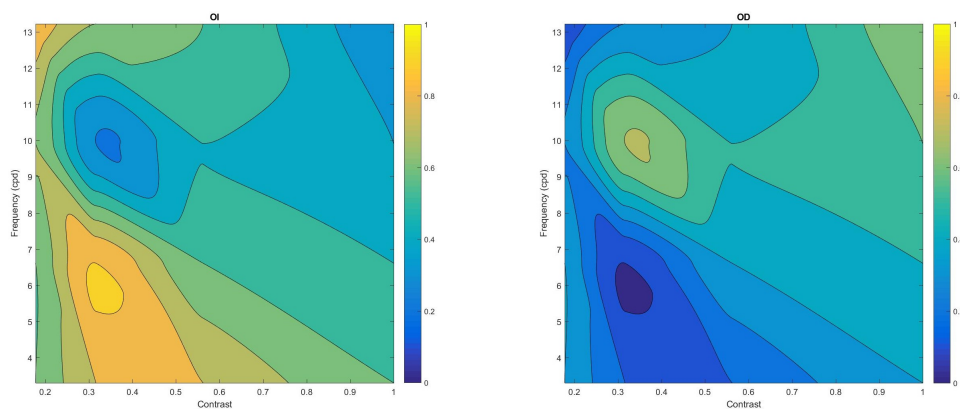


Figura C.107.: *Mapa del paciente 107*

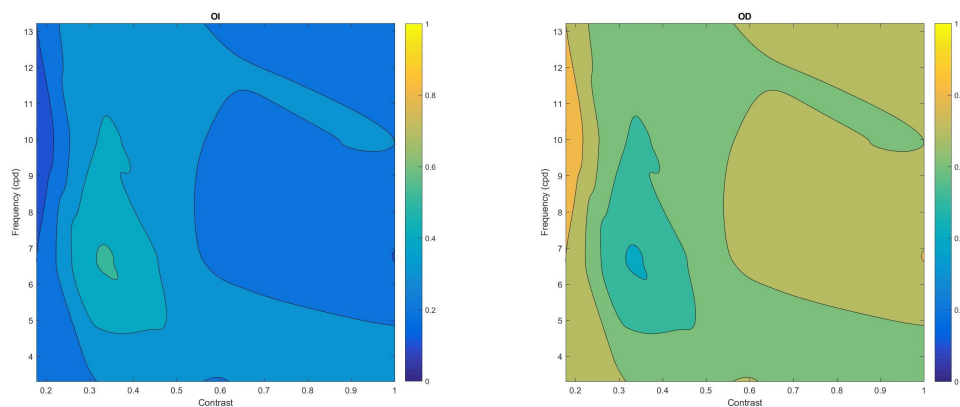


Figura C.108.: *Mapa del paciente 108*

Bibliografía

- Alais, D. and Blake, R. (1999). Grouping visual features during binocular rivalry. *Vision Research*, 39(26):4341–4353. [10](#), [15](#)
- Alais, D., O’Shea, R. P., Mesana-Alais, C., and Wilson, I. G. (2000). On binocular alternation. *Perception*, 29(12):1437–1445. [17](#)
- Alexander, K. R., Xie, W., and Derlacki, D. J. (1994). Spatial-frequency characteristics of letter identification. *J. Opt. Soc. Am. A*, 11(9):2375–2382. [90](#)
- Anderson, J. D., Bechtoldt, H. P., and Dunlap, G. L. (1978). Binocular integration in line rivalry. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 11(6):399–402. [12](#)
- Andrews, T. J. and Purves, D. (1997). Similarities in normal and binocularly rivalrous viewing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(18):9905–9908. [11](#), [12](#)
- Antona-Peñalba, B. and Barra, F. L. (2010). *Fiabilidad intraexaminador y concordancia de pruebas clínicas de evaluación de la visión binocular*. PhD thesis, Universidad Complutense de Madrid. [62](#)
- Antona-Peñalba, B. (2009). *Procedimientos clínicos para la evaluación de la visión binocular*. NETBIBLO. [61](#), [62](#)
- Asaad, W. F. and Eskandar, E. N. (2008a). Achieving behavioral control with millisecond resolution in a high-level programming environment. *Journal of Neuroscience Methods*, 173(2):235 – 240. [64](#)
- Asaad, W. F. and Eskandar, E. N. (2008b). A flexible software tool for temporally-precise behavioral control in matlab. *Journal of Neuroscience Methods*, 174(2):245 – 258. [64](#)
- Bagby, J. W. (1957). A cross-cultural study of perceptual predominance in binocular rivalry. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 54(3):331–334. [15](#)
- Barbeito, R. (1981). Sighting dominance: an explanation based on the processing of visual direction in tests of sighting dominance. *Vision Research*, 21(6):855–860. [48](#)
- Blake, R. (1989). A neural theory of binocular rivalry. *Psychological Review*, 96(1):145–167. [17](#)
- Blake, R. (2001). A primer on binocular rivalry, including current controversies. *Brain and Mind*, 2(1):5–38. [7](#), [8](#), [9](#), [11](#), [12](#), [13](#), [14](#), [15](#), [16](#), [17](#), [18](#), [64](#), [187](#)

- Blake, R. and Boothroyd, K. (1985). The precedence of binocular fusion over binocular rivalry. *Perception Psychophysics*, 37(2):114–124. [12](#)
- Blake, R. and Camisa, J. (1979). On the inhibitory nature of binocular rivalry suppression. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5(2):315–323. [17](#)
- Blake, R. and Fox, R. (1974). Binocular rivalry suppression: Insensitive to spatial frequency and orientation change. *Vision Research*, 14(8):687–692. [13](#), [16](#), [17](#)
- Blake, R. and Logothetis, N. K. (2002). Visual competition. *Nat Rev Neurosci*, 3(1):13–21. [7](#), [8](#), [9](#), [14](#), [15](#), [17](#), [187](#)
- Blake, R., O’Shea, R. P., and Mueller, T. J. (1992). Spatial zones of binocular rivalry in central and peripheral vision. *Vis. Neurosci.*, 8(05):469. [16](#)
- Blake, R., Westendorf, D. H., and Overton, R. (1980). What is suppressed during binocular rivalry? *Perception*, 9(2):223–231. [9](#)
- Blake, R., Yang, Y., and Westendorf, D. (1991). Discriminating binocular fusion from false fusion. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 32(10):2821–5. [12](#), [64](#)
- Blake, R., Yu, K., Lokey, M., and Norman, H. (1998). Binocular rivalry and motion perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(1):46–60. [12](#), [13](#)
- Bonneh, Y., Sagi, D., and Karni, A. (2001). A transition between eye and object rivalry determined by stimulus coherence. *Vision Research*, 41(8):981–989. [18](#)
- Boring, E. G. (1930). A new ambiguous figure. *The American Journal of Psychology*, 42(3):444. [8](#)
- Borish, I. M. (1970). *Clinical Refraction*. Professional Press Books, New York, 3rd ed. edition. [28](#), [63](#)
- Bossi, M., Hamm, L., Dahlmann-Noor, A., and Dakin, S. (2017a). A comparison of tests for quantifying sensory eye dominance. *bioRxiv*. [45](#), [50](#)
- Bossi, M., Tailor, V. K., Anderson, E. J., Bex, P. J., Greenwood, J. A., Dahlmann-Noor, A., and Dakin, S. C. (2017b). Binocular therapy for childhood amblyopia improves vision without breaking interocular suppression. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 58(7):3031. [12](#)
- Breese, B. B. (1899). On inhibition. *The Psychological Review: Monograph Supplements*, 3(1):i–65. [8](#), [12](#)
- Burke, D., Alais, D., and Wenderoth, P. (1999). Determinants of fusion of dichoptically presented orthogonal gratings. *Perception*, 28(1):73–88. PMID: 10627854. [64](#)
- Carbonell Bonete, S. (2014). *Prevalencia y sintomatología de las disfunciones acomodativas y binoculares en la población univesitaria*. PhD thesis, Universidad de Alicante. [63](#), [75](#)

- Carey, D. P. (2001). Vision research: Losing sight of eye dominance. *Current Biology*, 11(20):R828–R830. [48](#)
- Carlson, N. B. (1994). *Procedimientos clínicos en el examen visual*. Ciagami. [62](#)
- Carlson, N. B., Kurtz, D., Heath, D. A., Hines, C., and Flom, R. (2004). *Clinical procedures for ocular examination*. McGraw-Hill. [62](#)
- Cochran, W. G. (1950). The comparison of percentages in matched samples. *Biometrika*, 37(3/4):256–266. [104](#)
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1):37–46. [81](#)
- Coren, S. and Kaplan, C. P. (1973). Patterns of ocular dominance. *Am J Optom Arch Am Acad Optom*, 50(4):283–292. [18](#), [39](#), [40](#), [46](#), [50](#)
- Coren, S. and Porac, C. (1975). Ocular dominance: An annotated bibliography. *Journal Supplement Abstract Service, Catalog of Selected Documents in Psychology*, 5:229–230. [5](#)
- Crider, B. (1943). The importance of the dominant eye. *The Journal of Psychology*, 16(1):145–151. [49](#)
- Crider, B. (1944). A battery of tests for the dominant eye. *The Journal of General Psychology*, 31(2):179–190. [25](#)
- de Labra, C. (2001). *Procesamiento visual temprano durante la rivalidad binocular*. PhD thesis, Universidade da Coruña. [14](#), [17](#), [18](#), [187](#)
- Engel, E. (1956). The role of content in binocular resolution. *The American journal of psychology*, 69(1):87–91. [15](#)
- Erickson, P. and Schor, C. (1990). Visual function with presbyopic contact lens correction. *Optom Vis Sci*, 67(1):22–28. [51](#)
- Eser, I., Durrie, D. S., Schwendeman, F., and Stahl, J. E. (2008). Association between ocular dominance and refraction. *J Refract Surg*, 24(7):685–689. [19](#)
- Evans, B. J. W. (2007). Monovision: a review. *Ophthalmic Physiol Opt*, 27(5):417–439. [33](#), [37](#), [40](#), [41](#), [46](#), [48](#), [50](#), [51](#), [52](#), [188](#), [189](#)
- Fahle, M. (1982). Binocular rivalry: Suppression depends on orientation and spatial frequency. *Vision Research*, 22(7):787 – 800. [12](#)
- Fahle, M. (1987). Naso-temporal asymmetry of binocular inhibition. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 28(6):1016–1017. [13](#)
- Fox, R. (1991). *Binocular rivalry*, volume 9 of Vision and Visual Dysfunction: Binocular Vision and Psychophysics (Regan, D. M.). Cronly-Dillon, J. R. (London: Macmillan). [18](#)
- Fox, R. and Herrmann, J. (1967). Stochastic properties of binocular rivalry alternations. *Perception Psychophysics*, 2(9):432–436. [12](#)

- Fox, R. and Rasche, F. (1969). Binocular rivalry and reciprocal inhibition. *Perception & Psychophysics*, 5(4):215–217. [12](#)
- Goldschmidt, M. (1950). A new test for function of the macula lutea. *Arch Ophthalmol*, 44(1):129–135. [33](#)
- Goryo, K. (1969). The effect of past experience upon the binocular rivalry. *Japanese Psychological Research*, 11(2):46–53. [15](#)
- Grindley, G. C. and Townsend, V. (1965). Binocular masking induced by a moving object. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 17(2):97–109. [12](#)
- Grosvenor, T. and Goss, D. A. (1998). Role of the cornea in emmetropia and myopia. *Optometry & Vision Science*, 75(2):132–145. [59](#)
- Handa, T., Mukuno, K., Uozato, H., Niida, T., Shoji, N., Minei, R., Nitta, M., and Shimizu, K. (2004a). Ocular dominance and patient satisfaction after monovision induced by intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 30(4):769–774. [51](#), [52](#)
- Handa, T., Mukuno, K., Uozato, H., Niida, T., Shoji, N., and Shimizu, K. (2004b). Effects of dominant and nondominant eyes in binocular rivalry. *Optom Vis Sci*, 81(5):377–383. [34](#), [47](#)
- Handa, T., Shimizu, K., Mukuno, K., Kawamorita, T., and Uozato, H. (2005). Effects of ocular dominance on binocular summation after monocular reading adds. *J Cataract Refract Surg*, 31(8):1588–1592. [34](#), [52](#)
- Handa, T., Shimizu, K., Uozato, H., Shoji, N., and Ishikawa, H. (2012). A new method for quantifying ocular dominance using the balancing technique. *Am Orthopt J*, 62(1):77–86. [35](#), [52](#)
- Ho, R., Thompson, B., Babu, R. J., and Dalton, K. (2018). Sighting ocular dominance magnitude varies with test distance. *Clinical and Experimental Optometry*, 101(2):276–280. [51](#)
- Hofstetter, H. (1969). Emmetropization—biological process or mathematical artifact? *Optometry & Vision Science*, 46(6):447–450. [59](#)
- Hofstetter, H. W. (2000). *Dictionary of visual science and related clinical terms*. Butterworth-Heinemann Medical. [5](#)
- Hollins, M. (1980). The effect of contrast on the completeness of binocular rivalry suppression. *Perception & Psychophysics*, 27(6):550–556. [12](#), [16](#)
- Howard, I. P. (2002). *Seeing in depth, Vol. 1: Basic mechanisms*. University of Toronto Press. [20](#), [49](#)
- Howard, I. P. and Wade, N. J. (1996). Ptolemy’s contributions to the geometry of binocular vision. *Perception*, 25(10):1189–1201. [5](#), [19](#)
- Humphiss, D. (1969). The measurement of sensory ocular dominance and its relation to personality. *American journal of optometry and archives of American Academy of Optometry*, 46(8):603–616. [33](#)

- Jain, S., Arora, I., and Azar, D. T. (1996). Success of monovision in presbyopes: review of the literature and potential applications to refractive surgery. *Surv Ophthalmol*, 40(6):491–499. [51](#), [52](#)
- Johannsdottir, K. R. and Stelmach, L. B. (2001). Monovision: a review of the scientific literature. *Optom Vis Sci*, 78(9):646–651. [50](#), [51](#), [52](#)
- Kakizaki, S. (1960). Binocular rivalry and stimulus intensity. *Japanese Psychological Research*, 2(3):94–105. [12](#)
- Kang, M.-S. (2009). Size matters: A study of binocular rivalry dynamics. *Journal of Vision*, 9(1). [13](#)
- Khan, A. Z. and Crawford, J. D. (2001). Ocular dominance reverses as a function of horizontal gaze angle. *Vision Res*, 41(14):1743–1748. [19](#), [48](#)
- Kommerell, G., Schmitt, C., Kromeier, M., and Bach, M. (2003). Ocular prevalence versus ocular dominance. *Vision Res*, 43(12):1397–1403. [40](#), [42](#), [43](#), [44](#), [46](#), [48](#), [87](#), [189](#)
- Kovács, I., Papathomas, T. V., Yang, M., and Fehér, Á. (1996). When the brain changes its mind: interocular grouping during binocular rivalry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(26):15508–15511. [10](#), [17](#), [187](#)
- Lack, L. C. (1974). Selective attention and the control of binocular rivalry. *Perception and Psychophysics*, 15(1):193–200. [14](#)
- Legge, G. E., Pelli, D. G., Rubin, G. S., and Schleske, M. M. (1985). Psychophysics of reading-i. normal vision. *Vision Research*, 25(2):239 – 252. [90](#)
- Lehky, S. R. (1995). Binocular rivalry is not chaotic. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 259(1354):71–76. [12](#)
- Leopold, D. A. and Logothetis, N. K. (1999). Multistable phenomena: changing views in perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(7):254–264. [10](#), [17](#), [18](#)
- Levelt, W. J. M. (1965). *On binocular rivalry*. The Institute for Perception Rvo-Tno, Oxford, England. [12](#), [13](#), [187](#)
- Logothetis, N. K., Leopold, D. A., and Sheinberg, D. L. (1996). What is rivalling during binocular rivalry? *Nature*, 380(6575):621–624. [11](#), [187](#)
- Lopes-Ferreira, D., Neves, H., Queiros, A., Faria-Ribeiro, M., Peixoto-de Matos, S. C., and González-Méijome, J. M. (2013). Ocular dominance and visual function testing. *Biomed Res Int*, 2013:238943. [30](#)
- Malott, L. E., Clare, D. P., and Lowther, G. E. (1996). Ocular dominance testing. *International Contact Lens Clinic*, 23(2):50 – 54. [45](#), [87](#)
- Mapp, A. P., Ono, H., and Barbeito, R. (2003). What does the dominant eye dominate? a brief and somewhat contentious review. *Perception and Psychophysics*, 65(2):310–317. [5](#), [19](#), [47](#), [48](#), [49](#)

- Martín, R. and Vecilla, G. (2010). *Manual de optometría*. Editorial Medica Panamericana. Madrid. [16](#), [63](#)
- Martínez-Verdú, F. and Pons-Moreno, Á. (2004). *Fundamentos de visión binocular*, volume 74. Universitat de València. [14](#)
- Meenes, M. (1930). A phenomenological description of retinal rivalry. *The American Journal of Psychology*, 42(2):260. [16](#)
- Meng, M. and Tong, F. (2004). Can attention selectively bias bistable perception? differences between binocular rivalry and ambiguous figures. *Journal of Vision*, 4(7/2). [14](#)
- Miles, W. R. (1928). Ocular dominance: Methods and results. *Psychological Bulletin*, 25:155–156. [19](#), [48](#)
- Miles, W. R. (1929). Ocular dominance demonstrated by unconscious sighting. *Journal of Experimental Psychology*, 12(2):113–126. [19](#), [22](#), [23](#), [25](#), [26](#), [27](#), [29](#), [39](#), [47](#), [48](#), [188](#)
- Mills, L. (1925). Eyedness and handedness. *American Journal of Ophthalmology*, 8(12):933–941. [39](#)
- Nakayama, N., Kawamorita, T., and Uozato, H. (2010). Influence of refractive correction on ocular dominance. *Optical Review*, 17(4):421–424. [35](#), [48](#), [49](#), [188](#)
- Nitta, M., Shimizu, K., and Niida, T. (2007). The influence of ocular dominance on monovision. the interaction between binocular visual functions and the state of dominant eye's correction. *Nihon Ganka Gakkai Zasshi*, 111(6):435–440. [51](#)
- Ogle, K. N. and Wakefield, J. M. (1967). Stereoscopic depth and binocular rivalry. *Vision Research*, 7(1-2):89–98. [38](#), [188](#)
- Ono, H. and Barbeito, R. (1982). The cyclopean eye vs. the sighting-dominant eye as the center of visual direction. *Percept Psychophys*, 32(3):201–210. [48](#)
- Ooi, T. L. and He, Z. J. (1999). Binocular rivalry and visual awareness: the role of attention. *Perception*, 28(5):551–574. [48](#)
- Ooi, T. L. and He, Z. J. (2001). Sensory eye dominance. *Optometry*, 72(3):168–178. [34](#), [46](#), [49](#), [188](#)
- Ooi, T. L. and He, Z. J. (2003). A distributed intercortical processing of binocular rivalry: psychophysical evidence. *Perception*, 32(2):155–166. [17](#)
- O'Shea, R. P. (1987). Chronometric analysis supports fusion rather than suppression theory of binocular vision. *Vision Research*, 27(5):781–791. [17](#)
- O'Shea, R. P., Blake, R., and Wolfe, J. M. (1994). Binocular rivalry and fusion under scotopic luminances. *Perception*, 23(7):771–784. [11](#)
- O'Shea, R. P. and Crassini, B. (1984). Binocular rivalry occurs without simultaneous presentation of rival stimuli. *Perception and Psychophysics*, 36(3):266–276. [12](#)

- O'Shea, R. P., Sims, A. J., and Govan, D. G. (1997). The effect of spatial frequency and field size on the spread of exclusive visibility in binocular rivalry. *Vision Research*, 37(2):175–183. [12](#), [13](#)
- Parson, B. S. (1924). *Lefthandedness; a new interpretation*. Macmillan. [25](#)
- Parson, G. (1925). Eye-testing apparatus. US Patent 1,551,114. [26](#), [188](#)
- Pointer, J. S. (2001). Sighting dominance, handedness, and visual acuity preference: three mutually exclusive modalities? *Ophthalmic Physiol Opt*, 21(2):117–126. [50](#)
- Pointer, J. S. (2010). Ocular dominance within binocular vision. *Binocular Vision: Development, Depth Perception and Disorders (Eye and Vision Research Developments)*, pages 63–80. [3](#), [21](#), [22](#), [49](#), [50](#), [187](#), [188](#)
- Porac, C. and Coren, S. (1976). The dominant eye. *Psychological Bulletin*, 83(5):880–897. [5](#), [7](#), [18](#), [19](#), [23](#), [46](#), [47](#), [50](#), [110](#)
- Porac, C. and Coren, S. (1977). The assessment of motor control in sighting dominance using an illusion decrement procedure and. *Perception and Psychophysics*, 21(4):341–346. [19](#)
- Porac, C. and Coren, S. (1981). *Lateral Preferences and Human Behavior*. Springer New York. [19](#)
- Porta, J. B. (1593). *De refractione optices. Libri novem*. Carlinum and Pacem. Naples. [4](#), [21](#), [50](#), [110](#)
- Quartley, J. and Firth, A. Y. (2004). Binocular sighting ocular dominance changes with different angles of horizontal gaze. *Binocul Vis Strabismus Q*, 19(1):25–30. [48](#)
- Reading, R. W. (1983). *Binocular vision: Foundations and applications*. Butterworth-Heinemann. [6](#), [18](#), [21](#), [27](#), [41](#)
- Rice, M. L., Leske, D. A., Smestad, C. E., and Holmes, J. M. (2008). Results of ocular dominance testing depend on assessment method. *J AAPOS*, 12(4):365–369. [24](#), [25](#), [188](#)
- Richdale, K., Mitchell, G. L., and Zadnik, K. (2006). Comparison of multifocal and monovision soft contact lens corrections in patients with low-astigmatic presbyopia. *Optom Vis Sci*, 83(5):266–273. [30](#)
- Robboy, M. W., Cox, I. G., and Erickson, P. (1990). Effects of sighting and sensory dominance on monovision high and low contrast visual acuity. *CLAO J*, 16(4):299–301. [30](#)
- Roper-Hall, G. (2004). The «Worth» of the Worth four dot test. *Am Orthopt J*, 54:112–119. [31](#)
- Rouse, M., Hyman, L., Hussein, M., Borsting, E., Cotter, S., Grisham, D., Scheiman, M., Press, L., and Solan, H. (1996). Reliability of binocular vision measurements. *Optom. Vis. Sci*, 73:140. [62](#)
- Rubin, E. (1915). *Synsoplevede figurer: studier i psykologisk analyse*. Gyldendal. [8](#)

- Scheiman, M. and Wick, B. (2008). *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders*. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins. 59, 61, 62, 63, 75
- Scheiman, M. and Wick, B. (2014). *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders*. Wolters Kluwer / Lippincott Williams & Wilkins, fourth edition. 59, 61, 62, 63, 75
- Schor, C., Landsman, L., and Erickson, P. (1987). Ocular dominance and the interocular suppression of blur in monovision. *Am J Optom Physiol Opt*, 64(10):723–730. 29, 50
- Seidel, D., Gray, L. S., and Heron, G. (2005). The effect of monocular and binocular viewing on the accommodation response to real targets in emmetropia and myopia. *Optometry & Vision Science*, 82(4):279–285. 59
- Seijas, O., Gómez de Liaño, P., Gómez de Liaño, R., Roberts, C. J., Piedrahita, E., and Diaz, E. (2007). Ocular dominance diagnosis and its influence in monovision. *Am J Ophthalmol*, 144(2):209–216. 23, 24, 30, 31, 34, 44, 45, 47, 49, 50, 87, 110, 111, 113
- Shneur, E. and Hochstein, S. (2006). Eye dominance effects in feature search. *Vision Res*, 46(25):4258–4269. 19
- Shneur, E. and Hochstein, S. (2008). Eye dominance effects in conjunction search. *Vision Res*, 48(15):1592–1602. 19
- Solomon, J. A. and Pelli, D. G. (1994). The visual filter mediating letter identification. *Nature*, 369(6479):395–397. 90
- Steinman, S. B., Steinman, B. A., and Garzia, R. P. (2000). *Foundations of binocular vision: a clinical perspective*. McGraw-Hill New York. 19, 20, 187
- Valle-Inclan, F., Blanco, M. J., Soto, D., and Leiros, L. (2008). A new method to assess eye dominance. *Psicologica*, 29(1):55–64. 7, 36, 188
- Valle-Inclan, F., Gallego, E., and Redondo, M. (2007). The neural correlates of visual consciousness: Binocular rivalry studies. *Estudios de Psicología*, 28(2):177–184. 17, 50
- Verstraten, F. A. J., Niehorster, D. C., van de Grind, W. A., and Wade, N. J. (2015). Sigmund exner’s (1887) einige beobachtungen uber bewegungsnachbilder (some observations on movement aftereffects): An illustrated translation with commentary. *i-Perception*, 6(5):2041669515593044. 12
- Viqueira, V., Illueca, C., Pons, A., and Artigas, J. (1999). Influence of the luminance spatial non-homogeneities of a display monitor on the contrast sensitivity function determination. *Displays*, 20(2):65–71. 67
- Von Helmholtz, H. and Southall, J. P. C. (2005). *Treatise on physiological optics*, volume 3. Courier Corporation. 14

- Wade, N. J. (1975). Binocular rivalry between single lines viewed as real images and afterimages. *Perception and Psychophysics*, 17(6):571–577. [12](#)
- Wade, N. J. (1987). On the late invention of the stereoscope. *Perception*, 16(6):785–818. [4](#), [187](#)
- Wade, N. J. (1998). Early studies of eye dominances. *Laterality*, 3(2):97–108. [4](#), [5](#), [8](#), [21](#), [22](#), [110](#)
- Wade, N. J., De Weert, C. M., and Swanston, M. T. (1984). Binocular rivalry with moving patterns. *Perception and Psychophysics*, 35(2):111–122. [12](#), [13](#)
- Wade, N. J. and Ngo, T. T. (2013). *The Constitution of visual consciousness: Lessons from binocular rivalry*, chapter Early views on binocular rivalry, pages 77–108. John Benjamins Publishing Company. [12](#)
- Walker, P. (1975). The subliminal perception of movement and the 'suppression' in binocular rivalry. *British Journal of Psychology*, 66(3):347–356. [13](#)
- Walker, P. (1978). Binocular rivalry: central or peripheral selective processes? *Psychological Bulletin*, 85(2):376. [14](#)
- Walls, G. L. (1951). A theory of ocular dominance. *AMA Arch Ophthalmol*, 45(4):387–412. [6](#), [19](#), [46](#)
- Washburn, M. F., Faison, C., and Scott, R. (1934). A comparison between the miles abc method and retinal rivalry as tests of ocular dominance. *The American Journal of Psychology, JSTOR*, 46(4):633–636. [33](#)
- Wheatstone, C. (1838). Contributions to the physiology of vision. part the first. on some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 128:371–394. [9](#), [11](#), [187](#)
- Whittle, P. (1965). Binocular rivalry and the contrast at contours. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 17(3):217–226. [12](#)
- Wiecek, E., Lashkari, K., Dakin, S. C., and Bex, P. (2015). Metamorphopsia and interocular suppression in monocular and binocular maculopathy. *Acta Ophthalmologica*, 93(4):e318–e320. [50](#)
- Wolfe, J. M. (1983). Influence of spatial frequency, luminance, and duration on binocular rivalry and abnormal fusion of briefly presented dichoptic stimuli. *Perception*, 12(4):447–456. [12](#)
- Yang, E., Blake, R., and McDonald, 2nd, J. E. (2010). A new interocular suppression technique for measuring sensory eye dominance. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 51(1):588–593. [36](#), [37](#), [47](#), [188](#)
- Yu, K. and Blake, R. (1992). Do recognizable figures enjoy an advantage in binocular rivalry? *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 18(4):1158–1173. [15](#)
- Zadnik, K. (1997). *The Ocular Examination: Measurements and findings*. WB Saunders Company, Philadelphia. [62](#)

Índice de figuras

| | | |
|-------|---|----|
| 1.1. | GIOVANNI BATTISTA (a veces GIAMBATTISTA) DELLA PORTA (nacido probablemente a finales de 1535, muerto el 4 de febrero de 1615), estudioso napolitano, erudito y dramaturgo. Retrato de perfil: grabado de portada de la edición expandida en 20 volúmenes de <i>Magiae Naturalis</i> (Nápoles, 1589) (Pointer, 2010). | 3 |
| 1.2. | Portada del libro III de Aguilonius (1613): el observador, con un ojo cerrado, apunta hacia una varilla sostenida por un querubín (Wade, 1987, editada). | 4 |
| 1.3. | Esquema de alternancia temporal entre las imágenes rivales. | 7 |
| 1.4. | Ejemplos de imágenes ambiguas conocidas en las que el aspecto perceptivo fluctúa con el tiempo a pesar de que la estimulación física no cambia. (Blake and Logothetis, 2002). | 8 |
| 1.5. | Esquema del estereoscopio de espejo inventado por WHEATSTONE. El observador situaría su cabeza de modo que el ojo derecho viera la imagen reflejada en el espejo situado a la derecha (A en la figura) y el ojo izquierdo vería la imagen reflejada en el espejo situado a la izquierda (A'). Cada espejo reflejaría el estímulo situado en el soporte correspondiente (E y E'). La distancia entre los estímulos y los espejos puede variarse (C y C') (Wheatstone, 1838). | 9 |
| 1.6. | Pares dicópticos para inducir rivalidad binocular (Kovács et al., 1996). | 10 |
| 1.7. | Curso temporal del experimento de Logothetis et al. (1996) donde se muestra la forma de presentación de los estímulos. En la opción (a) se presentaban dos estímulos rivales en forma de flashes manteniendo el mismo estímulo en cada ojo. En la otra forma (b) se intercambiaban los estímulos entre los ojos con cada flash. Los sujetos debían indicar los periodos de dominancia exclusiva (no fragmentaria) (Logothetis et al., 1996). | 11 |
| 1.8. | Efecto de la variación de la fuerza del estímulo (Levelt, 1965, editada). | 13 |
| 1.9. | Ejemplo de alternancias perceptuales con estímulos que producen rivalidad binocular. A- Curso temporal de la rivalidad con la misma luminancia en ambos estímulos. B- Curso temporal de la rivalidad cuando se incrementa la luminancia de uno de los estímulos (de Labra, 2001, editada). | 14 |
| 1.10. | Usando los dos pares de objetos rivales en a y b, se puede comparar la incidencia de la dominancia de la rejilla central rojo/verde cuando aparece en un contexto global consistente (a) y cuando no (b) (Blake and Logothetis, 2002). | 15 |
| 1.11. | Alternancia temporal entre las imágenes rivales y el patrón mezcla de ambas imágenes (Blake et al., 1974; citado por Blake, 2001). | 16 |
| 1.12. | Demostración experimental de la dirección visual egocéntrica (Steinman et al., 2000, editada). | 20 |
| 1.13. | Ojo derecho fijador en el test de punto próximo de convergencia. | 21 |

| | |
|--|----|
| 1.14. Test de Porta (de Portada del libro III de Aguilonius, 1613) Pointer (2010) | 22 |
| 1.15. Modificación de Rosenbach. | 22 |
| 1.16. Test del caleidoscopio. | 23 |
| 1.17. Test de la tarjeta agujereada y variante usando las manos. | 24 |
| 1.18. Test de cerca de la tarjeta agujereada (Rice et al., 2008). | 25 |
| 1.19. Manoptoscopio de Parson (del documento de patente) (Parson, 1925). | 26 |
| 1.20. Pacientes mirando a través de un V-Scope en la Prueba ABC de Miles (Miles, 1929). | 27 |
| 1.21. Test del espejo. | 28 |
| 1.22. Test cromático con filtro rojo. | 29 |
| 1.23. Test de resistencia al emborronamiento. | 30 |
| 1.24. Test de polarizados. | 31 |
| 1.25. Test de Worth. | 32 |
| 1.26. Estímulo de rivalidad binocular usado en la técnica de equilibrio para medir el balance interocular. Seis rejillas cuadradas colocadas alrededor de la cruz de fijación en cada ojo. El color (rojo o verde) y la orientación (vertical u horizontal) diferentes generaban rivalidad binocular. La orden de presentación de estímulo, en términos de color y orientación de las rejillas, era arbitraria (Ooi and He, 2001). | 34 |
| 1.27. Screener de visión binocular BETTM (WOC) y carta Kitasato donde el contraste del estímulo presentado al ojo no dominante (ND eye) era fijo (100 %) y el del estímulo presentado al ojo dominante (D eye) variaba decreciendo en pasos de 10 % desde el 100 % (Nakayama et al., 2010). | 35 |
| 1.28. Esquema de la serie de estímulos. El sujeto ve la presentación en un estereoscopio de espejos (no mostrado) y cada ojo ve una secuencia diferente de cartas durante un tiempo de 150 o 200 ms (Valle-Inclan et al., 2008). | 36 |
| 1.29. Método de Yang para determina y cuantificar la dominancia sensorial (Yang et al., 2010). | 37 |
| 1.30. Test para evaluar la dominancia ocular adaptado del de de Ogle et al. (1967). En la figura a , los estímulos, cuyas líneas verticales tienen diferente separación para cada ojo. En la figura b , los posibles resultados en función de la posición de las marcas de identificación (x y o) respecto a las líneas: A - el OI es el dominante. B - ninguno de los ojos es dominante. C - el dominante es el OD (Ogle and Wakefield, 1967). | 38 |
| 1.31. Algunos tests de disparidad que permiten diferenciar la disparidad de cada uno de los ojos. | 39 |
| 1.32. Test de convergencia al punto cercano usando una luz puntual. | 40 |
| 1.33. Dispositivo experimental de Charnwood. | 41 |
| 1.34. CHARNWOOD realizando su experimento (Evans, 2007). | 41 |

| | |
|---|----|
| 1.35. Medida de la prevalencia ocular con el dispositivo de Sachsenweger. El sujeto debe alinear un objeto lejano (<i>F</i>) con otro que está por delante (<i>N</i>) en el plano horizontal de la altura de los ojos. La línea que une ambos objetos cruza el eje interocular en un punto entre los ojos. El cruce puede considerarse como el punto de vista ficticio desde el que los dos objetos quedan alineados en la misma dirección. Si ambos ojos contribuyen por igual a la percepción direccional, el punto de vista cae a mitad de camino entre los ojos. La prevalencia de un ojo desplaza el punto de vista de la posición media. La figura presenta los esquemas de cinco posibilidades, que van desde 100 % de prevalencia del ojo izquierdo al 100 % de prevalencia del ojo derecho (Kommerell et al., 2003). | 42 |
| 1.36. Test de Prevalencia Ocular de Freiburg. El triángulo superior aparece por detrás y el inferior por delante del plano de referencia (montura y patrón de cuadrados) (Kommerell et al., 2003). | 43 |
| 1.37. Test de estereo-equilibrio de Haase. Imágenes presentadas al sujeto (Kommerell et al., 2003). | 44 |
| 1.38. Test de estereo-equilibrio de Haase. Ejemplo de las marcas que debía dibujar el sujeto según su percepción. (Kommerell et al., 2003). | 44 |
| 1.39. Estereotest y gafa polarizada. | 44 |
| 1.40. CHARNWOOD señalando hacia las cuentas (Evans, 2007). | 46 |
| 3.1. Luminancia de los niveles digitales mostrados en el monitor, LR (<i>rojo</i>), LG (<i>verde</i>) y LB (<i>azul</i>). | 65 |
| 3.2. Comparación de la luminancia de los niveles de gris obtenidos por la suma de los valores de los fósforos aislados (<i>azul</i>) con la determinación directa mediante luminancímetro (<i>rojo</i>). | 66 |
| 3.3. Estabilidad de la luminancia del monitor. Los valores de desviación del diagrama de contornos se expresan en unidades de cd/m^2 . A la vista de los resultados, se puede considerar que la luminancia del monitor es estable en la zona central ± 7.5 cm. | 67 |
| 3.4. Pareja de estímulos según se presentan al participante. | 69 |
| 3.5. Estímulos presentados a los participantes. | 69 |
| 3.6. Vista de mentonera, separador, PC, pantalla con las imágenes (estímulos) y monitor accesorio de control. | 71 |
| 3.7. Vista de los puestos del participante y del examinador. | 72 |
| 3.8. Interfaz completo del dispositivo incluyendo los estímulos presentados al participante y las ventanas de datos y control del experimento. | 72 |
| 3.9. Vista del separador desde la perspectiva del paciente para cada ojo. | 73 |
| 3.10. Vista de las imágenes (estímulos) desde la perspectiva del paciente. | 73 |
| 4.1. Mapa de prevalencia ocular en función de la frecuencia y el contraste para el ojo derecho e izquierdo respectivamente. | 88 |
| 4.2. Interpretación del mapa de prevalencia ocular dividiéndolo en zonas. | 89 |
| 4.3. Mapas de prevalencia ocular con prevalencia/dominancia muy marcada del OD. | 90 |
| 4.4. Mapas de prevalencia ocular con prevalencia/dominancia muy marcada del OI. | 91 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.5. | Mapa que muestra mayor prevalencia del OD para altas frecuencias (correspondiente al paciente 003). | 92 |
| 4.6. | Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias (correspondiente al paciente 041). | 92 |
| 4.7. | Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para altos contrastes (correspondiente al paciente 049). | 93 |
| 4.8. | Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para bajos contrastes (correspondiente al paciente 023). | 93 |
| 4.9. | Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para altas frecuencias y bajos contrastes (correspondiente al paciente 102). | 94 |
| 4.10. | Mapa que muestra mayor prevalencia del OD para altas frecuencias y altos contrastes (correspondiente al paciente 027). | 94 |
| 4.11. | Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias y bajos contrastes (correspondiente al paciente 107). | 95 |
| 4.12. | Mapa que muestra mayor prevalencia del OI para bajas frecuencias y altos contrastes (correspondiente al paciente 89). | 95 |
| 4.13. | Mapas que no muestra prevalencia clara de un ojo sobre el otro. | 96 |
| 5.1. | Representación de los resultados de las pruebas de dominancia direccional de lejos y de cerca. | 109 |
| 5.2. | Representación de los resultados de las pruebas de dominancia sensorial de lejos y de cerca. | 110 |
| 5.3. | Representación de los resultados de las pruebas de prevalencia ocular con el nuevo método para el total de las frecuencias, para altas frecuencias y contrastes (HFHC) y para bajas frecuencias y contrastes (LFLC). | 112 |
| B.1. | Luminancia generada por cada valor digital para cada canal y la escala de grises. Rojo para el subpixel rojo, verde para el subpixel verde, azul para el subpixel azul y negro para los tres subpíxeles al mismo tiempo. | 136 |
| C.1. | Mapa del paciente 001 | 140 |
| C.2. | Mapa del paciente 002 | 140 |
| C.3. | Mapa del paciente 003 | 140 |
| C.4. | Mapa del paciente 004 | 141 |
| C.5. | Mapa del paciente 005 | 141 |
| C.6. | Mapa del paciente 006 | 141 |
| C.7. | Mapa del paciente 007 | 142 |
| C.8. | Mapa del paciente 008 | 142 |
| C.9. | Mapa del paciente 009 | 142 |
| C.10. | Mapa del paciente 010 | 143 |
| C.11. | Mapa del paciente 011 | 143 |
| C.12. | Mapa del paciente 012 | 143 |
| C.13. | Mapa del paciente 013 | 144 |
| C.14. | Mapa del paciente 014 | 144 |

| | | |
|-------|---------------------------------|-----|
| C.15. | Mapa del paciente 015 | 144 |
| C.16. | Mapa del paciente 016 | 145 |
| C.17. | Mapa del paciente 017 | 145 |
| C.18. | Mapa del paciente 018 | 145 |
| C.19. | Mapa del paciente 019 | 146 |
| C.20. | Mapa del paciente 020 | 146 |
| C.21. | Mapa del paciente 021 | 146 |
| C.22. | Mapa del paciente 022 | 147 |
| C.23. | Mapa del paciente 023 | 147 |
| C.24. | Mapa del paciente 024 | 147 |
| C.25. | Mapa del paciente 025 | 148 |
| C.26. | Mapa del paciente 026 | 148 |
| C.27. | Mapa del paciente 027 | 148 |
| C.28. | Mapa del paciente 028 | 149 |
| C.29. | Mapa del paciente 029 | 149 |
| C.30. | Mapa del paciente 030 | 149 |
| C.31. | Mapa del paciente 031 | 150 |
| C.32. | Mapa del paciente 032 | 150 |
| C.33. | Mapa del paciente 033 | 150 |
| C.34. | Mapa del paciente 034 | 151 |
| C.35. | Mapa del paciente 035 | 151 |
| C.36. | Mapa del paciente 036 | 151 |
| C.37. | Mapa del paciente 037 | 152 |
| C.38. | Mapa del paciente 038 | 152 |
| C.39. | Mapa del paciente 039 | 152 |
| C.40. | Mapa del paciente 040 | 153 |
| C.41. | Mapa del paciente 041 | 153 |
| C.42. | Mapa del paciente 042 | 153 |
| C.43. | Mapa del paciente 043 | 154 |
| C.44. | Mapa del paciente 044 | 154 |
| C.45. | Mapa del paciente 045 | 154 |
| C.46. | Mapa del paciente 046 | 155 |
| C.47. | Mapa del paciente 047 | 155 |
| C.48. | Mapa del paciente 048 | 155 |
| C.49. | Mapa del paciente 049 | 156 |
| C.50. | Mapa del paciente 050 | 156 |
| C.51. | Mapa del paciente 051 | 156 |
| C.52. | Mapa del paciente 052 | 157 |
| C.53. | Mapa del paciente 053 | 157 |
| C.54. | Mapa del paciente 054 | 157 |
| C.55. | Mapa del paciente 055 | 158 |
| C.56. | Mapa del paciente 056 | 158 |
| C.57. | Mapa del paciente 057 | 158 |
| C.58. | Mapa del paciente 058 | 159 |

| | | |
|--------|---------------------------------|-----|
| C.59. | Mapa del paciente 059 | 159 |
| C.60. | Mapa del paciente 060 | 159 |
| C.61. | Mapa del paciente 061 | 160 |
| C.62. | Mapa del paciente 062 | 160 |
| C.63. | Mapa del paciente 063 | 160 |
| C.64. | Mapa del paciente 064 | 161 |
| C.65. | Mapa del paciente 065 | 161 |
| C.66. | Mapa del paciente 066 | 161 |
| C.67. | Mapa del paciente 067 | 162 |
| C.68. | Mapa del paciente 068 | 162 |
| C.69. | Mapa del paciente 069 | 162 |
| C.70. | Mapa del paciente 070 | 163 |
| C.71. | Mapa del paciente 071 | 163 |
| C.72. | Mapa del paciente 072 | 163 |
| C.73. | Mapa del paciente 073 | 164 |
| C.74. | Mapa del paciente 074 | 164 |
| C.75. | Mapa del paciente 075 | 164 |
| C.76. | Mapa del paciente 076 | 165 |
| C.77. | Mapa del paciente 077 | 165 |
| C.78. | Mapa del paciente 078 | 165 |
| C.79. | Mapa del paciente 079 | 166 |
| C.80. | Mapa del paciente 080 | 166 |
| C.81. | Mapa del paciente 081 | 166 |
| C.82. | Mapa del paciente 082 | 167 |
| C.83. | Mapa del paciente 083 | 167 |
| C.84. | Mapa del paciente 084 | 167 |
| C.85. | Mapa del paciente 085 | 168 |
| C.86. | Mapa del paciente 086 | 168 |
| C.87. | Mapa del paciente 087 | 168 |
| C.88. | Mapa del paciente 088 | 169 |
| C.89. | Mapa del paciente 089 | 169 |
| C.90. | Mapa del paciente 090 | 169 |
| C.91. | Mapa del paciente 091 | 170 |
| C.92. | Mapa del paciente 092 | 170 |
| C.93. | Mapa del paciente 093 | 170 |
| C.94. | Mapa del paciente 094 | 171 |
| C.95. | Mapa del paciente 095 | 171 |
| C.96. | Mapa del paciente 096 | 171 |
| C.97. | Mapa del paciente 097 | 172 |
| C.98. | Mapa del paciente 098 | 172 |
| C.99. | Mapa del paciente 099 | 172 |
| C.100. | Mapa del paciente 100 | 173 |
| C.101. | Mapa del paciente 101 | 173 |
| C.102. | Mapa del paciente 102 | 173 |

| | |
|--|-----|
| C.103. Mapa del paciente 103 | 174 |
| C.104. Mapa del paciente 104 | 174 |
| C.105. Mapa del paciente 105 | 174 |
| C.106. Mapa del paciente 106 | 175 |
| C.107. Mapa del paciente 107 | 175 |
| C.108. Mapa del paciente 108 | 175 |

Índice de tablas

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.1. | Valores de α | 66 |
| 3.2. | Relación de resultados optométricos hallados en la población estudiada. Abreviaturas usadas: n: número de sujetos, DE: desviación estándar, D: dioptrías, BI: base interna, Δ : dioptrías prismáticas, BE: base externa. | 74 |
| 4.1. | Resultados de dominancia ocular direccional para lejos y para cerca de los 108 sujetos. | 80 |
| 4.2. | Análisis de resultados de dominancia direccional de lejos y de cerca. | 81 |
| 4.3. | Análisis de la concordancia entre dominancia direccional de lejos y dominancia direccional de cerca. | 82 |
| 4.4. | Resultados de dominancia ocular sensorial para lejos y para cerca de los 108 sujetos. | 83 |
| 4.5. | Análisis de resultados de dominancia sensorial de lejos y de cerca. | 84 |
| 4.6. | Análisis de la concordancia entre dominancia sensorial de lejos y dominancia sensorial de cerca. | 85 |
| 4.7. | Análisis de la concordancia entre dominancia sensorial de lejos y dominancia direccional de lejos. | 86 |
| 4.8. | Análisis de la concordancia entre dominancia sensorial de cerca y dominancia direccional de cerca. | 87 |
| 4.9. | Prevalencia ocular de los 108 participantes para el total de frecuencias y contrastes. | 98 |
| 4.10. | Prevalencia de cada ojo de los 108 participantes para imágenes con alta frecuencia y alto contraste (HFHC) (tareas de cerca). | 99 |
| 4.11. | Valores de prevalencia de cada ojo obtenidos para cada uno de los 108 participantes según sus respuestas ante las imágenes con baja frecuencia y bajo contraste (LFLC) (tareas de lejos). | 100 |
| 4.12. | Análisis de los resultados del ojo con mayor valor de prevalencia según las respuestas para el total de las frecuencias y contrastes (Promedio_Prev_Tot), para las frecuencias y contrastes altos (HFHC) y para las frecuencias y contrastes bajos (LFLC). | 101 |
| 4.13. | Análisis de las diferencias obtenidas en el ojo prevalente obtenido según las respuestas ante todas las frecuencia y contrastes (PrevTotal), altas frecuencias y contrastes (HFHC) y bajas frecuencias y contrastes (LFLC). | 102 |
| 4.14. | Valores p del test ANOVA cruzado entre los diferentes valores de dominancia y prevalencia | 104 |
| 4.15. | Tabla de valores Q al realizar la prueba de Cochran cruzada | 105 |
| B.1. | Tripletes digitales correspondientes a los colores grises que generan niveles de luminancia entre pasos de gris en orden ascendente. | 138 |



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA