



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE MEDICINA

Máster en Rehabilitación Visual

MEMORIA TRABAJO FIN DE MÁSTER TITULADO

Plasticidad cerebral del córtex visual

Presentado por Salvador Solano Molina

Tutelado por: Rubén Cuadrado Asensio

En Valladolid a 22 de junio de 2019

ÍNDICE

ÍNDICE.....	I
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	III
RESUMEN.....	IV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Baja visión por DMAE, ACV y otras patologías.....	2
1.2 Etiología	2
1.3 Epidemiología.....	3
1.4 Factores de riesgo	4
1.5 Características Clínicas	6
1.6 Consecuencias. Visión con baja visión.....	6
1.7 Tratamiento mediante rehabilitación visual.....	6
2 OBJETIVOS.....	7
3 MATERIAL Y MÉTODO.....	8
3.1 Criterios de inclusión.....	8
3.2 Criterios de exclusión	8
4 RESULTADOS	10
4.1 PLASTICIDAD CEREBRAL	12
4.1.1 Métodos y técnicas usadas en los experimentos para estudiar la plasticidad cerebral.....	15
4.1.2 Estudio de la plasticidad cerebral para el diseño y ejecución de los tratamientos rehabilitación visual.....	20
4.1.3 Uso de la plasticidad cerebral para el diseño y ejecución de los tratamientos rehabilitación visual.....	24
5 DISCUSIÓN	28
6 CONCLUSIONES	30
7 BIBLIOGRAFÍA.....	31

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ACV	Accidente Cerebro-Vascular
AIT	Accidente Isquémico Transitorio
AV	Agudeza Visual
BV	Baja visión
BOLD	Nivel de oxígeno dependiente en sangre (<i>Blood Oxygen Level Dependent</i>)
DMAE	Degeneración Macular Asociada a la Edad
DNN	Red Neuronal Profunda (<i>Deep Neural Network</i>)
DPMM	Modelo Dinámico de Supervisión del Rendimiento (<i>Dinamic Performance-Monitoring Model</i>)
EEG	Electroencefalograma
EPR	Epitelio Pigmentario de la Retina
fMRI	Imagen por Resonancia Magnética Funcional (<i>Functional Magnetic Resonance Imaging</i>)
LPZ	Proyección de la Zona Lesionada (<i>Lesion Projection Zone</i>)
MAIA	Prueba de Integridad Macular (<i>Macular Integrity Assesment</i>)
MAP	Perimetría Adaptativa Multilínea (<i>Multiline Adaptative Perimetry</i>)
MoE	Mezcla de Expertos (<i>Mixture of Experts</i>)
OCT	Tomografía de Coherencia Óptica (<i>Optical Coherence Tomography</i>)
OMS	Organización Mundial de la Salud
PL	Aprendizaje Perceptivo (<i>Perceptive Learning</i>)
PRL	Locus Preferido Retiniano (<i>Preferred Retinal Locus</i>)
RM	Resonancia Magnética
RV	Rehabilitación Visual
SEM	Modelo de Ecuación Estructural (<i>Structural Equation Modeling</i>)
TC	Tomografía Computerizada
tDCS	Estimulación Transcraneal con Corriente Directa (<i>Transcraneal Direct Current Stimulation</i>)
TFM	Trabajo Fin de Máster
TMS	Estimulación Magnética Transcraneal (<i>Transcraneal Magnetic Stimulation</i>)
TV	Televisión
VPL	Aprendizaje visual perceptivo (<i>Visual Perceptive Learning</i>)

RESUMEN

Nuestro cerebro ofrece muchas posibilidades, muchas más de las que creemos. La plasticidad cerebral es una de ellas y conforme avanza la ciencia médica se va descubriendo el abanico de oportunidades que presenta.

En este trabajo se pretende hacer un pequeño repaso a los problemas de los pacientes que se tratan en las unidades de rehabilitación visual (RV), como son la degeneración macular asociada a la edad (DMAE), accidentes cerebrovasculares (ACV), retinopatías, etc., su prevalencia, etiología y epidemiología. Se ha intentado hacer un acercamiento modesto al amplio campo de la plasticidad cerebral. La literatura científica existente en forma de artículos es muy extensa, y en muchos casos compleja de asimilar y resumir. Entran en juego muchos factores a la hora de poder evaluar qué es la plasticidad cerebral: los mecanismos que la activan y modulan, cuándo y cómo se presenta, así como qué podemos esperar de ella. Sus autores reflejan en las publicaciones la actualidad de las técnicas y modelos que permiten estudiar e interpretar los resultados de los experimentos llevados a cabo. Existen muchos modelos y técnicas, pero no nos debe extrañar, al ser la plasticidad cerebral una materia de actualidad que genera acalorados debates en la comunidad científica.

Existen claves que pueden ayudar a comprender mejor hacia qué dirección debemos de dirigirnos en nuestra formación continua como profesionales de la RV. La producción científica al respecto es rica y variada, se presentan muchos métodos y técnicas. En el campo de la plasticidad cerebral existen muchos enfoques a la hora de abordar el entrenamiento visual de los pacientes, cada científico elabora sus propios métodos, o usa los que ya están creados, con sus propias baterías de estímulos o tareas; así como también con su propia forma de evaluación. Diversos autores coinciden en algunas técnicas, las cuáles parecen ser fáciles de aplicar y que ofrecen resultados satisfactorios. Otros son más arriesgados y proponen el uso de técnicas más novedosas aun a riesgo de errar en los resultados a largo plazo, aunque en un campo como es el de la plasticidad cerebral no se pueden dar cosas por sentado.

Aunque no todos se dirigen en la misma dirección, sí son importantes los descubrimientos y avances que van haciendo. Unos son más fáciles de aplicar en la práctica diaria y otros requieren mayor complejidad y por tanto son difícilmente reproducibles fuera de un laboratorio.

Como punto final es, necesario recalcar que todos los autores implicados parecen coincidir en tener una visión responsable y optimista al respecto del uso de la plasticidad cerebral en los tratamientos de RV, ya que en algunos casos se ve lo laborioso que resulta el llevar a cabo los experimentos con pacientes, así como la paciencia que deben de tener para procesar, analizar y mostrar los resultados de la forma más rigurosa posible.

Palabras Clave

[plasticidad cerebral], [aprendizaje perceptivo], [DMAE], [córtex visual],
[rehabilitación visual]

1 INTRODUCCIÓN

Nuestra meta, como sociedad que va avanzando con el paso del tiempo, es la de mantener y mejorar nuestra calidad de vida e ir luchando contra los avatares negativos de la propia vida (deterioro por envejecimiento, enfermedades, accidentes vasculares, episodios cerebrales, etc.). Todos sabemos lo importante que es llevar una vida con una salud óptima y más aún cuando nos vemos en algún episodio que implique pérdida de esta o la de nuestros familiares y amigos.

Los profesionales que nos dedicamos a las ciencias de la visión vemos como en nuestros pacientes se va mermando la capacidad visual conforme va pasando el tiempo, sobre todo cuando ya están en la tercera edad. Debemos, y además queremos, dar solución a los mismos cuando los pacientes acuden a nuestras consultas con la esperanza de que podamos regenerarles o restituirles la función visual perdida, por patologías como DMAE, ACV, etc. Para ello disponemos de herramientas, además de tratamientos de RV, los cuales, aunque no restituyen la función perdida sí que ayudan a compensarla mediante ayudas visuales y técnicas, entrenamiento en rehabilitación visual, reeducación del paciente y de los familiares, etc. Aunque por nuestra parte, como profesionales, estaremos siempre a la entera disposición de nuestros pacientes, en muchas ocasiones nos encontramos con pacientes que debido a la pérdida visual se acompañan de un cuadro psicológico de ansiedad y/o depresión. Ello hace que sea imprescindible el trabajo multidisciplinar con otros profesionales para poder llevar los tratamientos de RV a buen término.

Conforme la ciencia médica va avanzando vamos conociendo mejor el funcionamiento del cerebro humano. Se abre todo un horizonte de posibilidades gracias a las nuevas tecnologías implementadas en medicina, como la imagen por resonancia magnética funcional (*functional magnetic resonance imaging, fMRI*) entre otras, que nos permiten conocer de forma cada vez más en detalle los entresijos de nuestro cerebro. Esto nos ayudará a ir en la dirección de poder conocer cómo funciona la plasticidad cerebral y poder trabajar en esa dirección. Además, nos supondría una mejora muy sustancial el poder aplicar las técnicas o métodos que pudieran activar los mecanismos propios de la plasticidad para intentar restablecer la función visual perdida al máximo posible.

Aunque los tratamientos actuales en RV ayudan a muchos pacientes a mejorar su calidad de vida todavía quedan casos en los que, con dichas técnicas, no se consigue mejorar la calidad de vida del paciente ni cumplir sus expectativas, con el riesgo de que acabe abandonando el tratamiento de RV, llegando a poder causarnos cierta impotencia como profesionales. Los pacientes de la tercera edad suelen ser más reacios a participar en sesiones de RV, bien porque presentan problemas psicológicos asociados, como depresión, porque son negativos en cuando a las expectativas y no desean esforzarse para los hipotéticos resultados que se les plantea, o porque las sesiones de RV son muchas y no pueden desplazarse. Se convierte en un bucle que se retroalimenta, sobre todo, para los pacientes que sufren de depresión o ansiedad producida por la pérdida visual. Por lo tanto, el poder disponer de métodos o técnicas que pudiesen ayudar a restaurar realmente la función perdida nos permitiría mejorar sensiblemente la vida de los pacientes sobre todo de aquellos cuyos casos son más complejos.

1.1 Baja visión por DMAE, ACV y otras patologías

Las personas con baja visión (BV) que acuden a los centros de RV suelen ser pacientes que han perdido parte o gran parte de su función visual de forma monocular o binocular. Se considera paciente de BV a todo aquel con agudeza visual (AV) igual o menor a 6/18 y/o un campo visual inferior a 20°, ([OMS, 1993](#)). Dependiendo de la patología ésta puede haber sido desarrollada de forma lenta o de forma agresiva, como la DMAE en su forma seca o en su forma húmeda, respectivamente, o inclusive situaciones sobrevenidas como el ACV, que cambia la percepción del paciente sobre sí mismo y sobre su independencia. Además, existen otras patologías que van disminuyendo la función visual del paciente: retinopatía diabética, retinosis pigmentaria (RP), glaucoma, etc. Todas estas situaciones acaban provocando baja visión, pero de manera distinta.

1.2 Etiología

Dos son las patologías en las cuales se va a centrar en esta revisión bibliográfica, la DMAE y los ACV.

La DMAE puede ser de dos tipos:

- Seca o atrófica: es la más frecuente (en torno al 90%), ([Innova Ocular, 2019](#)). Suele tener una evolución lenta (se van perdiendo células nerviosas en la zona de la mácula) y va asociada al envejecimiento propio del ser humano con lo cual permite al paciente ir tomando consciencia de la pérdida de la función visual que implica.
- Húmeda o exudativa: es menos frecuente (en torno al 10%) ([Innova Ocular, 2019](#)). Es muy agresiva y conduce a la pérdida de función visual (se van creando tejidos de forma descontrolada provocando pequeñas hemorragias) en poco tiempo. Es una situación muy seria y que además al paciente apenas le da tiempo a ir asimilando la pérdida tan brusca de la función visual.

El ACV también conocido como ictus puede ser clasificado de dos maneras:

- Isquemia cerebral: es el tipo de ataque cerebral más común según [Legge y Cheung, \(2016\)](#). Está causado por un coágulo de sangre que tapona un vaso sanguíneo en el cerebro haciendo que no llegue el riego sanguíneo necesario para la supervivencia de las zonas adyacentes. Si se trata de su forma transitoria, AIT, solamente se habrá bloqueado dicho riego por unos instantes y no llegará a producir daño ni muerte de los tejidos.
- Hemorragia cerebral: este tipo es menos común según [Legge y Cheung, \(2016\)](#), se produce por la rotura de un vaso sanguíneo y éste sangre dentro del cerebro. Al interrumpirse el riego sanguíneo, por rotura del vaso que lo conduce, a la zona afectada ocurrirá que se empezaran a morir los tejidos por falta de oxígeno y nutrientes.

1.3 Epidemiología

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018), a nivel mundial hay 1.300 millones de personas que viven con algún tipo de deficiencia visual, de las cuales 217 millones tienen una deficiencia visual de moderada a grave y 36 millones son ciegas. La mayoría de las personas con mala visión deficiente tiene más de 50 años.

Según los datos en España se calcula que en torno a 300.000 personas sufren de DMAE de las cuales solamente 130.000 están diagnosticadas. Esta patología tiene una prevalencia del 6,4% para personas de 60 y 75 años y aumenta al 15-20% para mayores de 75 años. Teniendo en cuenta que en nuestro país hay en torno a 6,5 millones de personas mayores de 65 años y que dentro de 20 años esa cifra se incrementará hasta los 8 millones, nos hace pensar en la gran repercusión que tiene en la tercera edad. (FISABIO, 2016). Como dato adicional, según Cheung y Legge, (2005), la prevalencia de la DMAE en la población caucásica es especialmente seria pues dicha raza acapara el 54% (dato tomado en 2004 por la Eye Disease Prevalence Research Group) de todos los pacientes a nivel mundial.

En cuanto los ACV la incidencia anual del ictus en España es de unas 150 personas por cada 100.000 y para los accidentes isquémicos transitorios (AIT) es de unas 35-60 personas por cada millón, (Díaz-Guzmán, Egido, Abilleira, Barberá y Gabriel, 2007). Por tanto la prevalencia en personas mayores de 65 años para el ictus es del 4% al 8% y para los AIT de entre el 2% y el 3%.

1.4 Factores de riesgo

En la DMAE, tanto seca o como húmeda, existen factores modificables, podemos modificar a voluntad con nuestra conducta, y no modificables, inherentes a nuestra persona y que no se pueden controlar:

- Modificables:
 - Tabaquismo: Se ha visto que el tabaco, el factor más vinculado, multiplica por cinco el riesgo de sufrir DMAE (Fundación IMO, 2014). Debido, en parte, a que se produce una reducción del oxígeno que llega a retina.
 - Dieta: Una alimentación rica en grasas tales como las grasas vegetales, las mono-insaturadas, poli-insaturadas y ácido linoleico aumentan el riesgo.
 - Radiación solar: La exposición a la radiación ultravioleta (UV) de los rayos solares hace a la larga la retina se vaya deteriorando y vaya perdiendo su capacidad metabólica; el epitelio pigmentario de la retina, fundamental para el metabolismo de la retina, se va deteriorando.

- No modificables:
 - Herencia familiar: Tener predisposición genética.
 - Edad: A medida que vamos sumando años de vida el metabolismo de la retina se va deteriorando, así como su capacidad para adecuar y limpiar el entorno retiniano de los subproductos presentes, los cuales empiezan a generar problemas.
 - Hipertensión.

Se está viendo en los resultados de algunas investigaciones que el consumo de frutas y vegetales puede ser importante para prevenir su aparición además del consumo de grasas omega 3 y el consumo de pescado ([Martin Mocerrea y Lim, 2006](#)). Conociendo los factores de riesgo es más fácil el poder manejar las probabilidades de aparición de la DMAE educando a los pacientes en su cuidado.

En los ACV, los factores de riesgo modificables y no modificables son:

- Modificables:
 - Tabaquismo: Fumar aumenta el riesgo de padecer ACV.
 - Alimentación: Dietas ricas en grasas perjudican, entre otras cosas, al normal funcionamiento de nuestras arterias y venas.
 - Hipertensión arterial: Propicia la aparición de arterioesclerosis en los vasos sanguíneos y de trombosis ([Fundación Española del corazón, 2018](#)).
 - Drogas: Consumir drogas puede afectar al normal funcionamiento de la circulación sanguínea, alterando la autorregulación cerebrovascular.
 - Sedentarismo: Hacer ejercicio ayuda al buen funcionamiento del corazón.
- No modificables:
 - Edad: La probabilidad de sufrir un ACV aumenta con la edad.
 - Sexo: Los hombres tienen mayor riesgo de sufrir un ACV que las mujeres.

- Genética:
- Patologías: Las patologías que afectan a la circulación sanguínea pueden aumentar el riesgo.

1.5 Características Clínicas

Como se ha descrito previamente, la DMAE puede ser seca o atrófica, o húmeda o exudativa. En ambos casos será necesario realizar pruebas complementarias (retinografía, angiografía, tomografía óptica de coherencia (*optical coherence tomography, OCT*)), para poder analizar los signos clínicos que presentan. Dichas técnicas son imprescindibles para el diagnóstico y seguimiento de la patología pues permiten valorar la eficacia del tratamiento, así como la expansión o empeoramiento de la patología. Además, como se verá más adelante, estas técnicas nos ayudarán de cara al posterior tratamiento de RV.

En el caso de los ACV los signos clínicos se analizan con la ayuda de la tomografía computarizada (TC), la angiografía, así como también una resonancia magnética (RM). Además, la exploración física previa por parte del médico es vital incluso antes de realizar las pruebas complementarias anteriormente citadas.

1.6 Consecuencias. Visión con baja visión.

La DMAE y los ACV limitan la función visual, bien a nivel de la retina o a nivel cerebral, respectivamente. Esta limitación será proporcional al nivel de afectación de la patología. Aún siendo patologías muy diferentes, dependiendo de en qué parte del sistema visual se esté actuando habrá mayores posibilidades de éxito en tratar las consecuencias.

1.7 Tratamiento mediante rehabilitación visual

Una vez determinado el diagnóstico de la patología y cómo ésta afecta al sistema visual (en qué grado y a qué nivel), se podrá pasar a la parte de la RV para elaborar un tratamiento adecuado y personalizado para cada paciente.

2 OBJETIVOS

1. Recopilar y analizar, mediante revisión bibliográfica, los estudios existentes referentes a la plasticidad cerebral del córtex visual.
2. Describir qué pruebas e indicadores podemos estudiar para conocer la existencia y naturaleza de la plasticidad cerebral.
3. Determinar la importancia de la capacidad de la plasticidad cerebral para el campo de la RV.
4. Analizar la causalidad de la actuación de la plasticidad cerebral para dirigirla y aplicarla a los tratamientos de RV.

3 MATERIAL Y MÉTODO

El método seguido en este trabajo ha sido la modalidad de revisión bibliográfica. Para la recopilación de la información se ha acudido a la red Internet usando páginas web como: PubMed, artículos científicos de páginas web, Wikipedia y libros de autores en formato PDF.

El procedimiento para la búsqueda de información ha sido mediante la inserción de las palabras clave deseadas en el buscador de la página PubMed, siendo el formato: “palabra_clave1 palabra_clave2”, “palabra_clave1” + “palabra_clave2”, así como con tres, cuatro o cinco palabras clave.

3.1 Criterios de inclusión

Los criterios que se siguieron a la hora de seleccionar los artículos han sido:

- Artículos que trataban sobre la plasticidad cerebral centrada en la zona del córtex visual.
- Aquellos que, aunque no se centraban en la zona del córtex visual, sí que trataban los mecanismos que entran en juego en otras zonas para que se pueda producir dicha capacidad.
- Los que trataban sobre posibles métodos y técnicas para poder poner en funcionamiento la plasticidad cerebral que conduce a la recuperación de la función perdida, se trate o no sobre del sentido de la visión.
- Los artículos que han basado sus investigaciones en humanos (aunque algunos reflejan, de forma complementaria, resultados en animales).
- Antigüedad de hasta 5 años. Se han incluido otros que tienen hasta 10 años y excepcionalmente uno de hace 14 años, por su gran afinidad con el tema.
- Selección individual de autores que centran sus investigaciones en la plasticidad del córtex visual cerebral.

3.2 Criterios de exclusión

- Artículos solo de experimentos en animales. Se ha considerado que dada la

temática hay suficientes estudios realizados con humanos.

- Artículos densos y específicos, centrados en conceptos teóricos y básicos, poco relacionados con la aplicación en rehabilitación visual.
- Artículos centrados en la biología más que en los mecanismos funcionales cerebrales.
- Artículos que son muy similares en contenido y que no aportan más luz sobre el tema.

4 RESULTADOS

Se encontraron los siguientes resultados en la búsqueda:

1º “cortical plasticity” -> 1669 artículos.

2º “visual cortical plasticity” -> 116 artículos. De los más relacionados con nuestro tema, se selecciona el siguiente:

Seitz AR (2013). Cognitive Neuroscience: Targeting Neuroplasticity with Neural Decoding and Biofeedback. *Current Biology*. 23(5),R210-2

3º “visual cortical” + “visual perception” -> 558 resultados. Se selecciona el siguiente artículo:

Minamisawa G, Funayama K, Matsumoto N, Matsuki N and Ikegaya Y (2017). Flashing Lights Induce Prolonged Distortions in Visual Cortical Responses and Visual Perception. *eNeuro*. 4(3).

4º “neural plasticity” -> 4814 resultados. Son demasiados y en los primeros 200 resultados no veo nada que me resulte interesante así que pruebo con otras palabras clave.

5º “neural development” + “networks” -> 240 resultados. Se seleccionó el que parece más interesante:

Dick AS, Solodkin A and Small SL (2010). Neural development of networks for audiovisual speech comprehension. *Brain and language*. 114(2),101-14.

6º “visual cortical mechanism” -> 3331 resultados. De los más recientes, se seleccionó el siguiente:

Salomão RC, Martins ICVDS, Risuenho BBO, Guimarães DL, Silveira LCL, Ventura DF, Souza GS (2019). Visual evoked cortical potential elicited by pseudoisochromatic stimulus. *Documenta Ophthalmologica*. 138(1),43-54.

7º “perceptual learning” -> 1798 resultados. Se refina la búsqueda con un tercer término: “modeling”.

8º “perceptual learning” + “modeling” -> 37 resultados. Se seleccionó:

Wenliang LK and Seitz AR (2018). Deep Neural Networks for Modeling Visual Perceptual Learning. *Journal of Neuroscience*. 38(27),6028-6044.

9º “neurological repair” + “after stroke” -> Un único resultado:

Small SL, Buccino G and Solodkin A (2013). Brain repair after stroke--a novel neurological model. *Natural Reviews: Neurology*. 9(12),698-707.

10º “visual córtex” + “gap” -> 190 resultados. Se seleccionó:

Cottureau BR, McKee SP and Norcia AM. (2012). Bridging the gap: global disparity processing in the human visual córtex. *Journal of Neurophysiology*. 107(9),2421-9.

11º “brain plasticity visual rehabilitation” -> 86 resultados. Se seleccionaron:

Legge GE, Chung STL (2016). Low Vision and Plasticity: Implications for Rehabilitation. *Annual review of vision science*. 2,321-43.

Cheung SH, Legge GE (2005). Functional and cortical adaptations to central vision loss. *Visual Neuroscience*. 22(2):187-201.

En la búsqueda por autores específicos en esta área:

1º Seitz AR[Author]” -> 82 artículos de este autor y se seleccionaron:

Maniglia M and Seitz AR (2018). A New Look at Visual System Plasticity. *Trends in cognitive sciences*. 23(2),82-83.

Deveay J, Ozer DJ and Seitz AR (2014). Improved vision and on-field performance in baseball through perceptual learning. *Current Biology*. 24(4),R146-7.

Seitz AR (2017). Perceptual learning. *Current Biology*. 27(13),R631-6.

Sotiropoulos G, Seitz AR and Seriès P (2018). Performance-monitoring integrated reweighting model of perceptual learning. *Vision Research*. 152,17-39.

Sotiropoulos G, Seitz AR and Seriès P (2014). Contrast dependency and prior expectations in human speed perception. *Vision Research*. 97,16-23.

Seitz AR (2018). A New Framework of Design and Continuous Evaluation to Improve Brain Training. *Journal of cognitive Enhancement*. 2(1),78-87.

Steven M.Thurman et Al. (2018). Multi-line Adaptive Perimetry (MAP): A New Procedure for Quantifying Visual Field Integrity for Rapid Assessment of Macular Diseases. *Translational vision science & technology*. 7(5),28.

2º Maniglia M[Author] Se selecciona por colaborar con Seitz AR-> 23 artículos.

Se seleccionaron los siguientes:

Maniglia M, Cottureau BR, Soler V and Trotter Y (2016). Rehabilitation Approaches in Macular Degeneration Patients. *Frontiers in systems neuroscience*. 27(10),107.

Maniglia M, Soler V, Cottureau B and Trotter Y (2018). Spontaneous and training-induced cortical plasticity in MD patients: Hint from lateral masking. *Scientific reports*. 8(1),90.

4.1 PLASTICIDAD CEREBRAL

La plasticidad cerebral, como capacidad inherente al ser humano, está presente a lo largo de toda la vida, dependiendo mucho de la edad que se tenga, así como de cuando apareció la discapacidad visual. El grado y forma de actuación de la plasticidad cerebral cambia conforme vamos cumpliendo años, como describieron [Dick, Solodkin y Small, \(2010\)](#) en su estudio sobre las redes neuronales implicadas en el proceso de la percepción y procesamiento auditivo y audiovisual. Según los resultados obtenidos tras caracterizar los cambios en las interacciones neuronales mediante la fMRI y el análisis estadístico de Modelado de Ecuación Estructural (*Structural Equation Modeling, SEM*) vieron que el funcionamiento del cerebro adulto difiere en algunos aspectos con el del niño. Un dato de esto es que, durante la interacción de un adulto con otras personas mediante el habla, el cerebro del adulto está más influenciado por la información visual percibida durante el habla con la otra persona (lectura de labios, gestos, posturas, etc.) que en el cerebro del niño. Conforme más expuesto se esté a la experiencia perceptual con el lenguaje (así como en la propia emisión del lenguaje) mayor será esta influencia. Según el [Dick, et al. \(2010\)](#), dicha influencia aumenta conforme el niño va creciendo debido a que va adquiriendo experiencia perceptiva con el paso de los años. Se observa la importancia de la experiencia vivida en el desarrollo cerebral, y que será muy importante el haber adquirido la suficiente antes de sufrir una discapacidad visual, o después. Por tanto, su sistema cerebral va madurando e integrando más información procedente de otros sentidos para el procesamiento perceptivo y así poder obtener una respuesta adecuada para interactuar con éxito con el medio que le rodea.

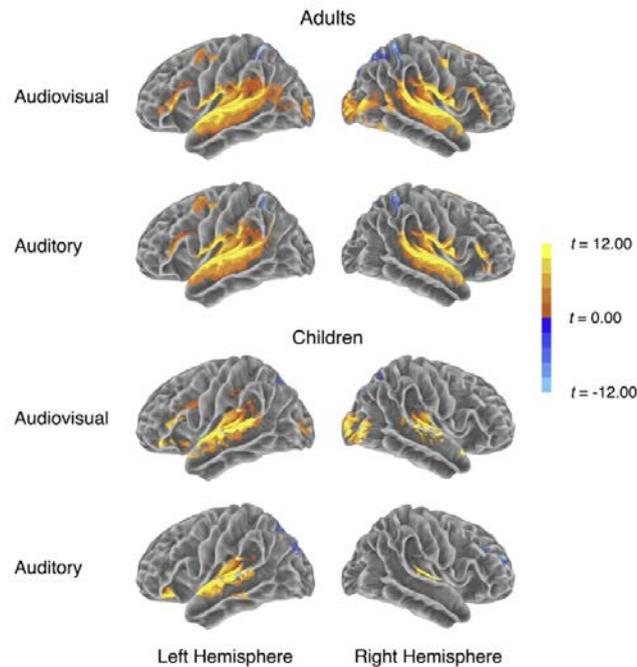


Figura 1. Imagen fMRI de las regiones cerebrales activadas durante la interacción con habla en niños y adultos. (Seitz, 2017).

En este mismo artículo se señala que en personas con problemas auditivos, como es el caso concreto de los pacientes con implantes cocleares, se ha demostrado como la plasticidad cerebral juega un papel importante; cabe recordar que también es crucial el hecho de que la discapacidad haya aparecido antes o después de los 7 años. Esto hace que la influencia de la percepción visual en la comprensión del habla se haya visto acelerada para poder obtener una buena integración y comprensión cerebral de la conversación con la otra persona, sobre todo en pacientes con buena inteligibilidad a la hora de hablar en la cual la influencia es todavía mayor. Por tanto, se demuestra que existe una relación entre la propia comprensión audiovisual, que mejora con los años gracias a la plasticidad cerebral, y las interacciones de las regiones cerebrales implicadas que se activan durante el proceso del habla con otra persona, tanto en la percepción del habla como en la propia que se produce. Éste es un mecanismo adaptativo que nos ayuda a poder utilizar todo nuestro potencial para poder sobrevivir en el medio que nos rodea, aunque se vayan presentando dificultades de tipo funcional.

Así pues, viendo la importancia que tiene la edad del paciente en la aparición de la discapacidad visual comenzamos detallando que tenemos varios hitos de

maduración en nuestra capacidad visual, que influye de manera directa en nuestra plasticidad cerebral y en qué podemos esperar de ella: hasta los 6 o 7 años se desarrolla la capacidad de la agudeza visual y de sensibilidad al contraste, y ya en la adolescencia la percepción facial en todo su ámbito (Legge y Chung, 2016). La plasticidad cerebral tiene naturaleza dual, es decir, que tiene dos formas generales de actuar. Para unos casos ha ido activando el solapamiento de funciones provenientes de otros sentidos y favoreciendo cambios a nivel del córtex visual, que es la zona de interés en la que nos centramos. y para otros casos dichas zonas las ha mantenido acotadas para los otros sentidos, no dejando que las neuronas de dentro del córtex visual se vean activadas por otros estímulos que no sean los provenientes del sentido de la vista. Para ayudarnos a aclarar este punto, el que llamamos de la naturaleza dual de la plasticidad cerebral, vamos a clasificar a las personas que tienen baja visión en dos grandes grupos de personas:

a) Estado de la plasticidad cerebral en personas con problemas visuales adquiridos antes de los 7 años de edad

Como se ha visto antes, si bien es importante el estado madurativo de las estructuras visuales funcionales, lo es mucho más el nivel madurativo a nivel del córtex visual que es donde realmente se procesa la información visual. No solamente basta con que se forme y desarrolle adecuadamente la estructura que cumple la función, sino que también es necesario el que alcance el desarrollo madurativo a nivel de experiencia ambiental: como se procesa e integra la información, y como el sistema va aprendiendo conforme interacciona a lo largo del tiempo con el medio que le rodea. Es decir, el haber podido alcanzar todo su potencial gracias a haber estado expuesto a las experiencias propias de la vida.

Para estos casos las soluciones que puede ofrecer la ciencia son más limitadas a día de hoy, pues la plasticidad cerebral ha activado el solapamiento de funciones ante la inexistencia de estímulos visuales, o de estímulos de calidad. Legge y Chung (2016) describieron que, p.ej. dado el caso, en la zona V1 y en la V2 del córtex visual, pueden alojarse funciones propias de otros sentidos como lo son el de la audición y el del tacto; neuronas que inicialmente se ocupaban de

procesar señales propias del sentido de la vista han pasado a procesar señales del sentido de la audición y el tacto. La explicación es que la plasticidad cerebral ha ampliado la zona de neuronas encargadas de procesar las señales haciendo que las limítrofes y sus contiguas, en cascada, participen de la función para darle mayor protagonismo y poder suplir la falta de percepción de información visual. A fin de cuentas, el cerebro necesita recibir y procesar información procedente de los sentidos para poder interactuar con el medio que le rodea y para ello recurre a todos los mecanismos que tenga a su alcance.

b) Estado de la plasticidad cerebral en personas con problemas visuales adquiridos después de los 7 años de edad

Para el segundo grupo, las personas que padecen alguna patología que les provoca baja visión, la plasticidad cerebral según [Legge y Chung, \(2016\)](#) actúa de otra manera. Hace mantener las funciones visuales inalterables en el córtex visual, es decir, que, ante la percepción de estímulos de baja calidad, como puede ser la existencia de cataratas, o la inexistencia de los mismos en alguna zona del córtex visual (por DMAE, ACV, etc.) la zona se mantiene acotada y no se ve solapada por las regiones cerebrales limítrofes. Esto hace que, p.ej., en las personas que sufren cataratas el tratamiento quirúrgico sea una opción bastante exitosa pues, aunque éstas se han ido desarrollando con el paso del tiempo en la edad adulta al retirarlas de forma quirúrgica la visión se recupera en la mayoría de los casos y con bastante AV.

4.1.1 Métodos y técnicas usadas en los experimentos para estudiar la plasticidad cerebral

En los experimentos que se han llevado a cabo es preciso el poder contar con herramientas de evaluación para cuantificar y estudiar los resultados obtenidos en los experimentos, para su control y seguimiento a lo largo del tiempo, lo que llamamos estudios longitudinales. La plasticidad cerebral va ligada al aprendizaje visual perceptivo (*Visual perceptible learning, VPL*); es importante, por tanto, conocer ésta para saber cómo actúa la primera. [Seitz \(2017\)](#) describió

que la percepción es algo que vamos mejorando conforme nos vamos exponiendo a los estímulos con el paso de los años, como es el ejemplo de los radiólogos que van mejorando su capacidad de discernir detalles en las radiografías conforme van teniendo mayor experiencia profesional. Eso sí, la capacidad del aprendizaje perceptivo (*perceptual learning, PL*) va disminuyendo conforme van pasando los años, aunque, como se verá más adelante, con el entrenamiento adecuado se puede mejorar esa tendencia decreciente. Seitz (2017) remarca que el PL en el cerebro adulto es lento y que además para su entrenamiento se debe de proveer un programa de entrenamiento específico, ya que podríamos errar al pensar que cualquier estímulo que presentemos pudiera servir para producir PL; cuando esto no es así. Además, para el PL se deben de tener en cuenta otros factores influyentes, además del estímulo (vemos los diferentes tipos de estímulos en la Figura 2), tales como: el tiempo de exposición al estímulo o tarea, la atención prestada por el sujeto, y el refuerzo realizado. Como dato interesante vemos que el hecho de entrenar el VPL con un determinado tipo de estímulo solamente mejora la capacidad perceptiva para ese tipo concreto de estímulo, pero no para otros; p.ej. entrenar con estímulos de diferentes frecuencias espaciales no hará que se mejore la percepción de estímulos en movimiento, dándose lo que llamamos una hiperespecificidad del estímulo.

Así pues, se ve como cada zona cerebral contribuye de forma específica e individual al aprendizaje perceptivo.

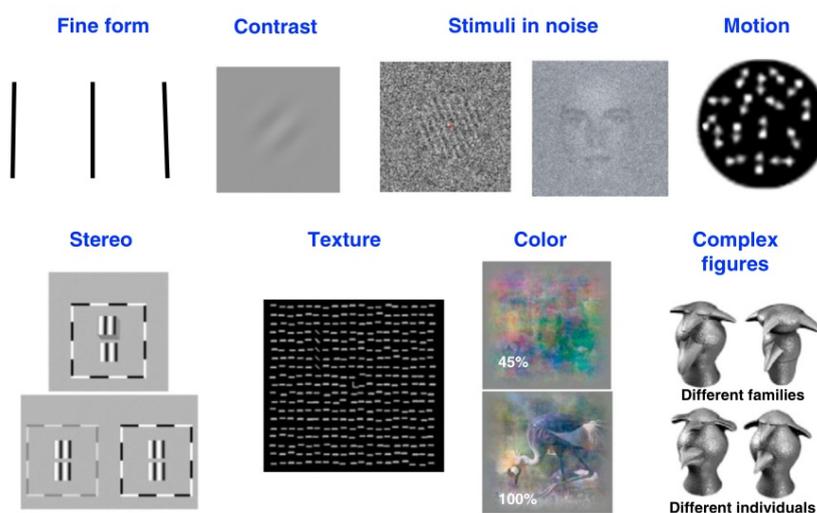


Figura 2. Diferentes tipos de estímulo que se usan para la investigación del VPL, (Seitz, 2017).

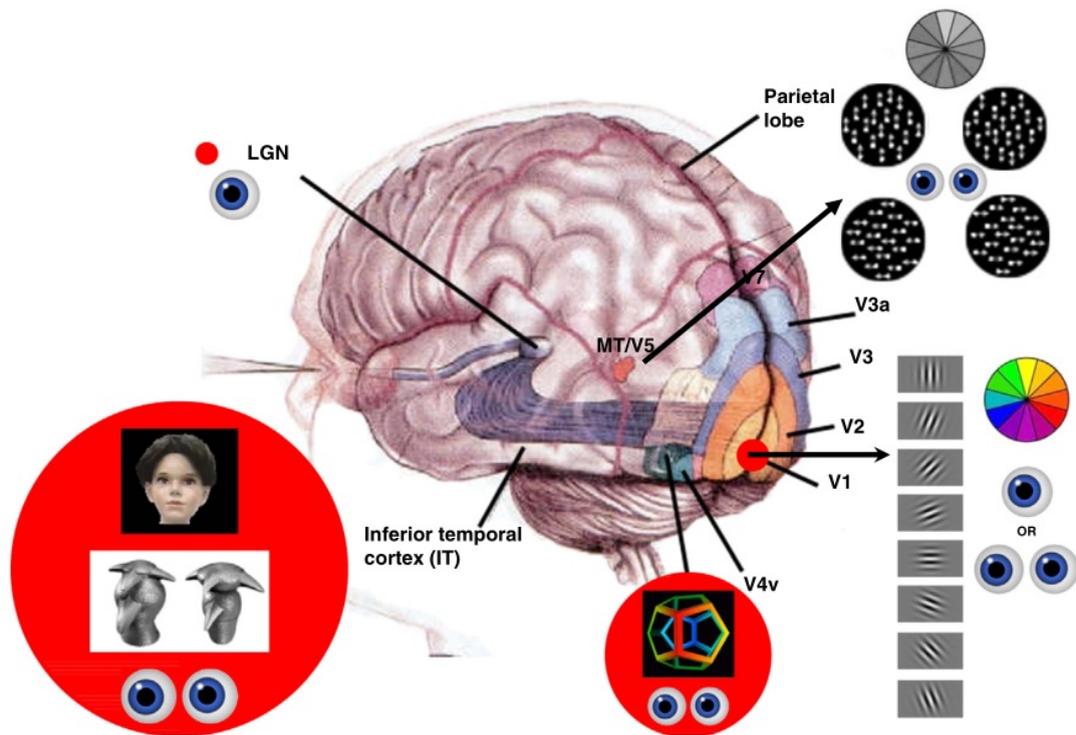


Figura 3. Distintas Zonas cerebrales (V1, V2, V3, etc) que procesan los distintos estímulos usados para estudiar y evaluar la VPL (Seitz, 2017).

Los cambios que va produciendo la plasticidad cerebral, por influencia del VPL, se pueden ir controlando y siguiendo a lo largo del tiempo con cuatro métodos, los cuales son:

- a) Agudeza Visual (AV): Optotipos de Snellen, o optotipos Feinbloom o ETDRS para personas con baja visión (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Test de Snellen



Figura 5. Test ETDRS

- b) Campimetría visual: Se realizará la campimetría con el test más apropiado para la pérdida de campo visual del paciente: DMAE, retinosis pigmentaria, glaucoma, ACV, etc.(Figura 6)



Figura 6. Campimetría Visual Computarizada

- c) Sensibilidad al contraste: Test que evalúan la capacidad de discriminar un objeto sobre el fondo. Se utilizan test de letras con diferente contraste, Pelli-Robson, MARS, o de rejillas sinodales de diferentes frecuencia espacial y contraste. (Figura 7, 8 y 9)

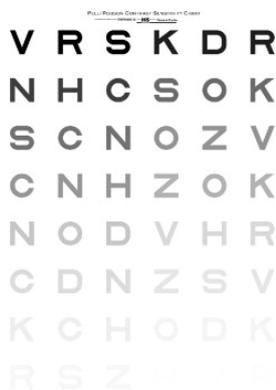


Figura 7. Test Pelli Robson



Figura 8. Test de Mars

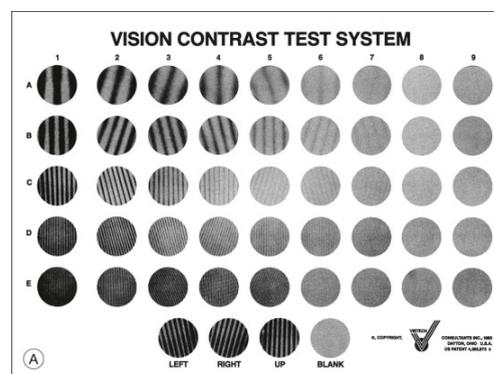


Imagen 9. Test de VCTS

- d) fMRI: Se pueden ver las áreas del cerebro que se activan cuando presentamos los diferentes estímulos al paciente: visuales, auditivos o hápticos. El principio es el siguiente: para un estímulo determinado las neuronas que se encargan de procesar el mismo al activarse precisan de consumir más cantidad de oxígeno y éstas, gracias a la técnica de contraste Nivel de oxígeno dependiente en sangre (*Blood Oxygen Level Dependent, BOLD*), aparecerán representadas en un mapa de color en tiempo real.

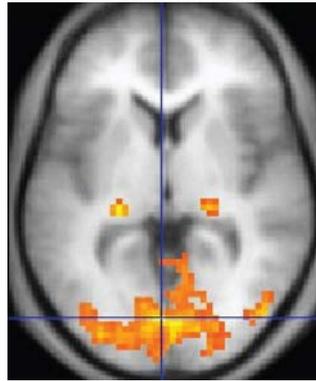


Imagen 10. Imagen cerebral fMRI

En los experimentos analizados las imágenes cerebrales fMRI son las que más información nos da acerca del estado funcional del córtex visual. Esto ayudará a saber cuándo es mejor proponer un tratamiento quirúrgico, de RV, o de otra índole.

[Seitz \(2013\)](#) describió, mediante fMRI, su análisis de experimentos llevado a cabo por otros autores mediante la técnica médica biofeedback, la cual consiste en ir viendo la respuesta de la actividad de las zonas estimuladas con la ayuda de las imágenes fMRI como resultado del entrenamiento mental. Mediante entrenamiento los sujetos han podido mejorar la plasticidad cerebral, así como también mejorar la sensibilidad perceptiva en zonas específicas del córtex visual al haber implicado el uso de esos mecanismos locales de plasticidad cerebral como se detalla a continuación. Los experimentos se basaron en la premisa de que si tenemos en cuenta que si somos capaces de centrar el entrenamiento en alterar la actividad de una zona específica del cerebro podemos aprender sobre la función de ésta y su contribución al comportamiento. Así pues, se entrenaron a los participantes, mediante ensayo y error, para conseguir llegar a cierto estado mental para alterar su actividad cerebral en la zona del córtex visual, usando las técnicas fMRI, para que igualaran un determinado patrón de actividad cerebral (usando patrones de orientación mostrados en una pantalla. Gracias a esta técnica se encontró que para los participantes que entrenaron repetidamente la activación de las zonas V1 y V2 del córtex visual éstas vieron mejorada su sensibilidad aún después de los entrenamientos. Además, se vio que en los

participantes que estaban en ese estado regulado, entrenando mediante patrones de orientación, existía una conexión entre la zona V1 y el lóbulo parietal superior, que es el encargado de la regulación de la atención espacial. En los mismos experimentos que analizó Seitz (2013), se vio que al pedirle a los participantes que utilizaran su imaginación para ver en su cabeza los patrones que se les habían mostrado en sesiones anteriores los patrones fMRI resultaron similares a cuando se les presentó físicamente en la pantalla el estímulo con el que debían de trabajar. Esto nos da a entender la importancia que tiene las imágenes mentales (imaginación) en el PL.

Otro método adicional y que no lleva tanto tiempo es el método psicológico computerizado Perimetría Adaptativa Multilínea (*Multiline Adaptive Perimetry, MAP*), con el cual podemos evaluar la integridad del campo visual de la retina en pacientes con DMAE. Thurman, *et al.* (2018) mostraron que con este método subjetivo se puede evaluar de forma precisa la presencia de metamorfopsias y escotomas. Obviamente el método psicológico MAP es bueno para prevenir y ayudar, aparte de ser una herramienta económica, a hacer un seguimiento en casa de la patología retiniana, mediante su uso en ordenadores de sobremesa, portátiles o incluso en tablets. Además, aporta pruebas para apoyarnos en hacer un diagnóstico del estado general de la retina, pero no se puede ver como sustituto de la tecnología de Prueba de Integridad Macular (*Macular Integrity Assesment, MAIA*) sino más bien como un complemento o herramienta más; pues MAIA es una tecnología de alta precisión y ofrece resultados mucho más fiables y reproducibles.

4.1.2 Estudio de la plasticidad cerebral para el diseño y ejecución de los tratamientos rehabilitación visual

Nuestro objetivo, como profesionales de las ciencias de la visión, es el de poder usar todo el conocimiento a nuestro favor para poder diseñar y ejecutar los tratamientos de RV para obtener los mejores resultados en nuestros pacientes.

La plasticidad cerebral va ligada a la experiencia del sujeto, por tanto, aquí entra en juego el aprendizaje perceptivo visual (*visual perceptive learning, VPL*). Se refiere a los cambios que se dan en la sensibilidad cerebral hacia los

estímulos, bien gracias a la experiencia o bien al entrenamiento con estos, la cual es capaz de activar y modular ésta. Así pues, es conveniente profundizar más en el VPL y ver qué mecanismos internos son los que lo rigen, antes de entrar en su uso para el diseño y posterior ejecución de los tratamientos de RV.

En el estudio de [Wenliang y Seitz, \(2019\)](#), se utilizó la técnica modelo de Red Neuronal Profunda (*Deep Neural Network, DNN*), la cual ofrece da un modelo computacional que ayuda a investigar el VPL, para mostrar que la tarea o el estímulo externo, así como el tipo de estímulo (recordemos la figura 2), provoca cambios en el VPL. El VPL es capaz de activar y modular los mecanismos internos de la plasticidad cerebral, viendo que la actuación de esta va penetrando hacia las capas inferiores cerebrales conforme el estímulo o tarea van requiriendo mayor precisión. De esta forma, gracias a la técnica modelo DNN, se consigue un nuevo método de estudio para el VPL. Esto es muy importante pues, aunque este modelo DNN no está creado específicamente para el VPL, ayuda a comprender mejor los cambios que se dan en las diferentes etapas en la jerarquía de los procesos visuales y entender mejor la cascada de sucesos a lo largo del circuito neuronal en las zonas cerebrales. Del trabajo de [Wenliang y Seitz, \(2019\)](#) se puede extraer la conclusión de que la interacción del sujeto con tareas o estímulos más precisos hace que los mecanismos del VPL hagan que se vean implicadas más capas neuronales en el cerebro, las inferiores.

El uso de modelos computacionales es bastante útil ya que, al enfrentarnos a redes y conexiones neuronales, podemos encontrar en el campo de la informática herramientas que puedan emular, en parte, las características de dichas redes y así poder hacer predicciones y estudios de comportamiento de las mismas. Esto es de ayuda en la investigación de posibles opciones de orientación para el diseño de nuestros tratamientos de RV, sin vernos limitados por la falta de pacientes. El modelo computacional DNN usado por [Wenliang y Seitz, \(2019\)](#), permite hacer predicciones sobre el comportamiento del VPL. Bien es cierto que tiene ciertas limitaciones a la hora de poder conocer la relación existente entre las diferentes áreas cerebrales y el cómo éstas contribuyen en su conjunto al PL. Aún así, se acerca bastante al comportamiento biológico del VPL siendo una herramienta de predicción y testado bastante útil, pues podemos adaptarlo a las diferentes tareas, estímulos y entrenamientos que precisemos para el estudio,

junto con la técnica fMRI.

Las conexiones de las redes o circuitos neuronales procesan mejor la información en el córtex visual conforme más especializados están los circuitos como se puede ver en el estudio de [Cottureau, McKee y Norcia, \(2012\)](#). Según los resultados obtenidos con electroencefalograma (EEG) de Alta Densidad, a mayor especialización del circuito mejor será la sensibilidad al cálculo de la diferencia de la disparidad del estímulo y, además, se pueden tener diferentes grados de especialización del circuito dependiendo de en la zona que se encuentre V1, V2, V3, etc.; recordemos la distribución de las zonas en la figura 3.

[Maniglia y Seitz, \(2018b\)](#) describieron que, en los ratones, el aprendizaje asociativo de las neuronas en V1, que es la zona cerebral que procesa los estímulos procedentes de la fóvea, ayuda a que éstas puedan producir una respuesta más eficiente al estímulo con la implicación de menor número de ellas; mayor eficiencia. Esto es interesante desde el punto de vista de la maduración de las redes neuronales, pues conforme van cogiendo experiencia, el sistema va mejorando su eficiencia. Otro dato interesante que aporta [Maniglia y Seitz, \(2018b\)](#) es que, según los experimentos analizados de otros estudios llevados a cabo en monos, la reorganización neuronal llevada a cabo por los mecanismos de plasticidad cerebral suele ser más exitosa en las zonas corticales A1 (audición) y S1 (tacto) que para V1 (visión). Parece ser que uno de los motivos podría ser debido a la complejidad de la tarea, a mayor complejidad mayor nivel de plasticidad cerebral empleamos. El segundo motivo es que cuando trabajamos la visión de forma habitual y normal, no solamente estamos trabajando la fóvea, siendo el campo receptivo para el estímulo menor y cuya correspondencia cerebral es V1, sino que trabajamos el resto de la retina haciendo que el esfuerzo llevado a cabo por la fóvea sea menor y por tanto menor la intensidad y complejidad del estímulo que llega a V1.

El VPL o el PL orientado a la visión es capaz de provocar la reorganización de las redes neuronales, pero debemos de saber que ésta no se produce, así porque sí, sino que entra en juego el término que llamamos “especificidad”, el cual hace alusión a que el VPL será más sensible cuanto más específico sea el estímulo o tarea. Tradicionalmente se ha situado a la entrada del córtex visual, donde la información retinotópica está mejor preservada, pero los experimentos

de Sotiropoulos, Seitz y Seriès, (2018) demostraron que hay otras zonas en donde también se produce.

Sotiropoulos *et al.*, (2018) coincidieron con Seitz (2017) en cuanto a la “especificidad”, señalando que “tradicionalmente se ha pensado que el PL es altamente específico a las propiedades del estímulo, de la tarea y de la posición retinotópica” (Sotiropoulos *et al.*, 2018). Efectivamente esto ha sido así durante mucho tiempo, pero que esa visión está cambiando, a la vista de las evidencias (p.ej. la especificidad retinotópica durante el entrenamiento puede disminuir si utilizamos varios estímulos cortos en vez de uno largo), con el paso del tiempo y la actuación del PL con las redes neuronales. Esta actuación lo denomina “transferencia de aprendizaje” de unas zonas a otras, bajo varios parámetros en determinadas circunstancias. Un ejemplo de ello visto en este artículo es el paradigma del doble entrenamiento: si estamos entrenando la discriminación al contraste en una localización y de forma intercalada entrenamos, p.ej. con una tarea de discriminación de la orientación en una segunda localización, veremos que en esa segunda localización se transfirieron las mejoras aprendidas de la primera localización.

Sotiropoulos *et al.*, (2018) describieron varios modelos para poder estudiar mejor la especificidad del PL, que marcará la directriz de lo que tendremos que tener en cuenta a la hora de diseñar y ejecutar los tratamientos de RV. Estos modelos tienen en cuenta la contribución individual de las zonas V1 y V4, a los cuales llama “expertos”, en base a unos criterios: uno es el Modelo Dinámico de Supervisión del Rendimiento (*Dinamic Performance-Monitoring Model, DPMM*) el cual nos permite entender mejor los mecanismos de transferencia del aprendizaje, como por ejemplo por qué se da el caso anterior (la disminución de especificidad retinotópica si usamos varios estímulos cortos en vez de uno individual más largo). El concepto del modelo DPMM, a grandes rasgos, es que el sistema de unidad de decisión de alto nivel (la decisión final que toma el PL) tiene en cuenta las zonas, o expertos, V1 (zona retinotópica) y V4 (zona no retinotópica) de manera ponderada, haciendo que el rendimiento de V4 aumente conforme aumenta el rendimiento del sistema en conjunto; a V4 lo tiene como subsistema. Con esto queremos explicar el porqué del peso de V4 en la especificidad y por tanto en el PL si la zona V4 es no retinotópica. Es decir, el peso que tiene este

subsistema en la decisión del sistema perceptual. Dice literalmente en el artículo que en el modelo DPMM este criterio es “un intercambio entre la invarianza de la ubicación retinotópica del aprendizaje y del rendimiento” (Sotiropoulos *et al.*, 2018). El segundo modelo trata sobre la mezcla de expertos (*Mixture of experts*, MoE), en el cual el criterio es basado puramente en el rendimiento de las zonas V1 y V4. Aún así, ambos modelos presentan limitaciones, como en el caso de utilizar estímulos de contraste o en el uso de estímulos en determinado orden (que se da en una secuencia, pero no en la contraria).

Sotiropoulos, Seitz y Seriès, (2014), estudiaron la hipótesis del cerebro Bayesiano con el cual se intenta dar explicación a varios casos. Uno de ellos es el “Efecto Thompson”: para un mismo sujeto una pelota que lleve la misma velocidad a éste le parecerá que va más rápido cuando la imagen de la pelota tenga mayor contraste. Concluyeron que “el cerebro representa las expectativas previas y las probabilidades de entrada sensorial y las combina en distribuciones posteriores, de acuerdo con la regla de Bayes” (Sotiropoulos, Seitz y Seriès, 2014).

4.1.3 Uso de la plasticidad cerebral para el diseño y ejecución de los tratamientos rehabilitación visual

En este apartado se describirán qué mecanismos y técnicas debemos de poner en marcha para usar la plasticidad cerebral a favor de nuestros pacientes con deficiencia visual asociada a DMAE, ACV, y demás patologías que afectan al sistema visual.

Según Small, Buccino y Solodkin, (2013), los mecanismos de reparación neurológicos en el paciente que ha sufrido un ACV implican la plasticidad cerebral de las neuronas y de sus circuitos. Señalan que es un fenómeno sináptico estímulo-dependiente y que por tanto necesitará de ambas intervenciones, la de la plasticidad cerebral y la comportamental (entrenamiento mediante estímulos), para volver a reorganizar los circuitos cerebrales. Los mecanismos de curación o restauración a los que hacen mención Small *et al.*, (2013), que son los que nos interesan, se pueden llegar a conseguir mediante dos vías: restauración directa (los circuitos dañados son restaurados de forma biológica), y la restauración indirecta (los circuitos neuronales adyacentes son usados para suplir las

funciones del circuito original). La restauración de los circuitos para recobrar las funciones perdidas, en este caso la función visual, no solamente depende de los factores biológicos endógenos del paciente sino también de los estímulos exógenos; recordemos que la plasticidad cerebral se activa y modula por los estímulos que proceden del exterior. Para poder llegar al estado pre-ACV el paciente ha necesitado años de experiencia, para poder recuperar la función necesitará otra cantidad similar de años.

Esto quiere decir que no solamente basta con restaurar las conexiones neuronales perdidas, sino que será preciso que las mismas se vean sometidas al mismo nivel de experiencia que a las que pretenden sustituir, pues la experiencia a lo largo de los años ha ido modelando el funcionamiento de los circuitos cerebrales. Además, el tipo de estímulo y/o tareas llevadas a cabo en los entrenamientos influenciarán de forma directa en el grado de modificación de los circuitos neuronales. Por tanto, para poder ayudar al sistema cerebral a restaurar los circuitos cerebrales de forma indirecta, necesitaremos una terapia rehabilitadora a medida (con estímulos a medida o bien una intervención comportamental a medida) que pueda modular y activar la VPL haciendo que otros circuitos ayuden a restaurar los que deseamos.

En base a [Small et al., \(2013\)](#), la terapia a medida se podría elaborar con la fMRI, biomarcadores y con medidas neurofisiológicas del paciente. De esta manera se iría monitorizando y autoajustando la terapia conforme se fuese ejecutando a lo largo del tiempo. Además, señalaban el sistema cerebral de neuronas espejo que tenemos ayudaría a que los circuitos del sistema neuronal se reactivaran por imitación de las personas que tenemos a nuestro alrededor cuando realizasen las mismas tareas, aunque en el caso de la visión tiene menos trascendencia).

El rendimiento visual es sabido que se puede mejorar, como concluyeron [Deveay, Ozer y Seitz, \(2014\)](#) en su estudio, donde publicaron los resultados obtenidos en los jugadores de un equipo de béisbol, sin problemas visuales), después de haber sido sometidos a entrenamiento con diversos sets de estímulos visuales. Estos mejoraron su rendimiento visual binocular en el campo de béisbol (acertando a batear la bola en más ocasiones). Con ello podemos ver como el entrenamiento perceptual mejora de forma sustancial el rendimiento visual.

Para [Seitz \(2018\)](#), la mejora del entrenamiento cerebral en aspectos tales como la visión, audición, atención y control cognitivo, memoria, etc., puede alterar los procesos cerebrales fundamentales beneficiando al paciente que lo realiza en sus actividades diarias. Existe controversia al respecto en saber cómo evaluar correctamente las mejoras que se dan gracias a ese entrenamiento ([Seitz, 2018](#)), porque aún habiendo múltiples métodos de evaluación disponibles estos deberían de ser fidedignos, válidos y trasladables al mundo real, que es el que nos interesa como profesionales de la RV. Estos aspectos no se cumplen al cien por cien, p.ej. el hecho de que el resultado no sea reproducible. Existen trabajos en ese sentido como en el de [Simons et al. \(2016\)](#), que intenta darnos recomendaciones de cómo deberían de ser los métodos que evaluaran los resultados del entrenamiento cerebral en la RV: doble ciego, aleatorización, tamaños muestrales grandes, parámetros de evaluación múltiples y variados, uso de diferentes métodos estadísticos, etc).

Para que un tratamiento de RV tenga éxito es necesario tener herramientas de evaluación y seguimiento adecuadas para poder ir corroborando la buena ejecución, ir viendo cómo se van cumpliendo los objetivos e ir consolidando los resultados.

Otros modelos de evaluación van encaminados hacia el uso de diseños basados en la evidencia del resultado donde el desafío de la prueba está individualizado y va ajustando la dificultad del mismo en base a las respuestas obtenidas sobre la marcha para encontrar el umbral de rendimiento (como los test computarizados que podemos usar en nuestros gabinetes de RV, que se pueden ir auto modificando sobre la marcha). Otra forma de evaluación que recomienda [Seitz \(2018\)](#) es la evaluación continua, pues de este modo el paciente se siente con menos estrés y más cómodo sin saber que está siendo evaluado. Además, se dispondrá de más resultados para comparar y estudiar, y de esta forma hacer el seguimiento al tratamiento de RV que estamos ejecutando con el paciente.

[Maniglia, Cottureau, Soler y Trotter, \(2016\)](#) estudiaron el uso del PL en los tratamientos de RV de pacientes con DMAE. Describieron la posibilidad de usar de forma conjunta al entrenamiento del PL el uso de la técnica de estimulación eléctrica cerebral (estimulación magnética Transcraneal (*Transcranial Magnetic*

Stimulation, TMS) y estimulación transcraneal con corriente directa (*Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS*). Según los resultados obtenidos en diferentes estudios con el uso ambas técnicas son bastante prometedores, pues consiguen resultados de forma mucho más rápida y estable en el tiempo.

Maniglia *et al.*, (2018a) estudiaron la plasticidad cerebral en pacientes con DMAE. Como se observa en algunos estudios, hay pacientes en los que se produce una reorganización cortical en la proyección de la zona lesionada (*Lesion Projection Zone, LPZ*) para obtener un nuevo locus retiniano preferencial (*Preferred retinal locus, PRL*), aunque también hay otros pacientes en los que no se da. Se dan casos en los que el paciente desarrolla varios PRL, utilizando uno para algunas actividades, como la lectura, y otro para otras, como ver la TV. Además, señalan que gracias a la plasticidad cerebral se consiguen mejoras sensitivas en el paciente, aumento en la velocidad de lectura y en el contraste, y que además éstas perduren después del entrenamiento.

5 DISCUSIÓN

A lo largo de la revisión bibliográfica de los artículos se ha podido comprobar como los resultados de los autores van en diferentes direcciones. Esto es semilla para que el tema de la plasticidad cerebral genere un importante debate en la comunidad científica.

Conforme van pasando los años se va disponiendo de mayores recursos para poder estudiar el cerebro. Tecnologías tales como la fMRI ayudan enormemente a la exploración del cerebro y nos permite un acercamiento al conocimiento del mismo. Científicos de todo el mundo, que han participado en los artículos revisados en éste TFM, aún así, dan cuenta que en muchos casos los resultados obtenidos no son concluyentes. En unos casos debido a que las herramientas o test de los que se disponía no permitieron asegurar una correcta evaluación de los parámetros que se pretendían examinar, y en otros casos debido a que los sujetos objeto de estudio, o las condiciones en las que se evaluaron a los mismos, no fueron los más adecuados.

La informática juega un papel muy importante en la evaluación de los resultados mediante los modelos computacionales. En muchos de los artículos se critica el uso de unos métodos u otros pareciendo que no logren ponerse de acuerdo para poder avanzar todos juntos en la misma dirección. La producción científica debería de ser más colaborativa de lo que parece ser, es decir, colaborar más para poder resolver las incógnitas que no nos permiten avanzar en el conocimiento del cerebro. Se debería lograr poner en común el conocimiento y bagaje para poder estandarizar modelos y técnicas, que no hubiese tantas y no fuese tan complicado el extrapolar los resultados de unas a otras. La crítica debería ser constructiva, pues investigar en un campo tan complicado como el de la plasticidad cerebral no es tarea baladí. Aún así, sería necesario que en los laboratorios se pudiese contar con la más puntera tecnología computacional para poder poner en marcha los modelos computacionales que tanto ayudan de cara a predecir variables y resultados en la investigación con pacientes reales, los cuales son complicados de reclutar para los estudios.

Adicionalmente, se debería de concienciar más a la población acerca de la importancia que tiene el colaborar como pacientes en los experimentos científicos,

pues de sus resultados y conocimiento nos beneficiamos todos como sociedad. Queremos que los científicos nos resuelvan nuestros problemas visuales, pero estos, no con poca dificultad, pueden poner en marcha sus investigaciones en pacientes reales. Los profesionales de la RV deberíamos de estar más formados en las últimas técnicas y conocimientos científicos para poder aplicarlos en los tratamientos de RV que diseñamos para nuestros pacientes con baja visión.

6 CONCLUSIONES

Los estudios revisados, de los últimos 10 años, en materia de plasticidad cerebral del córtex visual nos permiten vislumbrar un futuro esperanzador en el campo de la RV.

Las pruebas e indicadores más apropiados para conocer la naturaleza de la plasticidad cerebral son la fMRI, la MAP, la tDCS y la TMS así como el uso de los modelos matemáticos estadísticos e informáticos.

El cerebro permite, en caso de privación sensorial, reasignar áreas del mismo para potenciar otros sentidos, así como también la reasignación de zonas retinianas para la localización de un nuevo LPZ.

La tDCS y la TMS son las técnicas de vanguardia para la activación de la plasticidad cerebral. Se puede conseguir reactivar zonas cerebrales del córtex visual adormecidas por falta de estimulación retiniana para que las mismas se puedan volver a usar. Los profesionales de ciencias de la visión podrán servirse de los avances y uso que los neurólogos hagan de la misma para conseguir mejorar la tasa de éxito en los tratamientos de RV de los pacientes.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Cheung, S.H. y Legge, G.E. (2005). Functional and cortical adaptations to central vision loss. *Vision Neuroscience*. 22(2),187-201.
- Cottureau, B.R., McKee, S.P. y Norcia, A.M. (2012). Bridging the gap: global disparity processing in the human visual cortex. *Journal Neurophysiology*. 107(9),2421-9.
- Deveay, J., Ozer, D.J. y Seitz, A.R. (2014). Improved vision and on-field performance in baseball through perceptual learning. *Current Biology*. 24(4),R146-7.
- Díaz-Guzmán, J., Egido, J., Abilleira, S., Barberá, G. y Gabriel, R. (2007). Incidencia del ictus en España: Datos prelimiarios crudos del estudio IBERICTUS. *Neurología*. 22,605.
- Dick, A.S., Solodkin, A. y Small, S.L. (2010). Neural development of networks for audiovisual speech comprehension. *Brain and Language*. 114(2),101-14.
- FISABIO Generalitat Valenciana (2016) DMAE. Recuperado el 8 de abril de 2019, de <http://fisabio.san.gva.es/dmae>.
- Fundación Española del Corazón (2018). Hipertensión. Recuperado el 8 de abril de 2019, de <https://fundaciondelcorazon.com/prevencion/riesgo-cardiovascular/hipertension-tension-alta.html>.
- Fundación IMO (2014). El tabaco multiplica por cinco el riesgo de sufrir DMAE. Recuperado el 8 de abril de 2019, de <https://www.fundacionimo.org/es/tabaco-multiplica-cinco-riesgo-sufrir-dmae>.
- Innova Ocular. ICO Barcelona (2019). Recuperado el 26 de febrero de 2019, de <https://www.icoftalmologia.es/es/enfermedades-de-los-ojos/dmae/>
- Legge, G.E. y Chung, S.T.L. (2016). Low Vision and Plasticity: Implications for Rehabilitation. *Annual Reviews of Vision Science*. 14(2),321-343.
- Maniglia, M., Cottureau, B.R., Soler, V. y Trotter, Y. (2016). Rehabilitation Approaches in Macular Degeneration Patients. *Frontiers in Systems Neuroscience*. 10,107.
- Maniglia, M., Soler, V., Cottureau, B. y Trotter, Y. (2018a). Spontaneous and training-induced cortical plasticity in MD patients: Hint from lateral masking. *Scientific Reports*. 8(1),90.
- Maniglia, M. y Seitz, A.R. (2018b). A New Look at Visual System Plasticity. *Trends in Cognitive Sciences* 23(2),82-83.
- Martín Mocerrea y Lim JI (2006) Factores de riesgo de degeneración macular asociada a la edad. Recuperado el 8 de abril de 2019, de <https://www.intramed.net/contenido.asp?contenido=42557>
- Minamisawa, G., Funayama, K., Matsumoto, N., Matsuki, N. y Ikegaya, Y. (2017). Flashing Lights Induce Prolonged Distortions in Visual Cortical Responses and Visual Perception. *eNeuro*.;4(3).

- OMS (1993). International statistical classification of diseases, injuries and causes of death, tenth revision. Geneva.
- OMS (2018) Ceguera y discapacidad visual. Recuperado el 8 de abril de 2019, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Salomão, R.C., Martins, ICVDS, Risuenho, B.B.O., Guimarães, D..L, Silveira, LCL, Visual evoked cortical potential elicited by pseudoisochromatic stimulus. *Documenta Ophthalmologica*. 138(1),43-54.
- Seitz, A.R. (2013). Cognitive Neuroscience: Targeting Neuroplasticity with Neural Decoding and Biofeedback. *Current Biology*. 23(5),R210-2.
- Seitz, A.R. (2017). Perceptual learning. *Current Biology*.27(13),R631-6.
- Seitz, A.R. (2018). A New Framework of Design and Continuous Evaluation to Improve Brain Training. *Journal of Cognitive Enhancement*. 2(1),78-87.
- Simons, D.J., Boot, W.R., Charness, N., Gathercole, S.E., Chabris, C.F., Hambrick, D.Z y Stine-Morrow, E.A. (2016). Do “brain-training” program work?.*Psychological Science in the Public Interest*. 17(3),103-186.
- Small, S.L., Buccino, G. y Solodkin, A. (2013). Brain repair after stroke--a novel neurological model. *Natural Reviews. Neurology*. 9(12),698-707.
- Sotiropoulos, G., Seitz, A.R. y Seriès, P. (2014). Contrast dependency and prior expectations in human speed perception. *Vision Research*. 97,16-23.
- Sotiropoulos, G., Seitz, A.R. y Seriès, P. (2018). Performance-monitoring integrated reweighting model of perceptual learning. *Vision Research*.152,17-39.
- Thurman, S.M., Maniglia, M., Davey, P.G., Biles, M.K., Visscher, K.M. y Seitz, A.R. (2018). Multi-line Adaptive Perimetry (MAP): A New Procedure for Quantifying Visual Field Integrity for Rapid Assessment of Macular Diseases. *Translational Vision Sciences & Technology*. 7(5),28.
- Wenliang, L.K. y Seitz, A.R. (2018). Deep Neural Networks for Modeling Visual Perceptual Learning. *Journal of Neuroscience*. 38(27),6028-6044.