

Tesis doctoral

**HABILIDADES VISOPERCEPTIVAS, BINOCULARES Y  
OCULOMOTORAS EN NIÑOS DIAGNOSTICADOS DE  
TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN E  
HIPERACTIVIDAD (TDAH)**



PROGRAMA DE DOCTORADO EN FÍSICA Y CIENCIAS DEL ESPACIO

DEPARTAMENTO DE ÓPTICA

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE GRANADA

**RUBÉN MOLINA ROMERO**

**2021**

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Rubén Molina Romero  
ISBN: 978-84-1306-959-3  
URI: <http://hdl.handle.net/10481/69854>

Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada

Departamento de Pediatría, Facultad de Medicina, Universidad de Granada



## **HABILIDADES VISOPERCEPTIVAS, BINOCULARES Y OCULOMOTORAS EN NIÑOS DIAGNOSTICADOS DE TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD (TDAH)**

### **Directores de Tesis:**

Dr. Raimundo Jiménez Rodríguez, Profesor Titular de Universidad, Universidad de Granada.

Dr. Antonio Muñoz Hoyos, Catedrático de Universidad, Universidad de Granada.

### **Miembros del tribunal:**

Dra. Ana María Yebra Rodríguez, Profesora titular de Universidad, Universidad de Granada.

Dra. Carolina Ortiz Herrera, Profesora contratada doctora indefinida, Universidad de Granada.

Dra. María del Carmen Augustin Morales, Médico Especialista en Pediatría del SAS/Investigadora del Grupo CTS-190 Neurodesarrollo, Sistema Sanitario Público de Andalucía. Servicio Andaluz de Salud (SAS).

Dr. David P. Piñero Llorens, Investigador Ramón y Cajal, Universidad de Alicante.

Dr. Ángel García Muñoz, Profesor Titular de Universidad, Universidad de Alicante.

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>4</b>
<i>Contextualización del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH).....</i>	<b>4</b>
Datos históricos del término TDAH .....	4
Definición actual de TDAH.....	5
Etiología.....	8
Diagnóstico.....	12
Tratamiento.....	15
<i>Tratamientos farmacológicos.....</i>	<i>15</i>
<i>Tratamiento no farmacológico.....</i>	<i>18</i>
<i>TDAH y visión.....</i>	<i>19</i>
<i>La visión en la edad pediátrica.....</i>	<i>20</i>
<i>Parámetros y habilidades visuales influyentes en el TDAH.....</i>	<i>21</i>
<i>Errores refractivos.....</i>	<i>21</i>
<i>Visuo-percepción.....</i>	<i>22</i>
<i>Agudeza visual (AV).....</i>	<i>24</i>
<i>Sensibilidad al contraste.....</i>	<i>25</i>
<i>Estereopsis.....</i>	<i>26</i>
Sistema oculomotor.....	26
<i>Función acomodativa.....</i>	<i>26</i>
<i>Función pupilar.....</i>	<i>27</i>
<i>Función motora .....</i>	<i>28</i>
Atención.....	30
<b>Justificación de la presente tesis doctoral.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO 2: OBJETIVOS.....</b>	<b>34</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 3: ESTUDIOS.....</b>	<b>36</b>

**ESTUDIO I: EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN VISUAL EN NIÑOS CON TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD: LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FARMACOLÓGICO .....** 37

<b>Introducción.....</b>	<b>37</b>
<b>Método.....</b>	<b>39</b>
<i>Participantes .....</i>	<i>39</i>
<i>Procedimiento.....</i>	<i>40</i>
<i>Diseño experimental y análisis estadístico.....</i>	<i>42</i>
<b>Resultados.....</b>	<b>42</b>
<b>Discusión.....</b>	<b>45</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>52</b>

**ESTUDIO II: HABILIDADES DE PERCEPCIÓN VISUAL EN NIÑOS CON TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD: EL PAPEL MEDIADOR DE LAS COMORBILIDADES.....** 53

<b>Introducción.....</b>	<b>53</b>
<b>Método.....</b>	<b>56</b>
<i>Participantes .....</i>	<i>56</i>
<i>Procedimiento.....</i>	<i>58</i>
<i>Test de habilidades perceptivas visuales (TVPS-3).....</i>	<i>58</i>
<i>Análisis estadístico.....</i>	<i>60</i>
<b>Resultados.....</b>	<b>61</b>
<b>Discusión.....</b>	<b>66</b>
<i>Limitaciones e investigación futura.....</i>	<i>71</i>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>72</b>

**ESTUDIO III: LOS NIÑOS CON DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD MUESTRAN UN PATRÓN ALTERADO DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES DURANTE LA LECTURA.....**73

<b>Introducción.....</b>	<b>73</b>
<b>Método.....</b>	<b>77</b>
<i>Participantes y aprobación ética.....</i>	<i>77</i>
<i>Procedimiento.....</i>	<i>79</i>

<i>Evaluación de los movimientos oculares en la lectura</i> .....	80
<i>Diseño experimental y análisis estadístico</i> .....	81
<b>Resultados</b> .....	<b>83</b>
<b>Discusión</b> .....	<b>87</b>
<i>Limitaciones e investigación futura</i> .....	91
<b>Conclusiones</b> .....	<b>92</b>
<b>ESTUDIO IV: CAPTAR LA ATENCIÓN MEJORA LA ACOMODACIÓN: UN ESTUDIO EXPERIMENTAL EN NIÑOS CON TDAH UTILIZANDO EL SEGUIMIENTO DE OBJETOS MÚLTIPLES</b> .....	<b>94</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>94</b>
<b>Método</b> .....	<b>97</b>
<i>Participantes</i> .....	97
<i>Tarea de seguimiento de varios objetos (MOT)</i> .....	98
<i>Autorefractómetro Grand Seiko WAM-5500</i> .....	99
<i>Procedimiento</i> .....	100
<i>Diseño experimental y análisis estadístico</i> .....	101
<b>Resultados</b> .....	<b>101</b>
<b>Discusión</b> .....	<b>105</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>109</b>
<b>CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN</b> .....	<b>110</b>
<b>DISCUSION</b> .....	<b>111</b>
Resumen de principales hallazgos.....	111
Breve discusión de los principales hallazgos con referencia a la literatura relacionada y su posible aplicación. ....	112
Limitaciones y fortalezas.....	115
<i>Limitaciones</i> .....	115
<i>Fortalezas</i> .....	117
Direcciones futuras de investigación.....	117
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES</b> .....	<b>120</b>

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>121</b>
Referencias.....	122
ANEXOS.....	168
AGRADECIMIENTOS.....	174
FINANCIACIÓN.....	176
LISTA DE TABLAS.....	177
LISTA DE FIGURAS.....	177
CURRICULUM VITAE.....	180





## RESUMEN

El trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) es un trastorno de origen neurobiológico de inicio en la edad infantil que comprende un patrón persistente de conductas de desatención, hiperactividad e impulsividad y cuyos síntomas pueden perdurar hasta la edad adulta. Aunque su etiología aún sigue sin estar clara, los pacientes afectados con este trastorno presentan un desarrollo tardío de los circuitos fronto-estriado-parietales y fronto-cerebelares que le llevan a un déficit en las funciones ejecutivas necesarias para el cumplimiento de metas u objetivos. Es por ello que se considera el trastorno más frecuentemente asociado a dificultades en el aprendizaje y, además, representa uno de los motivos más frecuentes de consulta pediátrica, debido a que sus manifestaciones conductuales interfieren de forma significativa a nivel escolar, laboral, o social de quien lo padece, y de las familias y personal de su entorno. La terapias con fármacos es la opción más utilizada como tratamiento, aunque existe controversia acerca de usar estimulantes como primera elección, tanto por su eficacia, como por la duración de su tratamiento. Aun así, su prescripción ha aumentado las últimas décadas.

La percepción visual es considerada una de las áreas específicas de las habilidades de evaluación temprana, debido a que la alteración en la misma lleva asociada un bajo rendimiento en la lectura, comportamiento y otras discapacidades que afectan al aprendizaje. Esta implica habilidades, que van desde adquisición de la señal visual o eficiencia visual, hasta el procesamiento de la información visual. Un déficit en cualquiera de estos dominios funcionales puede resultar un obstáculo para un rendimiento académico apropiado durante el proceso de aprendizaje. Estas disfunciones visuales no son fácilmente detectadas por los educadores o en los screening escolares, y pueden estar interfiriendo en el proceso de aprendizaje. Incluso pueden estar enmascaradas dentro de cualquier trastorno de aprendizaje o del comportamiento como el TDAH, habida cuenta que muchos síntomas observados en el TDAH son compartidos por algunas anomalías funcionales de la visión.

En este sentido, el principal objetivo de la presente Tesis Doctoral fue abordar el estudio de la función visual en su aspecto perceptivo, binocular y oculomotor, en una población escolar diagnosticada de TDAH y considerando diferentes factores que puedan afectar a la función visual como son la comorbilidad o la medicación, y en consecuencia a las habilidades visuales binoculares, acomodativas, perceptivas y oculomotoras. Para abordar estos objetivos, llevamos a cabo cuatro estudios diferentes. En el estudio I y IV, se estudió el papel mediador que ejerce la medicación en niños con TDAH en parámetros visuales y habilidades atencionales, analizando en el estudio I, las diferencias en su eficiencia y sintomatología visual, y en el estudio IV, la influencia del nivel de atención en la dinámica de la respuesta acomodativa al utilizar una tarea

de seguimiento con cuatro niveles de complejidad. En el estudio II, utilizando el Test de habilidades perceptivas visuales TVPS-3 se examinó las habilidades visuoperceptivas de los niños diagnosticados de TDAH, observando como la comorbilidad puede influir en ellas; y finalmente en el estudio III se examinó la influencia del TDAH libre de comorbilidades, analizando el patrón de movimientos oculares en habilidades de lectura oral de textos estandarizados, utilizando para ello un sistema diagnóstico objetivo como es el Visagraph.

Los principales hallazgos derivados de esta Tesis Doctoral fueron: I) Los niños con TDAH presentan una sintomatología compatible con la insuficiencia de convergencia que no mejora con la medicación, ni se ve acompañada de signos clínicos, determinados por métodos subjetivos, usados como criterios de diagnóstico de esta condición. II) La sensibilidad al contraste es un parámetro visual alterado en la población TDAH, teniendo la medicación un aparente efecto beneficioso en ella. III) El procesamiento visual está deteriorado en los niños TDAH, y se ve empeorado con la presencia de comorbilidades. IV) El patrón de movimientos oculares en la lectura oral se observa alterado en los niños con TDAH. V) Tareas con demandas atencionales de rastreo de objetos múltiples mejoran la acomodación. Aunque, los niños con TDAH exhiben una mayor inestabilidad acomodativa en comparación con los niños del grupo control, independientemente de la demanda atencional, estas diferencias se atenúan con la medicación. VI) La dinámica de la respuesta acomodativa está estrechamente vinculada al tipo de atención en poblaciones clínicas y saludables, hecho que sería de relevancia para la interpretación de datos acomodativos en entornos clínicos y de investigación.

# **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

### Marco Teórico

#### *Contextualización del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH)*

#### Datos históricos del término TDAH

Los problemas conductuales en niños y su relación con la atención han sido estudiados desde hace tiempo, sin embargo, tener una definición correcta ha sido un proceso largo y complejo, debido, entre otros motivos, al amplio rango de síntomas asociados. Es por ello, que a lo largo de la historia encontramos gran diversidad de definiciones utilizadas para nombrar el mismo trastorno (Blázquez-Almería et al., 2005).

En 1798, el médico escocés Alexander Crichton ya hizo referencia a los desórdenes de atención, nombrándolos como “*agitación o inquietud mental*” en su libro titulado “*Una investigación sobre la naturaleza y el origen de la enajenación mental*” (Palmer & Finger, 2001). Un siglo más tarde, el pediatra inglés George Still en un artículo publicado en “*The Lancet*” realizó una descripción de niños con altos niveles de impulsividad y negatividad, a los que denominó como niños con “*déficit del control moral*” (Still, 1902). En 1932, Franz Kramer y Hans Pollnow introdujeron por primera vez el término de “*trastorno*” a la descripción de este problema, refiriéndose a él como “*trastorno hipercinético de la infancia*” (Kramer & Pollnow, 1932). Sin embargo, para encontrar una definición diagnóstica que perdurase en el tiempo debemos irnos a 1947, donde Strauss y Lehtinen lo definieron como “*Síndrome cerebral mínimo*”, debido a la idea de que procedía de una lesión o disfunción neurológica tan pequeña que era indetectable (Weiss & Weiss, 2002).

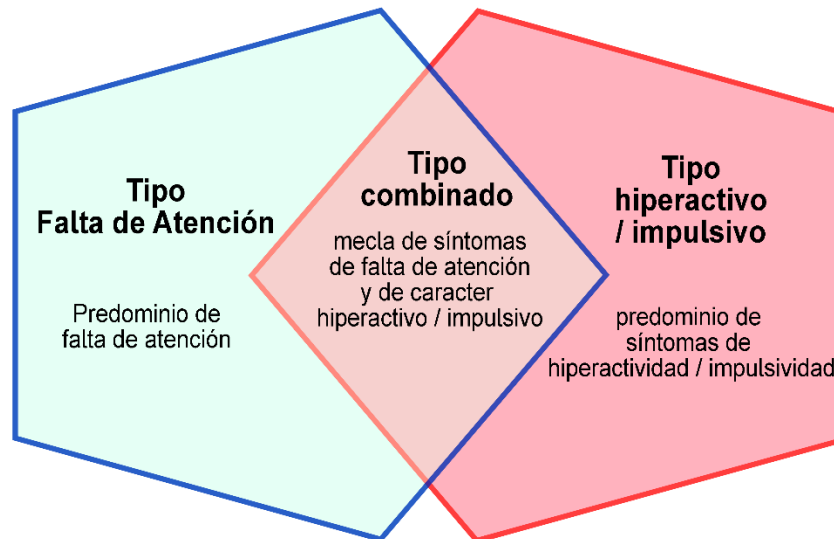
Esta definición se mantuvo hasta la publicación en 1968 de la segunda edición del Manual Diagnóstico y Estadístico (DSM-II) (acrónimo del inglés “*Diagnostic and Statistical Manual*”) de la Asociación Estadounidense de Psiquiatría que unificó de forma oficial el término de esta disfunción, nombrándola como “*reacción hipercinética de la infancia*” (Quay, 1999), término

que también fue recogido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la novena revisión de su Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-9) en 1975 (Slee, 1978), y que perduró hasta su última revisión en 2018 (World Health Organization, 2018). En la década de los 70 el déficit de atención y la impulsividad empiezan a tener una mayor importancia en el diagnóstico, lo que hace que, en 1980, dentro del DSM-III este pase a denominarse “*Trastorno por Déficit de Atención con/sin Hiperactividad*” (TDA+H y TDA-H). (American Psychiatric Association, 1980) A partir de entonces, el problema empieza a popularizarse a nivel social y nacen las primeras asociaciones, pero no fue hasta la revisión realizada en 1987 (DSM-III- R) cuando se adoptó el nombre con el que actualmente lo conocemos, “*Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad*” y de cuyas siglas acuñaría su abreviatura como TDAH, subdividiéndolo a su vez en tres formas clínicas diferentes: Déficit atencional (DA) o inatento, predominio hiperactivo-impulsivo (H/I) y el combinado (COMB) (American Psychiatric Association, 1987). Esta terminología se mantuvo hasta la llegada del actual DSM-V en 2013 donde se eliminó esta subdivisión y se consideró el patrón o presentación persistente de inatención y/o hiperactividad / impulsividad que interfiere con el funcionamiento o desarrollo, (American Psychiatric Association, 2013). En cuanto a la OMS, no recogió el término de TDAH hasta la 11ª revisión de la CIE en 2018 (World Health Organization, 2018) presentando gran similitud en la conceptualización y caracterización con lo ya especificado anteriormente en el DSM-V.

### Definición actual de TDAH

El TDAH es un síndrome conductual con bases neurológicas y un arraigado componente genético, que se encuentra enmarcado por el DSM-V y la CIE-11 dentro del grupo de trastornos del neurodesarrollo. Se caracteriza por presentar un patrón persistente de **inatención**, cuando existe una dificultad significativa a la hora de mantener la atención en tareas que no presentan una gran estimulación, una alta capacidad de distracción y problemas organizativos; y/o **hiperactividad** si existe presencia de una actividad motora excesiva, con dificultad para mantenerse quieto, siendo

más evidentes en situaciones donde se requiere autocontrol; e *impulsividad* compulsiva, cuando presenta una tendencia a realizar respuestas inmediatas a estímulos sin deliberar en posibles riesgos (World Health Organization, 2018) (Ver figura 1).



**Figura 1.** Diferentes subtipos predominantes y su sintomatología preferencial. Figura modificada de (Fernández López, 2020).

Su prevalencia a nivel mundial varía significativamente en función de la clasificación diagnóstica, la muestra presentada y el método de evaluación realizado (Domínguez-Ortega & de Vicente-Colomina, 2006). Así, su prevalencia se estima entre un 2 y un 7% con un promedio aproximado del 5% en niños menores de 18 años, siendo más frecuente en niños que en niñas con una ratio de 3 a 1 (American Psychiatric Association, 2013; Mohammadi et al., 2019; Perou et al., 2013; Polanczyk, De Lima, Horta, Biederman, & Rohde, 2007; Sayal, Prasad, Daley, Ford, & Coghill, 2018), y con el patrón hiperactivo predominante en niños con un ratio de 6 a 1 (García et al., 2008) frente al atencional en niñas, en las que el diagnóstico es más tardío. En la edad adulta su prevalencia oscila entre el 2.9 y el 7,11% (Hesson & Fowler, 2018; Van Wijk, 2020; Yallop et al., 2015), observándose un aumento del diagnóstico en los últimos años (Polyzoi, Ahnemark, Medin, & Ginsberg, 2018; Vasiliadis et al., 2017; Zhu, Liu, Li, Wang, & Winterstein, 2018). En

España, la prevalencia se encuentra en torno al 6,8% en niños y adolescentes (Catalá-López et al., 2012).

Una de las razones de este amplio rango de prevalencia descrito es debido a la alta frecuencia con la que éste se presenta con otros trastornos (*comorbilidades*), y que contribuyen al estado psicopatológico del sujeto y dificultando su detección. Se estima que estas comorbilidades están asociadas al TDAH en el 40-80% de los casos, aunque en niños ya remitidos para su estudio alcanza valores del 67 al 87% (Barkley, 1998; Elia, Ambrosini, & Berrettini, 2008; Gillberg et al., 2004; Wilens, Biederman, & Spencer, 2002). Entre las principales comorbilidades se encuentran: el trastorno negativista desafiante, el trastorno de conducta, la depresión, el trastorno de ansiedad, trastornos bipolares, trastornos de tics, trastornos obsesivo compulsivo, el trastorno de espectro autista o el trastorno del sueño (Biederman, 2005; Cortese, 2015; Jensen & Steinhausen, 2015; Jensen et al., 2001; Jensen, Martin, & Cantwell, 1997; Spencer, Biederman, & Mick, 2007), y en un apartado especial incluiríamos al trastorno del aprendizaje. Este último se encuentra presente en un 25 a 40% de los niños con TDAH, mostrando deficiencias significativas en tareas como la lectura, la aritmética o la ortografía en más de un 45% de los niños (Barkley, 2014; DuPaul, Gormley, & Laracy, 2013).

La génesis entre el trastorno del aprendizaje y el TDAH ha creado gran controversia, tanto es así que, mientras unos creen en un trastorno principal de aprendizaje que se complica para dar un patrón con incidencia conductual relacionado con el TDAH (Healy, 2011; Thapar, Cooper, Eyre, & Langley, 2013), otros opinan que es consecuencia de la falta de atención y la hiperactividad de los sujetos con TDAH (Gagliano, Germanò, & Calamoneri, 2007; Luoni et al., 2015). Hay quien incluso, llega a proponer que el TDAH y los trastornos de aprendizaje presentan una etiología genética compartida, presuponiendo la existencia de un subtipo comórbido mediado genéticamente (Gagliano et al., 2007). Sin embargo, sea cual sea su etiología, la realidad es que el TDAH presenta una tasa de rendimiento escolar baja, llegando a considerarse el trastorno más frecuente asociados a la dificultad en el aprendizaje en niños y adolescentes. Tal es el problema asociado que, en España acabó incluyéndose en la Ley Orgánica (8/2013) de Mejora de la Calidad

Educativa (LOMCE), en la sección de alumnado con dificultades específicas de aprendizaje (Boletín Oficial del Estado, número 295, martes 10 de diciembre de 2013). Además, su detección, diagnóstico y tratamiento están contempladas en el Real Decreto 1030/2006, estableciéndose en la cartera de servicios comunes del Sistema Nacional de Salud (SNS) español, tanto en atención primaria como atención especializada, y cuyo coste sanitario llega a duplicar el coste sanitario de los niños sin TDAH (Health, 2009).

Por toda esta repercusión, el TDAH es actualmente uno de los trastornos neurológicos más investigados. Si bien, debido a su gran complejidad, no se encuentra libre de controversia. De hecho, la Resolución 2042/2015 del Comité Permanente de la Asamblea del Consejo de Europa, en la relación al posible sobre-diagnóstico y el uso de fármacos como tratamiento prioritario, insta a utilizar criterios y procedimientos más rigurosos, mejorar la formación de los profesionales y apoyar la investigación en este campo, para así, intentar favorecer los diseños de intervenciones psicosociales y conductuales que trabajen en el autocontrol de su comportamiento, e intenten evitar tanto el fracaso escolar, como el social y/o laboral.

## Etiología

Aunque son muchos los estudios que han intentado dar una explicación acertada a la etiología exacta de este trastorno, a día de hoy se considera un trastorno relacionado con múltiples factores. De hecho, las causas exactas y los mecanismos subyacentes a éste aún no se comprenden completamente.

Se conoce, qué factores genéticos, neurológicos y/o ambientales son influyentes tanto en la patogénesis como en su fenotipo (Akutagava-Martins, Rohde, & Hutz, 2016). Como ya hemos comentado, las ediciones del DSM-II de 1968 y la CIE-9 de 1975 incluyeron este trastorno como “*reacción hiperkinética de la infancia*” (Quay, 1999; Slee, 1978), lo que sugería un comportamiento de reacción ambiental (Cortese, 2012). De hecho, una exposición a toxinas

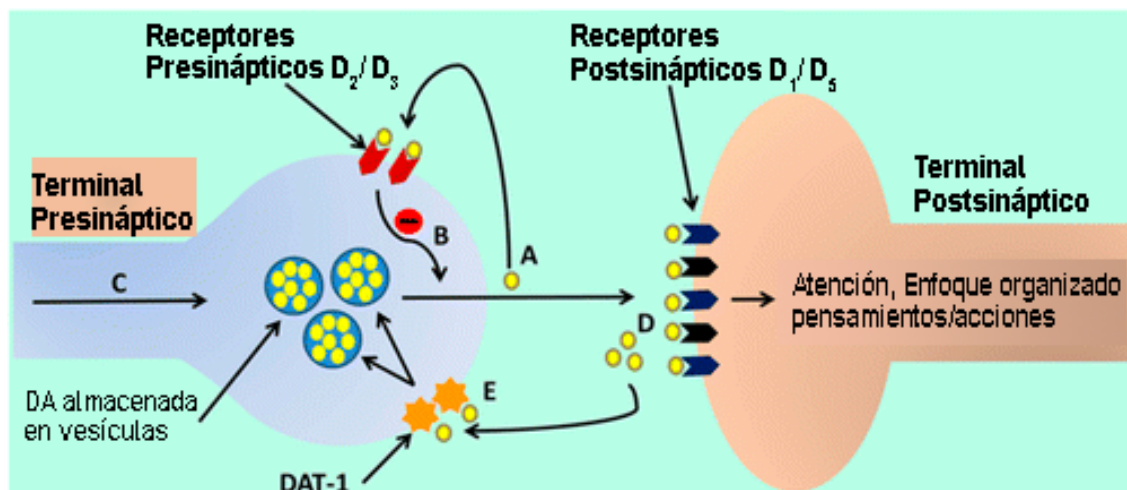


ambientales como plomo, pesticidas organofosforados o bifenilos policlorados se han relacionado con los síntomas del TDAH (Hjern, Weitoft, & Lindblad, 2010; Klein, Taraba, Koster, Campbell, & Scholz, 2015; Ozlem, 2012). Sin embargo, estudios con familias de gemelos y niños en adopción determinaron que los factores ambientales interactúan con una apreciable vulnerabilidad genética (Banaschewski, Becker, Scherag, Franke, & Coghill, 2010; Faraone & Mick, 2010), y que, la heredabilidad de éste se sitúa en torno al 0,70%, lo que significa que la presentación en un paciente concreto obedece hasta en un 76% a determinantes genéticos. De hecho, los hermanos de niños con TDAH tienen el doble de posibilidad de padecerlo que la población sin este trastorno (Domínguez-Ortega & de Vicente-Colomina, 2006). Sin embargo, en este campo, aunque se ha intentado estudiar con varios genes *a priori* candidatos para identificarlos con el TDAH, lo cierto es que aún no se ha conseguido gran cosa, debido a la complejidad tanto genética, fenotípica o medioambiental que pueden influir en el análisis genético de este (Wallis, 2010).

En cuanto a su patogénesis, se ha relacionado con factores neurológicos que provocan lesiones o desarrollo anormal del cerebro. De hecho, se ha demostrado que las embarazadas con niños prematuros o de bajo peso (menor de 2,5 kg), así como también las que exhiben malos hábitos de salud en el embarazo como puede ser el tabaquismo y/o alcoholismo, presentan un mayor riesgo de tener hijos con TDAH (Linnet et al., 2003; Nigg, 2006; Ozlem, 2012). Otros estudios, proponen un mayor riesgo de TDAH cuando se presentan cuadros de epilepsia y/o lesiones cerebrales tanto traumáticas como por hipoxia/anoxia (Cruikshank, Eliason, & Merrifield, 1988; Hesdorffer et al., 2004; Levin et al., 2007; Max et al., 2005a, 2005b). O incluso, profesionales de la neuropsicología proponen modelos etiológicos de índole anatómico, ya que se ha observado que los niños con TDAH presentan un volumen reducido tanto en la materia gris como en la materia blanca del cerebro, lo que parece producir un deterioro funcional de éste (Cortese, 2012). Zonas intercomunicadas por redes neuronales como son la corteza prefrontal, el caudado y el cerebelo, se ha observado que presentan una maduración más lenta, con un espesor cortical máximo alcanzado a los 10 años, en vez de a los 7 que sería lo normal (Shaw et al., 2007), y que produciría una actividad neuronal reducida que afectaría a funciones como la atención, el pensamiento, las

emociones, el comportamiento y los actos que se realizan, relacionados todos ellos con el TDAH (Arnsten & Pliszka, 2011; Kesner & Churchwell, 2011).

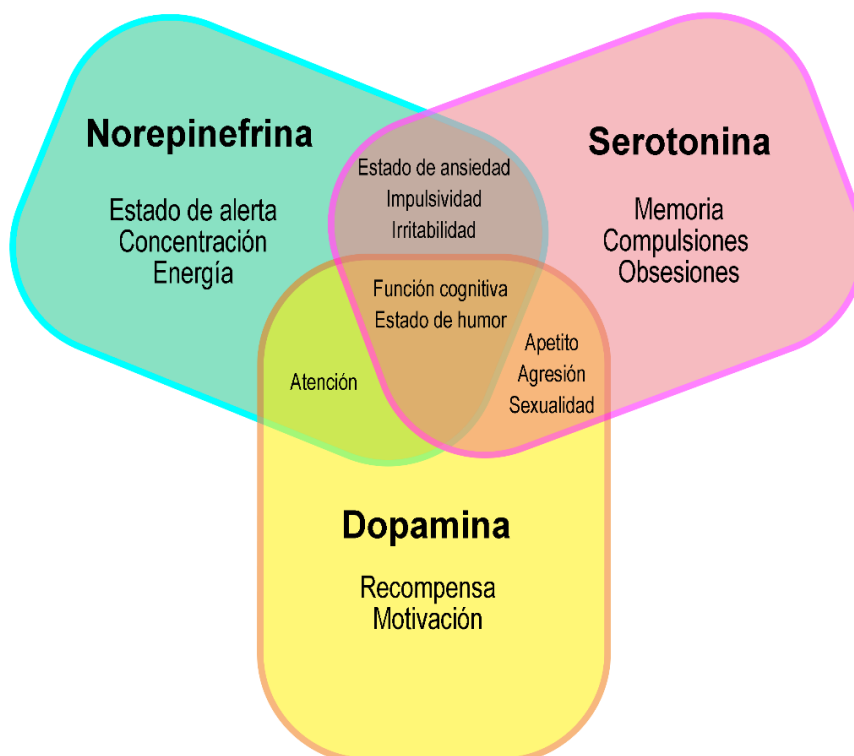
Además, es conocido que la actividad entre estas áreas cerebrales presenta un entorno neuroquímico altamente sensible a neurotransmisores de la ruta de las catecolaminas, como la dopamina y la norepinefrina (noradrenalina) (Arnsten, 2007; Bowton et al., 2010). Estudios de modelos etiológicos que se basan en alteraciones en los sistemas de neurotransmisores han observado que los niños con TDAH presentan una densidad reducida de receptores de dopamina y/o noradrenalina en varias regiones del cerebro (Cortese, 2012; Fusar-Poli, Rubia, Rossi, Sartori, & Balottin, 2012; Tripp & Wickens, 2009), lo que lleva a una alteración en la atención y en el control de impulsos de estos niños (Gizer, Ficks, & Waldman, 2009) tanto en los procesos excitatorios como en los inhibitorios (ver figura 2).



**Figura 2.** Integración sináptica de catecolaminas como la DA en el TDAH: DA (círculos amarillos) actúa sobre 5 receptores de DA (etiquetados como D1-D5) que pueden estar presentes en las neuronas postsinápticas (mostradas en azul). Los receptores D2 y D3 también están localizados en las neuronas presinápticas (mostradas en rojo oscuro). En ausencia de un potencial de acción, la terminal presináptica (A) libera una pequeña cantidad de DA vesicular en la sinapsis. Este actúa sobre los receptores presinápticos D2 / D3, que proporcionan una retroinhibición para inhibir la liberación de DA (B). Tras la llegada de un potencial de acción a la terminal presináptica (C), se libera una gran cantidad de DA vesicular en la sinapsis (D), que actúa sobre los receptores postsinápticos. La cantidad de DA liberada depende de la inhibición por retroalimentación proporcionada por la estimulación del receptor D2 / D3. La acción de DA sobre los receptores postsinápticos finaliza tras su recaptación en el terminal presináptico por el transportador de DA-

1 (DAT-1) (E). Nota: TDAH = trastorno por déficit de atención con hiperactividad; DA = dopamina; DAT = transportador de dopamina. Figura modificada de Sharma & Couture, 2014.

Sin embargo, otros estudios apuntan a un estado hiperactivo de los sistema dopaminérgico y/o noradrenérgico en los niños con TDAH, producido, bien por un aumento de la densidad de dopamina, o en su caso, una disminución de la captación presináptica de ésta, lo que implicaría una respuesta excesiva de dopamina en estos niños (Pliszka, 2005; Sharma & Couture, 2014). Por otro lado, también existe evidencia de una involucración del sistema serotoninérgico, ya que la desregularización de la serotonina se ha observado que está relacionada con la impulsividad (Halperin et al., 1997). Además, la serotonina se complementaría junto con la dopamina y la norepinefrina, presentando un papel primordial ante las acciones de pensamiento y atención, contribuyendo a mantener el estado de alerta, la focalización y sustento de un pensamiento, el esfuerzo y la motivación (ver figura 3).



**Figura 3.** Principales funciones de la dopamina, serotonina y norepinefrina. Figura modificada de Fernández López, 2020.

Otras bases bioquímicas relacionadas con el TDAH serían el glutamato, ya que es el principal neurotransmisor del sistema nervioso central y está relacionado con la excitación, además es una molécula clave en las funciones de aprendizaje, memoria y metabolismo celular (Guha, 2015), o la melatonina, con estudios que observan mejoras en el sueño del TDAH, aunque no en la conducta, rendimiento cognitivo o calidad de vida (der Heidjen, Smits, Van Someren, Ridderinkhof, & Gunning, 2007).

## Diagnóstico

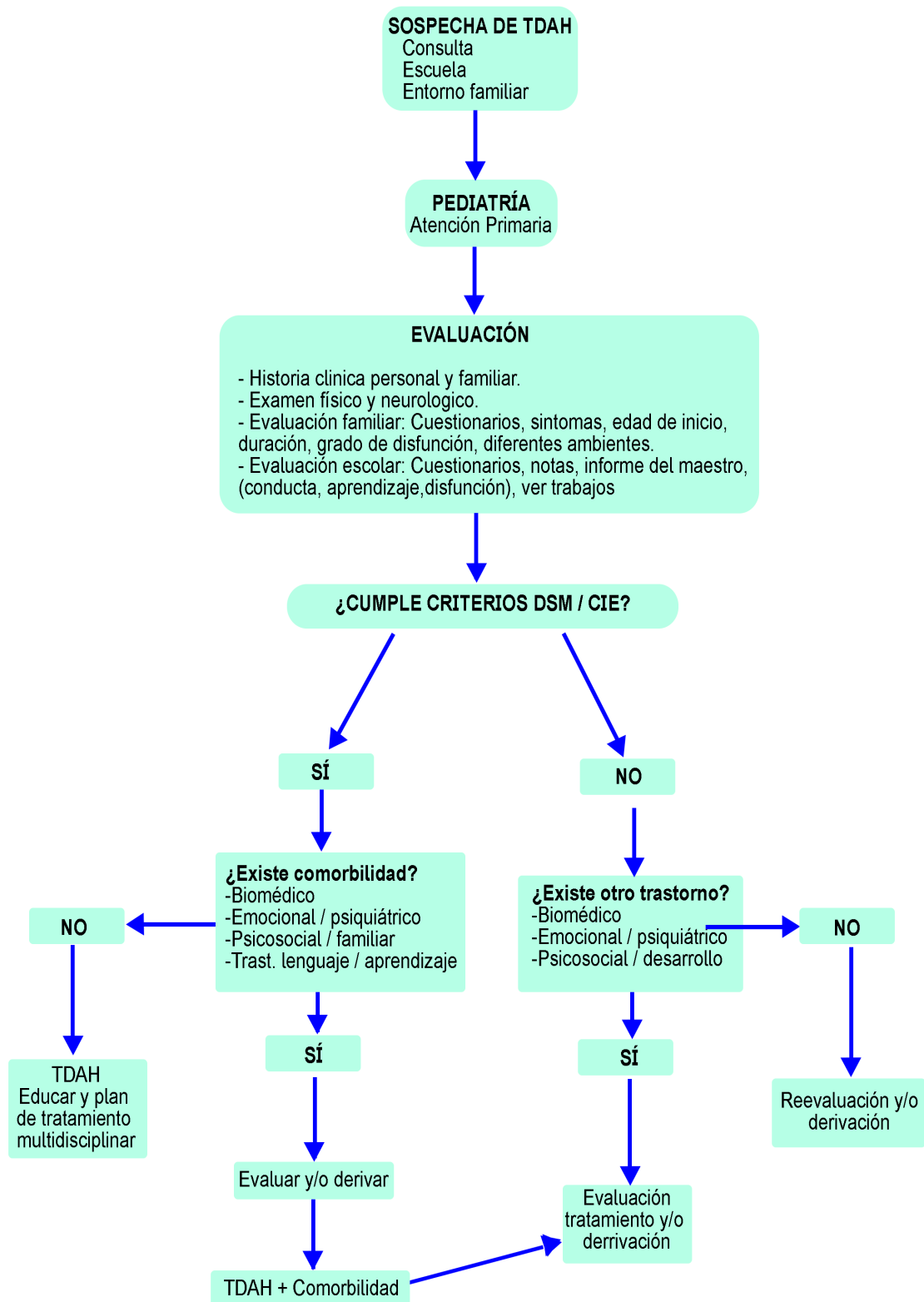
Aunque hay estudios que han intentado investigar la posibilidad de encontrar un marcador diagnóstico de TDAH, este aún no se ha encontrado (Baumeister & Hawkins, 2001; Saad, Kohn, Clarke, Lagopoulos, & Hermens, 2018; Zimmer, 2009). Su heterogeneidad y las múltiples comorbilidades que puede presentar, hacen que su diagnóstico clínico puede resultar complicado de valorar. Sin embargo y, aun así, éste ha desarrollado una considerable evolución diagnóstica en las últimas décadas. Actualmente su diagnóstico clínico se basa principalmente en los criterios ofrecidos por el DSM-V (sistema utilizado en Estados Unidos desde 2013) (American Psychiatric Association, 2013) y/o la CIE-11 (sistema médico general utilizado en todo el mundo desde 2018) (World Health Organization, 2018) y que supliría a la pasada CIE-10 de 1992 (World Health Organization, 1992) (clasificación utilizada en el diagnóstico de los sujetos de este estudio diagnosticados de TDAH antes de la entrada en vigor de la actual CIE-11).

En estos, se valora subjetivamente la presencia o no de 18 síntomas, divididos en subgrupos, donde para el DSM-V encontramos 9 síntomas para el subtipo de déficit de atención y 9 para la hiperactividad/impulsividad. por su parte en la CIE-11, encontramos que serían 9 síntomas para el déficit de atención, 5 para la hiperactividad y 4 para la impulsividad (ver anexo 1). Para un diagnóstico positivo, en el DSM-V han de estar presentes 6 de los 9 síntomas para cada uno de los dos subtipos (déficit de atención y/o hiperactividad/impulsividad, combinado sería la presencia de ambos a la vez) y 5 en adultos. La CIE-11, a diferencia con el DSM-V, es más

permissiva en la hiperactividad y la impulsividad, ya que solo requiere mostrar 3 de 5 en síntomas de hiperactividad y 1 de 4 en impulsividad, manteniendo los 6 síntomas de 9 para el déficit de atención.

Todos estos síntomas han de estar constatados por distintas fuentes (padres o tutores, profesores etc.) y presentados de manera continuada durante al menos los últimos 6 meses y antes de los 12 años de edad, en un grado anormal al desarrollo esperado, y que afecta directamente a sus actividades tanto sociales como académicas/laborales en al menos dos o más contextos sociales, sin que su cuadro se pueda incluir en otro trastorno mental de sintomatología parecida. Sin embargo, el diagnóstico puede variar según el método diagnóstico utilizado y el profesional que lo diagnostique. Es por ello que, en esta última versión, la citada CIE-11 ha pretendido presentar similitud con el DSM-5 a la hora de su caracterización clínica, e incluso ha ampliado su visión al mostrar el evidente panorama evolutivo conforme a la edad, diferencias en cuanto al género y límites con lo considerado normal y con otros diagnósticos (World Health Organization, 2018).

Debido a toda esta gran heterogeneidad que presenta el TDAH a la hora de presentar una evaluación médica integral, se hace difícil dar un diagnóstico exacto. Es por ello que, aunque su diagnóstico se considere básicamente clínico, se intenta descartar otras enfermedades como son la hipoacusia, ansiedad, discapacidades intelectuales, depresión o trastorno del espectro autista (el DSM-V acepta este último como comorbilidad). En este sentido, la evaluación clínica por norma general, suele incluir: a) Una anamnesis completa donde se recoja información precisa de antecedentes personales; antecedentes familiares; aspectos sociofamiliares/educativos y síntomas de déficit de atención, hiperactividad y/o impulsividad; b) un examen clínico-neurológico, en busca de signos menores que orienten a determinados síndromes que puedan cursar con TDAH, y c) una consideración bien estudiada del diagnóstico diferencial y sus posibles comorbilidades (Bélanger, Andrews, Gray, & Korczak, 2018; McMillan, Land, & Leslie, 2017).



**Figura 4.** Patrón general del algoritmo seguido para la evaluación del trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Figura modificada de Vicario & Esperón, 2008.

Para aumentar la precisión en el diagnóstico de TDAH también se suelen presentar escalas o test de cribado de TDAH como son el SNAP-IV (Swanson, Nolan, and Pelham en su 4ª versión) de aplicación para niños entre 3 y 17 años, y/o la escala de hiperactividad de Conners modificada por Farré y Narbona, ya que han demostrado tener una efectividad en la distinción del diagnóstico entre niños con y sin TDAH de más de un 94% (Committee on Quality Improvement, 2000). En la figura 4 se puede observar una aceptable propuesta acerca del algoritmo general que debería utilizarse para la evaluación del TDAH. Sin embargo, a pesar de todos los esfuerzos por unificar criterios, la falta de cohesión entre los distintos informantes hace incluso invalidar los diagnósticos por no existir cohesión entre los resultados de los distintos criterios diagnósticos (DMS-5 y el CIE-11 o CIE-10 en su momento).

## Tratamiento

Ante la gran heterogeneidad y las múltiples variables y factores de los que depende su etiología y su diagnóstico, el prescribir un tratamiento correcto puede llegar a ser un desafío. Con el fin de ayudar a las personas con TDAH en su día a día, se han desarrollado varios tipos de tratamientos e intervenciones (Hauck, Lau, Wing, Kurdyak, & Tu, 2017; Schatz et al., 2015). Actualmente las opciones de tratamiento se basan en tres modalidades: **Tratamiento farmacológico** basados en estimulantes de corta o larga acción (metilfenidato, atomoxetina, etc.), **terapia conductual** basada en estrategias de conducta coordinadas con padres y/o maestros durante un tiempo limitado de 2-3 meses para comprobar su efectividad, y un **tratamiento combinado** de las dos anteriores (farmacológica y terapia conductual). Éste, además, ha de ser multimodal e individualizado, interviniendo en él, además de los padres, profesionales con formación en este trastorno como son pediatras, psicólogos, psiquiatras, neuropediatrías, pedagogos y maestros.

### *Tratamientos farmacológicos*

Se ha demostrado que los tratamientos con fármacos, presenta gran eficacia a la hora de reducir la sintomatología, los niveles de activación y un apreciable aumento de atención (Cortese et al., 2018; Hirota, Schwartz, & Correll, 2014; Punja et al., 2016; Storebø et al., 2018) y son, con diferencia, el tratamiento más utilizado para mitigar los síntomas del TDAH. Entre los fármacos utilizados para el tratamiento de TDAH encontramos fármacos psicoestimulantes y fármacos no psicoestimulantes.

Dentro de los **fármacos psicoestimulantes** se encontrarían:

- *Derivados del metilfenidato*. Estos consiguen bloquear la recaptación de catecolaminas a nivel sináptico, lo que produce una función retardada dependiente de la corteza prefrontal, que como ya hemos comentado, presenta disfunción en sujetos con TDAH (Arnsten & Dudley, 2005). Actualmente es considerado el tratamiento más eficaz en sujetos con TDAH.

- La *anfetamina*. Estos también actúan alterando la neurotransmisión sináptica. Además de bloquear la entrada en la vesícula que hay en la zona presináptica, bloquean la recaptación de catecolaminas y favorece su liberación. Como posibles efectos secundarios se encuentran la alteración del estado de ánimo, la ansiedad o los tics.

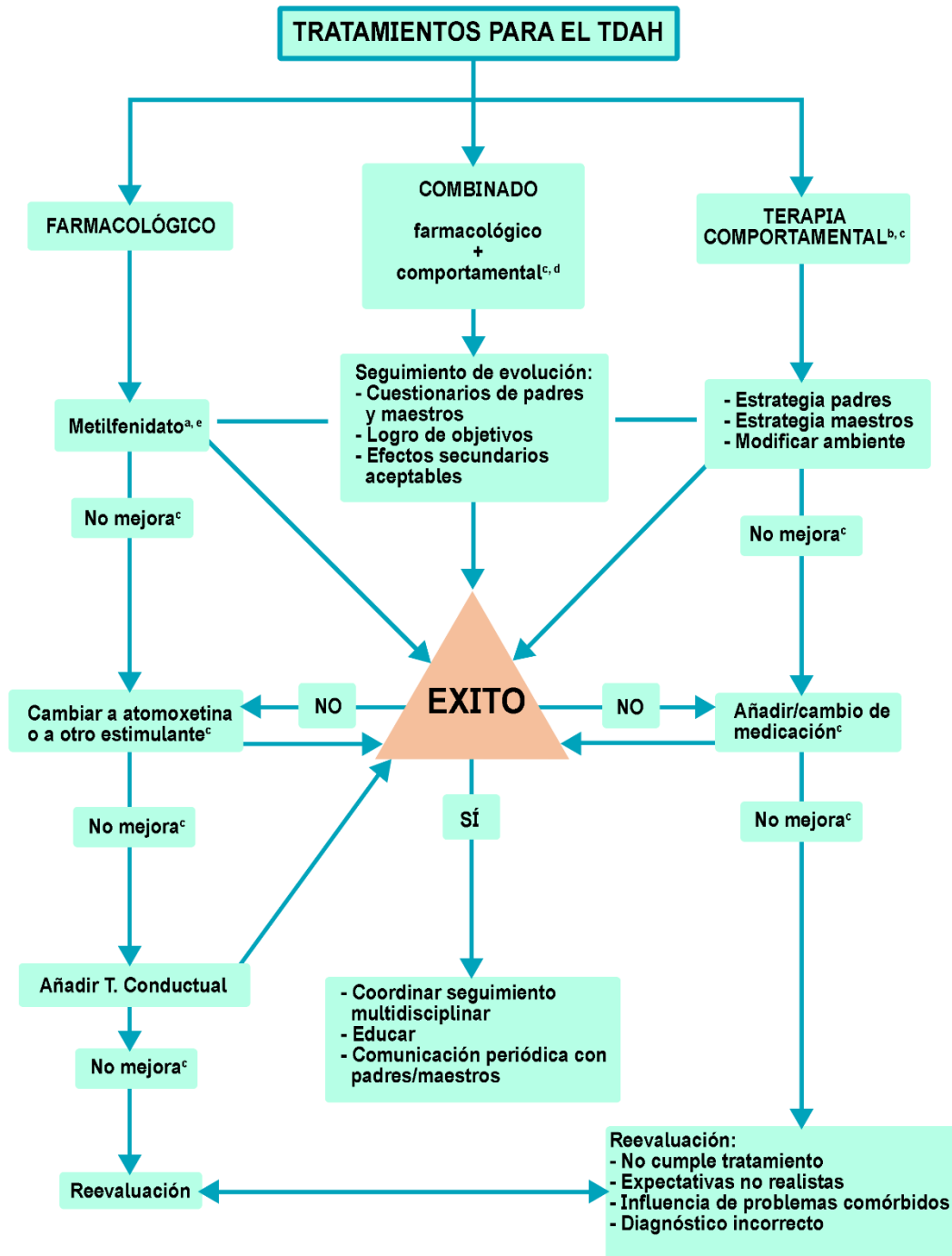
Cuando los psicoestimulantes no dan respuesta o sus efectos secundarios no son tolerados, se pasa a utilizar **fármacos no psicoestimulantes**, entre los que se encuentran:

- La *atomoxetina*, la *guanfacina* o la *clonidina*, cuya acción se basa en aumentar la neurotransmisión catecolaminérgica, que como ya se ha comentado anteriormente, se ha observado que se encuentra alterada en sujetos con TDAH (Arnsten & Pliszka, 2011).

- Los *antidepresivos* como la anfebutamona, actúa como inhibidor de la recaptación de catecolaminas.

En España, actualmente no están aprobados los tratamientos con anfetaminas, dexanfetaminas y pemolina, por los que los tratamientos se basan en metilfenidato de liberación prolongada y la atomoxetina (Treceño et al., 2012).





**Figura 5.** Patrón de algoritmo de opciones de tratamiento del TDAH (en España). a = Suele ser necesario en TDAH grave o moderado. En España va a ser metilfenidato. b = En niños muy pequeños (menores de 5-6 años) con TDAH leve a leve-moderado, o cuando hay factores psicosociales significativos, puede probarse primero tratamiento conductual. Debe acordarse con los padres un tiempo suficiente, pero limitado (2-3 meses), para decidir (si no mejora) pasar a añadir tratamiento con medicación. c = Valorar/derivar al especialista. d = En TDAH grave con comorbilidad. e = Podrá empezarse también con atomoxetina cuando esté disponible, según las características del paciente y la familia. Figura modificada de Vicario & Esperón, 2008.

Aun así, al igual que en otros países el uso del medicamento para tratar este trastorno ha mostrado un aumento significativo en las últimas décadas (Schubert, Köster, & Lehmkuhl, 2010; Treceño et al., 2012; Zito, Safer, Gardner, Boles, & Lynch, 2000) y esto ha llevado a pensar en la existencia de un sobrediagnóstico de este trastorno, debido en parte a la gran variabilidad de perfiles que puede presentar y su similitud en sintomatología con otros trastornos o disfunciones como pueden ser las asociadas a aspectos visuales (DeCarlo, Swanson, McGwin, Visscher, & Owsley, 2016; Farrar, Call, & Maples, 2001; Granet, Gomi, Ventura, & Miller-Scholte, 2005; Redondo, Molina, et al., 2020).

#### *Tratamiento no farmacológico.*

Las **terapias cognitivas-conductuales, modificación de la conducta o tratamientos psicosociales multimodales**, han demostrado presentar efectos positivos ante los síntomas, deficiencias y demás problemas relacionados con el TDAH (De Crescenzo, Cortese, Adamo, & Janiri, 2017; Gabriely, Tarrasch, Velicki, & Ovadia-Blechman, 2020; Hodgson, Hutchinson, & Denson, 2014; Moreno-García, Meneres-Sancho, Camacho-Vara de Rey, & Servera, 2019; Roman, 2010; Sibley, Kuriyan, Evans, Waxmonsky, & Smith, 2014).

- Las *terapia cognitiva-conductual* tiene como objetivo el intentar favorecer la realización de actividades con el fin de minimizar la deficiencia atencional, actuando además sobre la hiperactividad y la impulsividad. Esta trabaja sobre todo con la memoria, con estrategias para la resolución de problemas y con la mejora de habilidades sociales (Cuadros & Estañol Vidal, 2005; Garcia, 2001).

- Los *tratamientos de modificación de la conducta* están basada en la necesidad de los niños con TDAH de tener reconocimientos y refuerzos sociales que fortalezcan su autocontrol, autoestima o la visión positiva de lo que le rodea. Estos se van alcanzando poco a poco gracias a la aplicación de refuerzos y premios en el desarrollo de las tareas (Groß et al., 2019; Young, 2002).

- Los *tratamientos psicosociales multimodales* por su parte, es una suma de tratamientos que requieren de la utilización de un tratamiento farmacológico, acompañado de una psicoterapia,

tanto conductual como cognitivo-conductual y si fuese necesario un una terapia conyugal-familiar o de adaptación al lugar de enseñanza o trabajo (Campayo, Germán, Lanero, & Díez, 2007).

Además de estos tratamientos no farmacológicos, en los últimos años y basándose en hipótesis que plantean que el TDAH pueda estar relacionado con una insuficiencia de ácidos grasos omega-3, ha dado lugar al inicio de estudios de tratamientos basados en dietas con suplementos dietéticos a base de fuentes de ácidos grasos esenciales de omega-3 ( $\omega$ 3) y zinc (Checa-Ros et al., 2018; Oner et al., 2010; Salehi, Mohammadbeigi, Sheykholeslam, Moshiri, & Dorreh, 2016; Yorbik et al., 2008).

## TDAH y visión

Es evidente que la sintomatología propia del TDAH comparte muchos aspectos con la sintomatología asociada a diversas disfunciones visuales, ya sean a nivel binocular, acomodativo u oculomotor (Bucci et al., 2017; DeCarlo et al., 2016; Farrar et al., 2001; Granet et al., 2005; Lenz et al., 2010; Redondo et al., 2018). Tanto es así, que en los últimos años existe una mayor disposición para realizar estudios que intente encontrar una relación entre ambos (Kim, Banaschewski, & Tannock, 2015; Krain & Castellanos, 2006; Redondo, Vera, Molina, Garcia, et al., 2020; Reimelt et al., 2021; Varela Casal et al., 2019). En este sentido, hay estudios que han logrado observar una correlación positiva en la severidad de diversos trastornos, con una mayor sintomatología afin al TDAH (Bucci et al., 2017; DeCarlo et al., 2016; Redondo, Molina, et al., 2020; Redondo, Vera, Molina, Garcia, et al., 2020).

En las últimas décadas, debido a la gran demanda visual en visión cercana originada por la incorporación de las nuevas tecnologías en la vida diaria desde edades cada vez más tempranas, se ha observado un aumento de muchas disfunciones visuales que pueden afectar negativamente a la calidad de vida y desarrollo de los niños (Sterner, Gellerstedt, & Sjöström, 2006). Tareas cotidianas que se realizan a poca distancia y de forma continuada durante gran parte del día

(estudio, deberes, leer, usar móviles o tablet, ordenador, videoconsolas, etc.), son un aspecto a considerar que pueden llegar a ocasionar problemas visuales que condicionen tanto el desarrollo educativo como el social de una persona (Lee, Cho, Moon, Kim, & Yu, 2019).

Es lógico pensar que este sobresfuerzo visual, unido a la propia sintomatología del TDAH, puede impedir la dedicación y concentración que requiere una tarea y llevar a una ralentización en el desarrollo lógico de factores como el vocabulario, la comprensión o los mecanismos de lectura (Garzia et al., 2000). Sin embargo, a pesar de ello, y aun existiendo evidencias de que la dinámica ocular está asociada a áreas cerebrales de control de la atención (Clayton, Yeung, & Cohen Kadosh, 2015), los protocolos establecidos de tratamiento en el TDAH destinados a resolver o apaciguar la sintomatología de posibles alteraciones visuales siguen sin tener gran peso. Es por ello que podría darse la situación de que problemas visuales produzcan un enmascaramiento de posibles trastornos de comportamiento o aprendizaje como puede ser el propio TDAH o en contraposición, que posibles diagnósticos de trastornos de comportamiento o aprendizaje sean erróneamente identificados debido a problemas visuales (DeCarlo et al., 2016).

## La visión en la edad pediátrica

Se estima que el periodo de plasticidad cerebral que determina el desarrollo visual en un niño se ve ampliamente reducido alrededor de los 8 años de edad, siendo cada vez más complicado corregir estas disfunciones después de este periodo (Capetillo Biart, Triana Casado, Martínez Legón, Roche Caso, & Broche Hernández, 2011; Hensch & Quinlan, 2018; Morales, Rozas, Pancetti, & Kirkwood, 2003).

Los trastornos visuales ya sean binoculares, acomodativos o perceptivos en la edad pediátrica, aunque se suelen encontrar con gran frecuencia en la práctica clínica, presentan criterios de identificación de sus síntomas muy variados, debido, entre otras razones, a la falta de consenso sobre signos clínicos de diagnóstico y la falta de evidencias que lo sustentan (Cacho-Martínez,

García-Muñoz, & Ruiz-Cantero, 2010, 2014). De hecho, en este aspecto se pueden encontrar desde los criterios clínicos basados en cuestionarios, a la simple consideración de ausencia o presencia de diversos síntomas visuales citados por el propio paciente, padre/madre o tutor (Abdi & Rydberg, 2005; Borsting et al., 2003; Conlon, Lovegrove, Chekaluk, & Pattison, 1999; García-Muñoz, Carbonell-Bonete, & Cacho-Martínez, 2014; Marran, De Land, & Nguyen, 2006; Rouse et al., 1999; Scheiman & Wick, 2008). Esto, ha provocado que exista cierta disparidad a la hora de aportar una prevalencia más o menos exacta de estas disfunciones, encontrando valores que oscilan entre un 2,0 y un 61,7% en problemas como la insuficiencia acomodativa o de un 2,25 a un 33% en problemas de insuficiencia de convergencia (García-Muñoz, Carbonell-Bonete, Cantó-Cerdán, & Cacho-Martínez, 2016).

La ausencia de un criterio diagnóstico específico, así como la dificultad en el examen en este tipo de población, hace que, en trastornos como el TDAH, los problemas visuales que puedan llegar a tener cierta relevancia, se hayan tenido poco en cuenta. Tanto es así, que algunas pautas internacionales, como por ejemplo la utilizada por “American Academy of Pediatrics” o la plasmada en “Canadian ADHD Practice Guidelines”, para el diagnóstico del TDAH, recomiendan descartar cualquier causa médica asociada a los síntomas de TDAH o incluso mencionar los déficits sensoriales ligados al mismo (S3 Guidelines ADHD) (Klein et al., 2015; Wolraich et al., 2019), es por ello que un examen visual completo debería ser imprescindible antes de diagnosticar el TDAH y desde luego, antes de iniciar un tratamiento según la pauta multimodal.

## Parámetros y habilidades visuales influyentes en el TDAH

### *Errores refractivos*

A nivel general, más del 34% de la población mundial presenta algún tipo de ametropía de los cuales de un 5 a un 15% son niños que se encuentran sin compensar (Dunaway & Berger, 2006). El proceso de emetropización y desarrollo de la función visual está determinado por la unión de

múltiples aspectos, entre los que cabe destacar tanto los factores genéticos y medioambientales, como los de la calidad de imagen retiniana (Flitcroft, 2012; Li et al., 2012). La mayoría de las ametropías vienen desarrolladas por problemas estructurales motivados por una fragilidad, bloqueo o regresión en el curso de desarrollo y crecimiento de las estructuras oculares, siendo la miopía juvenil con marcado carácter ambiental la más frecuente (Chen et al., 2011; Galvis, Tello, Camacho, Parra, & Merayo-Lloves, 2017; Saw et al., 2006; Wojciechowski & Hysi, 2013; Xiang, He, & Morgan, 2012).

Errores refractivos como la hipermetropía no corregida se ha asociado con problemas en la ejecución de tareas visuo-cognitivas y visuomotoras, que pueden influir tanto en habilidades de atención como en procesos de aprendizaje (Fredrick, 2002; Kulp et al., 2016; Shankar, Evans, & Bobier, 2007; Williams, Latif, Hannington, & Watkins, 2005), problemas que pueden ser atribuidos a un diagnóstico de TDAH (Daley & Birchwood, 2010; Diamantopoulou, Rydell, Thorell, & Bohlin, 2007). Sin embargo, aunque se ha observado una mayor prevalencia de error refractivo en niños con TDAH en relación a niños sanos (DeCarlo et al., 2016; Grönlund, Aring, Landgren, & Hellström, 2007; Mezer & Wygnanski-Jaffe, 2012), hasta la fecha, son pocos los estudios que relacionan el error refractivo y el TDAH, encontrando valores de prevalencia entre el 39 y el 76% en la población infantil con TDAH (Grönlund et al., 2007; Mezer & Wygnanski-Jaffe, 2012; Reimelt et al., 2021). De hecho, aunque parece existir una asociación entre ambos, los datos al respecto son muy ambiguos.

### *Visuo-percepción*

En la eficiencia visual, aunque la calidad óptica y la función motora de los ojos trabajen correctamente, transmitiendo sus señales visuales de forma eficiente a través de los ojos, una adecuada decodificación e interpretación de las imágenes retinianas en el cerebro es imprescindible para garantizar un procesamiento exitoso de la información visual recibida (Kurtz, 2006). En este camino del procesamiento visual, aspectos no motores de la percepción visual y de la cognitiva, cooperan con funciones del sistema motor, auditivo, del lenguaje o la atención,

los cuales están unidos por diversas regiones y redes cerebrales complejas para dar una respuesta óptima a la información recibida. En este sentido, habilidades de percepción visual como la discriminación visual, la memoria visual, las relaciones visual-espaciales, la constancia de la forma visual, la memoria secuencial visual, la discriminación figura-fondo o el cierre visual son habilidades que comúnmente se suelen utilizar para la evaluación de esta (Garzia et al., 2000).

Por otro lado, las dificultades de aprendizaje tienen una etiología multifactorial, donde tanto la genética como las disfunciones cerebrales toman gran importancia (American Psychiatric Association, 2013). Conociendo la íntima relación entre sistema visual y las áreas de aprendizaje, es comprensible ver que las deficiencias visuales congénitas o adquiridas debería afectar negativamente en este proceso (American Optometric Association, 2020). Tanto es así, que aunque la transmisión de la información visual sea correcta, su codificación e interpretación puede estar alterada, como se ha demostrado en diversos estudios en niños con problemas de discapacidad de aprendizaje como son la dislexia, el autismo o el síndrome de niños de desarrollo prematuro, en los cuales se han encontrado frecuentes deficiencias en un gran número de habilidades visuo-perceptivas (Gaddes, 2013; Moll, Göbel, Gooch, Landerl, & Snowling, 2016). En cuanto a los niños con TDAH, se ha observado que la dificultad del aprendizaje está relacionado, tanto con un retraso de maduración, como a un menor volumen subcortical (Hoogman et al., 2017). Esto hace que sean frecuentes las alteraciones en la funciones cognitivas de procesamiento como son la memoria visoespacial (Castellanos & Tannock, 2002; Seidman, Valera, & Makris, 2005), o la memoria a corto plazo con una discriminación e interpretación de estímulos más lenta y deteriorada (Kurtz, 2006; Lenz et al., 2010) que en sujetos control. Sin embargo, como ya se indicó anteriormente, el TDAH también se ha relacionado con una disminución en el desempeño conductual (Karayanidis et al., 2000), y por tanto, surgen algunas dudas sobre cómo de concluyentes pueden llegar a ser estas pruebas en este tipo de trastorno (Friedman & Rapoport, 2015).

### *Agudeza visual (AV)*

La AV es considerada como la capacidad del sistema visual para reconocer, detectar y resolver detalles de nuestro entorno bajo un test de alto contraste y con buena iluminación (Bailey & Lovie-Kitchin, 2013; Quevedo, Aznar-Casanova, & Silva, 2018). A pesar que los umbrales de resolución del ojo están limitados por factores ópticos, anatómicos y fisiológicos (Anderson, Mullen, & Hess, 1991; Atchison, Schmid, & Pritchard, 2006; Banks, Sekuler, & Anderson, 1991; Ennis & Johnson, 2002; Liang, Williams, & Miller, 1997; Popovic & Sjöstrand, 2005), se ha observado que la AV en determinados trastornos neurológicos se halla afectada.

Se estima que la edad de fin del desarrollo de la AV puede estar entre los 5 años y la mitad de la adolescencia (Leat, Yadav, & Irving, 2009). Una AV baja puede tener una etiología variada, siendo las más frecuentes la presencia de ambliopía, estrabismo o errores de refracción. En este sentido, los sujetos con TDAH presentan gran sintomatología a la edad en la que la AV se encuentra terminando su desarrollo, es por ellos que un problema en su desarrollo o incluso un retraso en éste puede agravar su sintomatología. De hecho, hay estudios que apuntan a una mayor prevalencia de AV inferiores a los valores normativos (0.8 AV decimal,  $> 0,1$  logMAR) en niños con TDAH sin medicación, que en niños con TDAH con medicación (Fernández-Jaén, Martín Fernández-Mayoralas, Calleja-Pérez, Moreno-Acero, & Muñoz-Jareño, 2008), y que en niños considerados sanos (Grönlund et al., 2007). Sin embargo, la cooperación del sujeto, especialmente afectada en esta población, puede tener una importancia relevante en su medida (Slobodin & Davidovitch, 2019). No obstante, existen otros estudios que contradicen estos resultados, no aportando significancia estadística en agudeza visual entre niños con TDAH y grupo control (Ababneh et al., 2020), incluso aun evaluando este parámetro bajo efecto ciclopléjico, el cual evita la limitación que proporciona la acomodación latente (Fabian et al., 2013).

Sin embargo, en nuestro entorno los objetos no suelen encontrarse de forma estática. En este sentido, se ha demostrado que la AV dinámica, definida como: “la habilidad de discriminar detalles de un objeto cuando existe movimiento relativo entre dicho objeto y el observador”



(Cline, 1980), presenta una correlación baja con respecto a la AV medida de forma estática, disminuyendo la AV dinámica de forma proporcional a la velocidad del desplazamiento del estímulo (Aznar-Casanova, Quevedo, & Sinnett, 2005; Long & Penn, 1987; Ludvigh & Miller, 1958). Estudios apuntan que a partir de una velocidad de 0,5º/segundo se iniciaría el deterioro en la AV (Aznar-Casanova et al., 2005). Esta diferencia entre ambos está asociada con muchos factores, entre los que podríamos incluir la iluminación, diámetro de la pupila, contraste, género, edad y los efectos de entrenamiento (Holland, 2000; Ludvigh & Miller, 1958; Morrison, 1980), factor este último, en el que jugaría una parte importante la funcionalidad del sistema motor, y que se ha demostrado se puede encontrar afectado en niños con TDAH (ver apartado sistema oculomotor). Sin embargo, aun existiendo motivos para pensar que este puede ser un parámetro importante a valorar a la hora de realizar un diagnóstico correcto del TDAH, la literatura al respecto es nula.

### *Sensibilidad al contraste*

La sensibilidad al contraste es una gran herramienta de diagnóstico visual, utilizada tanto en la evaluación del rendimiento visual, como en la caracterización de ciertos déficits visuales (Chung & Legge, 2016; Ginsburg, 1984). Esto es debido, a que el sistema visual no procesa de igual forma las diferentes frecuencias espaciales, y porque, además, existen varios canales de transferencia según la frecuencia observada. Entre las condiciones visuales con afectación de la sensibilidad al contraste, pueden encontrarse la pérdida de transparencia en el sistema óptico, la ambliopía, el glaucoma o las lesiones en el sistema nervioso central. De hecho, se considera como un signo clínico de algunas enfermedades sistémicas como la esclerosis múltiple (Regan, Silver, & Murray, 1977). En este sentido, estudios en enfermedades como el Parkinson, han observado que niveles bajos de dopamina se encuentran asociados a la presencia de una baja sensibilidad al contraste (Weil et al., 2016). Además, hay estudios que relacionan los niveles de dopamina en el sistema central con los de la zona retiniana, indicando que el sistema dopaminérgico de la retina influye en la adaptación de la luz, la percepción del color, la sensibilidad al contraste y el procesamiento espacio-temporal (Djamgoz, Hankins, Hirano, & Archer, 1997; Tannock,

Banaschewski, & Gold, 2006; Witkovsky, 2004). Sin embargo, aun conociendo la íntima relación entre niveles de dopamina y TDAH, la literatura acerca de su relación con la función de sensibilidad al contraste es escasa y ambigua (Atas, Ceylan, Dönmez, & Ozcan, 2020; Bartgis, Lefler, Hartung, & Thomas, 2009; Dönmez et al., 2020; S. Kim et al., 2015; Stevens et al., 2012).

### *Estereopsis*

En cuanto a la asociación entre una disminuida percepción de profundidad con el TDAH, Leroy et al. (2018) observó una red neuronal más restringida en la corteza parietal derecha en niños con TDAH (Leroy et al., 2018), región cerebral involucrada, tanto en el procesamiento visoespacial, como en el procesamiento de la estereopsis de patrones caóticos (Walter & Dassonville, 2008). Sin embargo, hasta la fecha la literatura en este sentido es muy escasa.

## Sistema oculomotor

### *Función acomodativa*

La inervación que produce el cambio en el poder refractivo concomitante en el cristalino es dual, ya que proviene de una división tanto parasimpática como simpática del sistema nervioso autónomo. El sistema parasimpático proporciona la inervación dominante al músculo ciliar en visión natural incitando su contracción de manera rápida (~ 1 segundo) consiguiendo aumentar el error refractivo hasta 20 D, esta viene mediada por la acción de neurotransmisores como la acetilcolina que actúan sobre receptores muscarínicos subtipos M3 (Franzén, Richter, & Stark, 2000). Por el otro lado, el sistema simpático del músculo ciliar, viene mediado por la acción sináptica de neurotransmisores como la noradrenalina que actúan sobre los receptores postsinápticos adrenérgicos  $\alpha_1$  y  $\beta_2$  (Chen, Schmid, & Brown, 2003). El camino del sistema simpático actúa de manera más lenta que el parasimpático (de 10 a 40 s) induciendo una inhibición

de la acomodación que solo es evidente después de trabajo cercano prolongado (Gilmartin, 1986, 1987; McDougal & Gamlin, 2011).

El hecho, de que la acción de neurotransmisores noradrenérgicos esté presente tanto en la función acomodativa en su vertiente simpática, como en las alteraciones de los sistemas de neurotransmisores observadas en niños con TDAH, induce a pensar en una posible relación entre acomodación y TDAH. De hecho, hay estudios que muestran que un estrés acomodativo inducido aumenta el retraso acomodativo, deteriorando la atención sostenida a los estímulos visuales (Poltavski, Biberdorf, & Petros, 2012). Este hecho apoyaría la existencia de una relación bidireccional entre la acomodación y los mecanismos de atención, que como es conocido se encuentran deteriorados en los sujetos que presentan TDAH. En este sentido, estudios como los realizados por Redondo et al. apoyan una menor precisión en la acomodación en niños con TDAH, agravada conforme aumenta la demanda acomodativa (Redondo, Vera, Molina, Garcia, et al., 2020; Redondo et al., 2018).

### *Función pupilar*

La respuesta de dilatación de la pupila está asociada a una excitación de la actividad simpática y a la inhibición de la actividad parasimpática y viceversa para la contracción de la pupila (Joshi, Li, Kalwani, & Gold, 2016; Reimer et al., 2016; Samuels & Szabadi, 2008).

Es conocido que el sistema simpático proporciona un índice fisiológico de excitación que está relacionado con la actividad en el sistema locus coeruleus-noradrenérgico que mejora la atención a estímulos motivadores (Aston-Jones & Cohen, 2005). En este sentido, se ha observado que los niños con TDAH presentan un diámetro pupilar mayor que los niños sanos (Redondo, Molina, et al., 2020; Redondo et al., 2018; Rojas-Líbano et al., 2019; Wainstein et al., 2017), posiblemente provocado por ese carácter de hiperactivación, sin embargo, su dilatación pupilar es reducida ante tareas cognitivas, lo que sugiere la presencia de dificultades con la regulación de esfuerzos y motivaciones (Metin, Sonuga-Barke, Wiersema, Roeyers, & Vermeir, 2017; Wainstein et al., 2017). Además, parámetros como la dinámica pupilar se ha llegado a presentar como índice

objetivo de rastreo de problemas atencionales tanto en sujetos sanos, como en TDAH, sugiriendo una posible capacidad de conocer estados de atención utilizando el tamaño de la pupila como predictor (Redondo, Molina, et al., 2020; Unsworth & Robison, 2016; Wainstein et al., 2017).

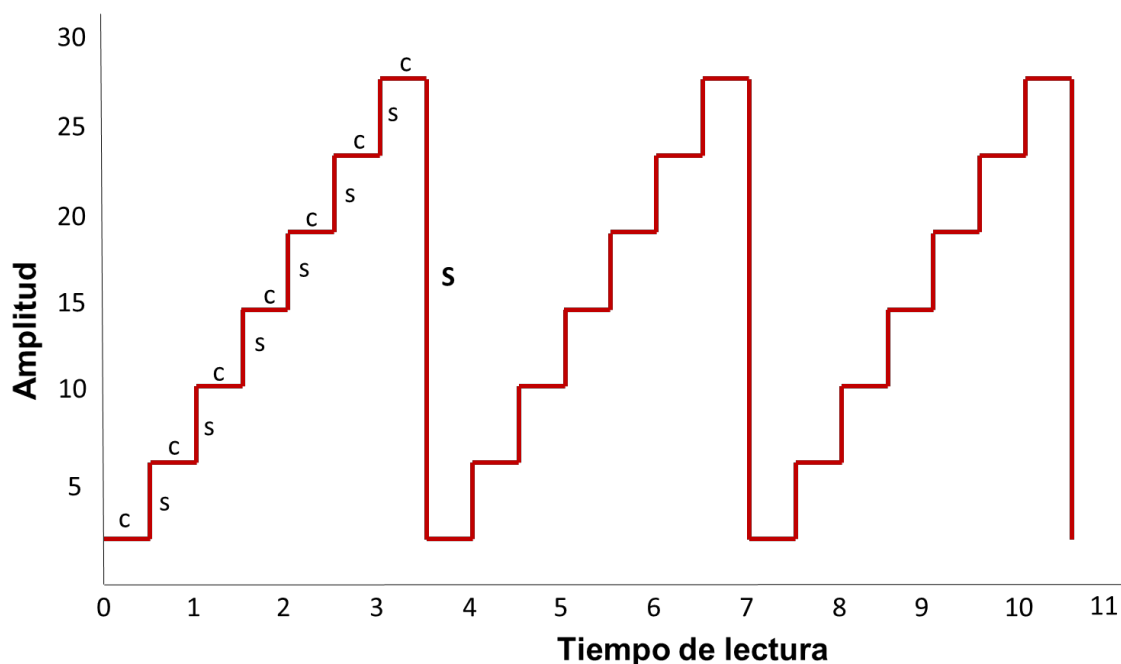
### *Función motora*

Al realizar movimientos oculares entre objetos situados a diferentes distancias, se requieren cambios apropiados en la acomodación y la vergencia (Gamlin, 2002). Los movimientos oculares de las vergencias pueden ser provocados por cambios tanto en la disparidad producida entre las imágenes de cada ojo como en la acomodación provocada por el desenfoque (Krishnan, Phillips, & Stark, 1973; Krishnan & Stark, 1977; Schor, 1992). Se ha observado que zonas del mesencéfalo controlan la vergencia del ojo, formando parte de una vía más amplia, que incluye las regiones frontal y parietal de la corteza cerebral y el cerebelo. Regiones estas, involucradas en el control de la atención visual (Sole Puig et al., 2016) y afectadas en sujetos con TDAH (Arnsten & Pliszka, 2011; Kesner & Churchwell, 2011), a quien se le ha relacionado con una mala coordinación binocular (Granet et al., 2005). En este sentido, se ha observado una modulación débil en el ángulo de vergencia en sujetos con TDAH, atribuida a un procesamiento cognitivo deficiente de la información sensorial (Puig et al., 2015), e incluso, en un reciente estudio realizado por Varela Casal et al. (2019) han concluido que la evaluación de la modulación de las vergencias podría utilizarse como marcador objetivo para la detección del TDAH (Varela Casal et al., 2019). Hecho este, que puede llevar a comprender la relación existente entre la alteración binocular como es la insuficiencia de convergencia, y el TDAH, donde existen estudios que han observado una mayor incidencia de insuficiencia de convergencia en niños con TDAH (Granet et al., 2005; Migrants, Kiyokawa, & Island, 2019; M. Rouse et al., 2009).

Por otro lado, una de las habilidades más demandantes de la función visual en general y de la función motora en particular es la lectura. Durante la lectura se realizan principalmente tres tipos de movimientos oculares: *pausas de fijación*, *movimientos sacádicos* y *movimientos de regresión*. Estos movimientos oculares se expresan en forma de escalera, donde la altura o tabica del escalón

representaría una microsacada y la huella del escalón sería donde se realizaría la comprensión lectora. La rampa final comprendería el cambio de línea (ver figura 6) (Keith Rayner, 1978). Sin embargo, también podemos encontrar pequeños ajustes vergenciales al desplazarse por la línea, o incluso al cambiar la distancia al libro, donde actuarían acompañado del sistema acomodativo para focalizar la imagen. Para realizar una fijación precisa los movimientos sacádicos irán apoyados de movimientos de seguimiento que actuarán coordinadamente con los reflejos oculares del sistema vestibular.

En este sentido, los síntomas del TDAH se han asociado con problemas de lectura (Miller et al., 2013). De hecho, se ha observado que estos niños presentan un mayor movimientos tanto en sacádicos (Goto et al., 2010; Gould, Bastain, Israel, Hommer, & Castellanos, 2001; Mostofsky, Lasker, Cutting, Denckla, & Zee, 2001; Munoz, Armstrong, Hampton, & Moore, 2003), como en microsacádicos al realizar una tarea anti-sacádica de fijación prolongada y que parece normalizarse con la medicación (Fried et al., 2014).



**Figura 6.** Esquema de los movimientos sacádicos en la lectura. Nota: c = representa la comprensión del texto; s = corresponde a una microsacada; S = es el salto del cambio de línea. Imagen modificada de Perea, 2008

## Atención

El entorno visual que nos rodea contiene mucha más información de la que podemos procesar. Es por ello que nuestro comportamiento visual depende fundamentalmente de la capacidad que tengamos de atender a los estímulos más relevantes (Awh, Armstrong, & Moore, 2006). Acción que es conocida con el nombre de atención, y se podría definir como: *“la asignación apropiada de recursos de procesamiento a los estímulos que son más relevantes”* (Coull, 1998).

La atención viene mediada por factores tanto cognitivos como oculomotores, presentando estos últimos un papel importante a través de la interacción de percibir la imagen de un objeto mientras modifica su posición (Yarbus, 2013). De hecho, parámetros como el diámetro pupilar (Corbetta et al., 1998; Fiebelkorn & Kastner, 2019; Hoffman & Subramaniam, 1995; Marandi & Gazerani, 2019; Shepherd, Findlay, & Hockey, 1986), la dinámica oculomotora (Binda, Pereverzeva, & Murray, 2014; Daniels, Nichols, Seifert, & Hock, 2012; Kang, Huffer, & Wheatley, 2014; Unsworth & Robison, 2016), las vergencias (Solé Puig, Pérez Zapata, Aznar-Casanova, & Supèr, 2013; Varela Casal et al., 2019) y la respuesta acomodativa (Edgar, 2007; Poltavski et al., 2012; Redondo, Vera, Molina, Davies, & Jiménez, 2020) han demostrado ser dependientes de la atención, por lo que un problema en alguna de ellas puede alterar la funcionalidad de esta.

En este sentido, como ya se ha comentado anteriormente, los niños con TDAH presentan mayor prevalencia de problemas visuales (Akmatov, Ermakova, & Bätzing, 2019; Grönlund et al., 2007), factores como una capacidad reducida, tanto de inhibición de sacádicos no deseados, como de control voluntario de la fijación (Fried et al., 2014; Muñoz et al., 2003), una presencia escasa de vergencias en tareas atencionales (Puig et al., 2015) o una respuesta acomodativa menos precisa (Redondo, Molina, et al., 2020; Redondo, Vera, Molina, Davies, et al., 2020; Redondo et al., 2018), hacen ver que, el estado visual pueda aportar sintomatología atencional a este trastorno.

Sin embargo, la evidencia psicológica indica que la atención y los movimientos oculares aunque están relacionados funcionalmente, no está claro hasta qué punto estos dos conjuntos de procesos comparten sistemas neuronales y procesos subyacentes (Corbetta et al., 1998). Aun así, en este

sentido, hay estudios que han demostrado que la magnitud y la variabilidad de la acomodación se puede mejorar manipulando el nivel atencional al realizar una tarea acomodativa, al interaccionar la distancia percibida y el tipo de estímulo utilizado, pudiendo mejorar el estado atencional (Anderson, Glasser, Manny, & Stuebing, 2010; Aslam, Rahman, Henson, & Khaw, 2011; Gaggi & Ciman, 2016; Redondo, Vera, Molina, Davies, et al., 2020) y que parece existir una correlación de la atención con las vergencias y los movimientos oculares, al realizar tareas atencionales de estímulos periféricos (Corbetta et al., 1998; Sole Puig et al., 2016).

## **Justificación de la presente tesis doctoral**

La percepción visual es considerada una de las áreas específicas de habilidades de evaluación temprana puesto que la alteración en la misma lleva asociada un bajo rendimiento en la lectura, comportamiento y otras discapacidades que afectan al aprendizaje. La percepción visual implica habilidades, que van desde adquisición de la señal visual o eficiencia visual, hasta el procesamiento de la información visual. Un déficit en cualquiera de estos dominios funcionales puede resultar un obstáculo para un rendimiento académico apropiado durante el proceso de aprendizaje, e incluso puede afectar al comportamiento social debido al tenso estado fisiológico asociado. Estas disfunciones visuales no son fácilmente detectadas por los educadores o en los screening escolares, y pueden estar interfiriendo en el proceso de aprendizaje. Incluso, pueden estar enmascaradas dentro de cualquier trastorno de aprendizaje o del comportamiento como el TDAH, habida cuenta que muchos síntomas observados en el TDAH son compartidos por algunas anomalías funcionales binoculares de la visión (Borsting, Rouse, & Chu, 2005). Los estudios sobre la asociación entre tales síntomas, recogidos en el DSM-V (American Psychiatric Association, 2013), y presentes en dichas anomalías visuales no han obtenido resultados concluyentes, ya que muchos de los síntomas visuales encontrados en los niños TDAH pueden ser causados por los problemas de atención (Borsting et al., 2005).

Los niños con TDAH pueden presentar fallos en los procesos cognitivos, perceptivos y ejecutivos, y por tanto tienen mayores dificultades en su rendimiento académico y social, agravado más aún si existe la presencia de alguna comorbilidad influyente. Este estilo cognitivo en el TDAH lleva implícito ciertos predominios en las tareas de funcionamiento cognitivo, proceso en el que el sistema visual está muy implicado, ya que una ineficacia visual, originada por disfunciones en el mecanismo binocular, afectaría los primeros eslabones de esta cadena procesal, interfiriendo en el ya inadecuado sistema de atención selectivo y sostenido de estos sujetos durante el proceso de aprendizaje (Poltavski et al., 2012). Incluso estos problemas de atención o de ejecución pueden ser debidos exclusivamente a una disfunción visual que puede llevar incorrectamente a un diagnóstico de TDAH. Nuestra hipótesis parte de que niños con un déficit sensorial visual necesitarán usar más sus funciones ejecutivas para compensar ese déficit, dejando menos en reserva para atender o mantener el estado atencional. Esto se vería apoyado por el hecho de que la mayor posibilidad de presentar un TDAH o un grado más severo del mismo se da en aquellos sujetos con problemas moderados de visión (DeCarlo et al., 2016), aunque no se han obtenido resultados concluyentes respecto a errores refractivos y parámetros optométricos de tipo acomodativo y binocular, excepto en niños con insuficiencia de convergencia que tiene mayor frecuencia de comportamientos asociados con TDAH y problemas de aprendizaje (Borsting et al., 2005).

Investigaciones previas han mostrado que los niños con TDAH tienen más afectación de la atención sostenida que de la atención espacial selectiva, así como una mayor lentitud en el procesamiento de la información visual (Kurtz, 2006). La importancia del procesamiento de la información visual durante el proceso de aprendizaje es evidente, y las diferentes habilidades perceptivas implicadas en este proceso contribuyen a los logros académicos (Scheiman & Rouse, 2006). Se ha comprobado con métodos objetivos y subjetivos que la velocidad del procesamiento visual en niños con TDAH se halla mermada tempranamente (Kibby, Vadnais, & Jagger-Rickels, 2019; Kurtz, 2006; Lenz et al., 2010; Mayes & Calhoun, 2007), pero no existen trabajos que establezcan que habilidades visuo-perceptivas son las más afectadas.



En lo que respecta a las opciones terapéuticas con fármacos, existe controversia acerca de usar estimulantes como primera elección, tanto sobre su eficacia, como por la duración de su tratamiento. Sin embargo, las prescripciones farmacológicas se han multiplicado por 5 ó 6 veces en las últimas décadas (Criado-Álvarez & Romo-Barrientos, 2003), y si bien esta medicación estimulante activa los circuitos cerebrales relacionados con la atención y mejora el control cognitivo, existen pocos estudios que evalúen sus efectos sobre la función visual, y en ninguno de ellos se analiza la posible variación en la sintomatología visual.

## **CAPÍTULO 2: OBJETIVOS**

## OBJETIVOS

El principal objetivo de esta Tesis Doctoral es el de abordar el estudio de la función visual en su aspecto perceptivo, binocular y oculomotor, en una población escolar diagnosticada de trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH). En dicho proyecto se considerarán diferentes factores que puedan afectar a la función visual como la comorbilidad o la medicación, y en consecuencia a las habilidades visuales perceptivas, binoculares, acomodativas, y oculomotoras. Para abordar tales objetivos, la presente tesis se ha estructurado en 4 estudios diferentes.

Estudio 1. Estudio de la eficiencia visual en el trastorno TDAH y el papel mediador de su medicación sobre ellas.

Estudio 2. Examinar las habilidades de percepción visual en niños diagnosticados de TDAH no medicados (TDAH-NM), y observar como la comorbilidad puede influir en ellas.

Estudio 3. Analizar el patrón de movimientos oculares en niños con TDAH-NM que están libres de cualquier comorbilidad, mientras se lee en voz alta un texto estandarizado.

Estudio 4. Explorar la influencia del nivel de atención en la dinámica de la respuesta acomodativa en niños con TDAH, utilizando, para captar la atención, una tarea de seguimiento de objetos múltiples con cuatro niveles de complejidad. Además, determinar el papel mediador de la medicación para el TDAH sobre esta.

## **CAPÍTULO 3: ESTUDIOS**

## **ESTUDIO I: EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN VISUAL EN NIÑOS CON TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD: LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FARMACOLÓGICO.**

### **Introducción**

El TDAH es uno de los trastornos del neurodesarrollo más comunes en los niños en edad escolar con una prevalencia combinada en todo el mundo de alrededor del 5% (American Psychiatric Association, 2013; Polanczyk et al., 2007). Se caracteriza por inatención, hiperactividad e impulsividad, aunque suelen ir acompañados de diferentes trastornos cognitivos como pueden ser el trastorno negativista desafiante, el trastorno de ansiedad y del estado de ánimo, el trastorno obsesivo-compulsivo, el trastorno del espectro autista y/o discapacidades específicas de aprendizaje (Larson, Russ, Kahn, & Halfon, 2011), lo que implica tener una incidencia desproporcionadamente alta de bajo rendimiento académico en los sujetos que lo padecen (Barry, Lyman, & Klinger, 2002; Tannock & Brown, 2000). Actualmente su diagnóstico clínico se basa principalmente en los criterios subjetivos ofrecidos por el DSM-V (sistema utilizado en Estados Unidos desde 2013) y/o la CIE-11 (sistema médico general utilizado en todo el mundo desde 2018). Sin embargo, hay evidencias que su diagnóstico podría variar con el uso de pruebas más objetivas donde el sesgo del evaluador (Slobodin & Davidovitch, 2019) o la colaboración del sujeto durante la evaluación no entran en juego.

Se ha demostrado que tener una buena calidad óptica, así como una adecuada función visual tanto sensorial como motora, es fundamental durante el proceso de aprendizaje (Gogate et al., 2011; Goldstand, Koslowe, & Parush, 2005; Helveston et al., 1985; Morad et al., 2002; Muzaliha et al., 2012). En este sentido, es conocido que regiones cerebrales como los circuitos fronto-estriado-cerebelosos, regiones involucradas en el control de los movimientos (Krain & Castellanos, 2006; Munoz et al., 2003) son áreas que precisamente están afectadas en sujetos con TDAH (Friedman & Rapoport, 2015). A esto se suma, un déficit en el desarrollo de las funciones ejecutivas

(Barkley, 2014), con deterioros tanto en tareas visuoespaciales (Castellanos & Tannock, 2002; Seidman et al., 2005) como en habilidades motoras (Barkley, 1997; Kalff et al., 2003; Munoz et al., 2003). En este sentido, existen estudios que muestran la existencia de anomalías de tipo binocular, alteraciones acomodativas y déficit en la motilidad ocular en estos sujetos (Fried et al., 2014; Goto et al., 2010; Poltavski et al., 2012; Puig et al., 2015; Redondo et al., 2018). Concretamente, podríamos resaltar la relación entre alguna alteración binocular específica, como es el caso de la insuficiencia de convergencia y el TDAH, donde existen estudios que han observado una mayor incidencia de esta anomalía en niños con este tipo de trastorno (Granet et al., 2005; Rouse et al., 2009).

Por otro lado, la evidencia científica sugiere como principal tratamiento para el TDAH el farmacológico (p.ej. el metilfenidato o la anfetamina), al haberse demostrado beneficios ante síntomas como la hiperactividad, la impulsividad o los problemas de atención (Greenhill, 2001). Sin embargo, respecto a la función visual, los resultados son ambiguos. Existen trabajos que apuntan a una mejoría en algunas habilidades como la motilidad ocular, la agudeza visual o el campo visual con el uso de metilfenidato (Fried et al., 2014; Klein, Raschke, & Brandenbusch, 2003; Martin, Aring, Landgren, Hellström, & Andersson Grönlund, 2008). Sin embargo, otros autores no han encontrado diferencias en el error refractivo o la agudeza visual (Grönlund et al., 2007; Larrañaga-Fragoso, Noval, Rivero, & Boto-de-los-Bueis, 2015; Whitman, Lindsay, Cruz, & Accardo, 1997).

Con el fin de esclarecer la ambigüedad de resultados encontrados en la literatura científica, este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia del TDAH y el papel mediador de la medicación en un amplio abanico de parámetros visuales medidos con métodos subjetivos, estandarizados a nivel clínico, así como en la sintomatología visual evaluada por cuestionarios ampliamente usados en investigación, como el CISS (Convergence Insufficiency Symptom Survey) (Borsting et al., 2003) (ver anexo 2) y el Conlon Questionnaire (Conlon et al., 1999) (ver anexo 3). Nuestra hipótesis en este sentido, establece que al igual que se ha demostrado de forma objetiva la afectación de parámetros binoculares, acomodativos y oculomotores en esta población (Fried et

al., 2014; Goto et al., 2010; Poltavski et al., 2012; Puig et al., 2015; Redondo et al., 2018), es plausible esperar que los valores clínicos subjetivos de estos parámetros y de la sintomatología reflejen estos deterioros. Por otra parte, dados los resultados tan ambiguos obtenidos sobre el efecto de la medicación en este tipo de población no podemos establecer una hipótesis al respecto (Fried et al., 2014; Grönlund et al., 2007; Klein et al., 2003; Larrañaga-Fragoso et al., 2015; Martin et al., 2008; Whitman et al., 1997).

## **Método**

### *Participantes*

Un total de 112 niños (41 niñas y 71 niños) con una edad comprendida entre 6 y 14 años participaron en este estudio. La muestra experimental fue dividida en tres grupos diferentes: 58 niños (17 fueron niñas) diagnosticados de TDAH pero que no eran farmacológicamente tratados (TDAH-no medicado; TDAH-NM) (edad media  $\pm$  desviación estándar [DE] =  $9.8 \pm 2.6$  años), 22 niños (7 fueron niñas) diagnosticados de TDAH y bajo tratamiento farmacológico (TDAH-medicado; TDAH-M) (edad media  $\pm$  desviación estándar [DE] =  $10.7 \pm 2.9$  años) y 32 niños (17 fueron niñas) sanos que formaron el grupo control (edad media  $\pm$  desviación estándar [DE] =  $9.1 \pm 2.2$  años). Los niños con TDAH fueron derivados por el Servicio de Pediatría de Atención Primaria a la Unidad de Neuropediatría, Neuropsicología e Intervención Temprana del Hospital Universitario San Cecilio (Granada) para su evaluación, diagnóstico y seguimiento, siguiendo los criterios contemplados en el Manual Diagnóstico y Estadístico de Trastornos Mentales (5ª edición) (American Psychiatric Association, 2013). Además, para el diagnóstico se realizaron otras evaluaciones neuropsicológicas que incluyeron cuestionarios como el NICHQ Vanderbilt Parent Assessment Scale (Wolraich et al., 2003) y el NICHQ Vanderbilt Teacher Assessment Scale (Wolraich, Bard, Neas, Doffing, & Beck, 2013); el formulario principal del Inventario de Calificación de Comportamiento de Funciones Ejecutivas (Gioia, Isquith, Guy, & Kenworthy, 2000); la Escala de Inteligencia Wechsler para Niños 4ª edición (Wechsler, 2005); la Escala de

Atención Visual de Magallanes (Magaz-Lago & García-Pérez, 2011); el Inventario de depresión infantil (Kovacs, 1992) y la Escala de ansiedad infantil de Spence (Spence, 1997). Los niños con TDAH que fueron medicados, se trataron con clorhidrato de metilfenidato durante al menos 1 año. La dosis inicial fue de 0,5 mg/kg/día; sin embargo, la dosis se ajustó posteriormente en función de la respuesta y la tolerancia al tratamiento. En cuanto a los participantes del grupo control, fueron reclutados de diferentes colegios de la provincia de Granada (España), y debían estar libre de cualquier trastorno neurológico o patología ocular.

Los criterios de exclusión para participar en este estudio fueron los siguientes: (a) trastornos metabólicos o endocrinos, (b) otras enfermedades neuronales que pudieran justificar la sintomatología, (c) haber sido diagnosticado de un trastorno generalizado del desarrollo, (d) presentar un coeficiente intelectual por debajo de 85 en la 4ª edición de la Escala de inteligencia de Wechsler para niños (Wechsler, 2005), (e) tener estrabismo y/o ambliopía y (f) presentan alguna enfermedad ocular.

#### *Procedimiento*

Antes de su participación, los padres o tutores legales de los niños inscritos a este estudio recibieron instrucciones detalladas de este, así como un consentimiento informado que debieron firmar, conforme a la actual Ley 41/2002 de Autonomía del Paciente (BOE nº 274, 15 noviembre 2002). Todo el estudio se llevó a cabo cumpliendo los requisitos aprobados por el Comité Ético de Investigación Humana de la Universidad de Granada (España) (546 / CEIH / 2018), y siguiendo las directrices de la Declaración de Helsinki.

Tras la firma del consentimiento informado se hizo entrega de los cuestionarios de sintomatología, el CISS (Convergence Insufficiency Symptom Survey) (Borsting et al., 2003), desarrollado para evaluar la sintomatología de la insuficiencia de convergencia y cuyo método de valoración fue el especificado por Borsting et al. (2003) (ver anexo 2); y el cuestionario Conlon (Conlon et al., 1999), que evalúa la presencia de sintomatología por discomfort visual por alteraciones



binoculares o acomodativas (ver anexo 3). Estos cuestionarios fueron completados por los padres en presencia de los niños.

Para comprobar los criterios de exclusión, en una sala con iluminación promedio de 156,3 lx medido en plano corneal (Illuminancemeter, T-10, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan), cada niño se sometió a un examen optométrico siguiendo las indicaciones de Scheiman y Wick (Scheiman & Wick, 2008). Este incluyó: (a) oftalmoscopia directa, (b) cover/uncover-test realizado en lejos y cerca (c) test de supresión de las luces de Worth en lejos y cerca.

La agudeza visual tanto monocular como binocular se usaron como variables dependientes y fueron evaluados con letras logarítmicas de diseño Bailey-Lovie a 5 m (POLA VistaVision, DMD Med Tech SRL, Torino, Italia). A continuación, se realizó una refracción ocular objetiva, utilizando el modo estático del autorefractómetro Grand Seiko WAM-5500 (Grand Seiko Co. Ltd., Hiroshima, Japón) y una refracción subjetiva monocular y binocular sin cicloplejia, utilizando el criterio de máximo positivo que alcance mayor AV. Los participantes que requirieron compensación o un cambio de la misma, portaron esta durante 5 minutos antes de realizar la batería de test binoculares, acomodativos y oculomotores.

Posteriormente y de forma aleatoria, se midieron el resto de variables, bajo las mismas condiciones en cada una de ellas, y se repitieron tres veces para usar el promedio de ellas en el análisis. a) La *sensibilidad al contraste* se realizó con el test CSV 1000E (VectorVision Dayton, OH) para cuatro frecuencias diferentes (3, 6, 12 y 18 ciclos por grado) y ocho niveles de contraste (Vision Vector, 1991); b) para la *amplitud de acomodación* se utilizó la técnica de acercamiento con un estímulo acomodativo (Scheiman & Wick, 2008); c) la *facilidad de acomodación monocular y binocular* se obtuvo usando un flipper de lentes de  $\pm 2.00$  D y un optotipo acomodativo Snellen situado a 40cm con un tamaño de imagen de 0,18 logMAR (20/30) (Scheiman & Wick, 2008); d) las *forias horizontales y verticales en lejos y cerca* se realizaron mediante el Test de Thorington modificado con la tarjeta de medida de desequilibrio muscular de Bernell a 5 m y 40 cm respectivamente del sujeto (Scheiman & Wick, 2008); e) la *agudeza*

*estereoscópica estática* a 40 cm utilizando el Randot Stereotest Circle (Stereo Optical Company, Chicago, IL, EE. UU.) (Scheiman & Wick, 2008); f) *el punto próximo de convergencia* mediante test acomodativo (Scheiman & Wick, 2008); y g) *las vergencias fusionales positivas y negativas en lejos (5 m) y cerca (40 cm)* se realizaron a saltos (Scheiman & Wick, 2008).

#### *Diseño experimental y análisis estadístico*

Para la realización de este estudio se realizó una comparación entre un grupo de niños con TDAH-NM, otro TDAH-M y un tercer grupo control del mismo rango de edad. Tomamos como variables dependientes diferentes los parámetros visuales y el resultado de cuestionarios de sintomatología explicados anteriormente. Se realizó un análisis estadístico utilizando el paquete estadístico JASP (versión 0.9.0.1 para Windows) para analizar las diferencias entre estos grupos. En primer lugar, se realizó una prueba de Shapiro-wilk para comprobar si las variables seguían una distribución normal y una prueba de Levene para comprobar la homogeneidad de las varianzas ( $p > 0.05$ ). A continuación, se realizaron ANOVAs unifactoriales, considerando el grupo como único factor entre-sujetos, para cada una de las variables dependientes. El nivel de significación estadística se estableció en un nivel alfa de 0,05 y las pruebas post-hoc se corrigieron por medio del procedimiento de Holm-Bonferroni.

### **Resultados**

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la edad entre grupos ( $F_{2,109} = 2.46$ ,  $p = 0.090$ ). La sintomatología evaluada por los dos cuestionarios mostró diferencias estadísticamente significativas entre grupos ( $F_{2,109} = 20.13$ ,  $p < 0.001$  para el CISS y  $F_{2,109} = 6.68$ ,  $p = 0.002$  para el Conlon). El análisis post-hoc reveló diferencias significativas entre el grupo control y los grupos TDAH para el CISS ( $p_{\text{corregido}} < 0.001$ ,  $d = -1.33$ , para grupo control vs. grupo TDAH-NM; y  $p_{\text{corregido}} < 0.001$ ,  $d = -1.59$  para grupo control vs. TDAH-M), sin embargo, no se encontró diferencias estadísticas entre los grupos con TDAH ( $p_{\text{corregido}} = 0.734$ ,  $d = -0.08$ ). En cuanto al Conlon, el post-hoc sólo indicó diferencias significativas entre el grupo control y el

grupo con TDAH-NM ( $p_{\text{corregido}} = 0.001$ ,  $d = -0.79$ ). Las comparaciones entre grupo control y TDAH-M, y entre los grupos con TDAH resultaron estadísticamente no significativas ( $p_{\text{corregido}} = 0.142$ ,  $d = -0.78$  y  $p_{\text{corregido}} = 0.234$ ,  $d = 0.26$ , respectivamente). Por otro lado, el cuestionario Conlon clasificó a todos los grupos como sujetos con sintomatología baja (puntuación de 0 a 24 de un máximo de 69 puntos [ver anexo 3]) (Conlon et al., 1999) (ver tabla 1).

**Tabla 1.** Valores descriptivos (media $\pm$  DE) de los cuestionarios CISS y Conlon.

	Control (n = 32)	TDAH-NM (n = 58)	TDAH-M (n = 22)	Valor <i>p</i>
Edad	9.1 $\pm$ 2.2	9.8 $\pm$ 2.6	10.7 $\pm$ 2.9	0.090
<i>Sintomatología visual</i>				
CISS	6.69 $\pm$ 7.09	20.03 $\pm$ 11.31	20.91 $\pm$ 11.14	< .001
Conlon	2.75 $\pm$ 3.89	12.21 $\pm$ 14.56	8.68 $\pm$ 10.93	0.002

Nota: TDAH = Trastorno de déficit de atención e hiperactividad; NM = no medicado; M = medicado; n = número de participantes; DE = desviación estándar; \* valor significativo ( $p < 0.05$ )

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la refracción ocular esférica y cilíndrica del ojo derecho ( $F_{2,109} = 1.58$ ,  $p = 0.211$  en la esfera y  $F_{2,109} = 0.69$ ,  $p = 0.504$  en el cilindro) y del izquierdo ( $F_{2,109} = 0.35$ ,  $p = 0.704$  en la esfera y  $F_{2,109} = 0.88$ ,  $p = 0.417$  en el cilindro). La AV monocular corregida no dio valores estadísticamente significativos ( $F_{2,109} = 0.45$ ,  $p = 0.638$  y  $F_{2,109} = 0.29$ ,  $p = 0.746$  para el ojo derecho y el ojo izquierdo respectivamente), como tampoco lo hizo la AV binocular ( $F_{2,109} = 0.57$ ,  $p = 0.567$ ). La sensibilidad al contraste binocular mostró diferencias significativas para las frecuencias de 3, 6 y 18 ciclos por grado ( $F_{2,109} = 6.46$ ,  $p = 0.002$  y  $F_{2,109} = 4.09$ ,  $p = 0.019$  y  $F_{2,109} = 3.84$ ,  $p = 0.024$  respectivamente), pero no para la frecuencia de 12 ciclos por grado ( $F_{2,109} = 0.83$ ,  $p = 0.437$ ). Un análisis post-hoc reveló diferencias estadísticamente significativas entre grupo control y grupo TDAH-NM para cada una de las tres frecuencias que resultaron significativas ( $p_{\text{corregido}} = 0.002$ , 0.028 y 0.023 con  $ds = 0.83$ , 0.60 y 0.62 para 3, 6 y 18 ciclos por grado, respectivamente), sin embargo entre grupo control y grupo TDAH-M solo fue significativo para la frecuencia de 6 ciclos por grado ( $p_{\text{corregido}} = 0.056$ , 0.049 y 0.125 con  $ds = 0.58$ , 0.64 y 0.56 para 3, 6 y 18 ciclos por grado, respectivamente) y no significativas al comparar los grupos de TDAH-NM vs TDAH-M ( $p_{\text{corregido}} = 0.505$ , 0.851 y 0.762 con  $d = -0.17$ , 0.05 y -0.07 para 3, 6 y 18 ciclos por grado respectivamente). Aunque los valores

promedio del grupo control fueron mejores que el resto de grupo, estos se encuentran dentro de valores clínicamente normales (ver tabla 2).

**Tabla 2.** Valores descriptivos (media  $\pm$  DE) de agudeza visual, error refractivo y sensibilidad al contraste binocular.

	Control (n = 32)	TDAH-NM (n = 58)	TDAH-M (n = 22)	<i>p</i>
<b>Agudeza visual</b>				
AV OD (logMAR)	-0.06 $\pm$ 0.09	-0.04 $\pm$ 0.06	-0.04 $\pm$ 0.07	0.638
AV OI (logMAR)	-0.06 $\pm$ 0.07	-0.05 $\pm$ 0.06	-0.06 $\pm$ 0.06	0.746
AV AO (logMAR)	-0.12 $\pm$ 0.06	-0.11 $\pm$ 0.07	-0.13 $\pm$ 0.06	0.567
<b>Refracción ocular</b>				
Esfera OD (D)	0.24 $\pm$ 0.84	0.64 $\pm$ 1.04	0.42 $\pm$ 1.35	0.211
Esfera OI (D)	0.39 $\pm$ 0.97	0.62 $\pm$ 1.37	0.48 $\pm$ 1.20	0.704
Cilindro OD (D)	-0.40 $\pm$ 0.38	-0.48 $\pm$ 0.45	-0.54 $\pm$ 0.61	0.504
Cilindro OI (D)	-0.53 $\pm$ 0.48	-0.44 $\pm$ 0.48	-0.60 $\pm$ 0.69	0.417
<b>Contrast sensitivity (binocular)</b>				
3 cpg	6.53 $\pm$ 0.76	5.91 $\pm$ 0.73	6.05 $\pm$ 0.95	0.002*
6 cpg	7.25 $\pm$ 0.80	6.72 $\pm$ 0.91	6.68 $\pm$ 1.00	0.019*
12 cpg	6.97 $\pm$ 0.86	6.78 $\pm$ 1.16	6.59 $\pm$ 1.10	0.437
18 cpg	7.59 $\pm$ 0.80	6.97 $\pm$ 1.11	7.05 $\pm$ 1.21	0.024*

Nota: TDAH = Trastorno de déficit de atención e hiperactividad; NM = no medicado; M = medicado; n = número de participantes; DE = desviación estándar; AV = agudeza visual; OD = ojo derecho; OI = ojo izquierdo; D = dioptrías; logMAR = logaritmo de máximo ángulo de resolución; cpg = ciclos por grado; \* valor significativo ( $p < 0.05$ )

Aunque en general los valores promedio referentes a los parámetros vergenciales y acomodativos fueron mejores en el grupo control que en el de los grupos con TDAH, solo la facilidad acomodativa medida de forma monocular en el ojo derecho presentó valores estadísticamente significativos ( $F_{2,109} = 4.31$ ,  $p = 0.016$ ) así como de manera binocular ( $F_{2,109} = 5.65$ ,  $p = 0.005$ ). En el ojo izquierdo estas diferencias fueron marginalmente significativas ( $F_{2,109} = 3.04$ ,  $p = 0.052$ ). El análisis post-hoc indicó una significación estadística entre grupo control y ambos grupos TDAH tanto para el ojo derecho ( $p_{\text{corregido}} = 0.035$ ,  $d = 0.53$  y  $p_{\text{corregido}} = 0.035$ ,  $d = 0.74$  para la comparación control vs. grupo TDAH-NM y control vs. TDAH-M, respectivamente) como en la medida binocular ( $p_{\text{corregido}} = 0.005$ ,  $d = 0.68$  y  $p_{\text{corregido}} = 0.030$ ,  $d = 0.74$  para la comparación control vs. TDAH-NM y control vs. TDAH-M, respectivamente), y siendo marginalmente significativa para el ojo izquierdo ( $p_{\text{corregido}} = 0.088$ ,  $d = 0.44$  y  $p_{\text{corregido}} = 0.088$ ,  $d = 0.65$  para grupo control vs. grupo TDAH-NM y TDAH-M, respectivamente). No hubo diferencias significativas cuando se compararon los grupos TDAH-NM vs. TDAH-M en ninguno

de los casos ( $p_{\text{corregido}} = 0.554, 0.544$  y  $0.910$  con  $d = 0.16, 0.16$  y  $-0.03$  para ojo derecho, ojo izquierdo y binocular respectivamente). Para el resto de valores paramétricos medidos, el valor  $p$  siempre fue superior a  $0.05$  (ver tabla 3).

**Tabla 3.** Valores descriptivos (media  $\pm$  DE) de parámetros acomodativos y binoculares.

	Control (n = 32)	TDAH- NM (n = 58)	TDAH-M (n = 22)	<i>p</i>
<b><i>Amplitud de acomodación</i></b>				
Ojo derecho (D)	12.2 $\pm$ 3.3	13.0 $\pm$ 4.7	13.6 $\pm$ 5.8	0.542
Ojo izquierdo (D)	12.5 $\pm$ 3.3	12.8 $\pm$ 4.6	13.5 $\pm$ 5.4	0.701
<b><i>Facilidad acomodativa</i></b>				
Ojo derecho (cpm)	9.86 $\pm$ 4.66	7.47 $\pm$ 4.40	6.84 $\pm$ 3.08	0.016*
Ojo izquierdo (cpm)	9.63 $\pm$ 4.63	7.61 $\pm$ 4.62	6.93 $\pm$ 3.36	0.052
Ambos ojos (cpm)	8.28 $\pm$ 3.63	5.76 $\pm$ 3.76	5.86 $\pm$ 3.36	0.005*
<b><i>Punto próximo de convergencia</i></b>				
Rotura (cm)	4.27 $\pm$ 2.30	5.77 $\pm$ 4.02	5.77 $\pm$ 5.00	0.179
Recobro (cm)	5.92 $\pm$ 3.18	8.00 $\pm$ 4.88	7.86 $\pm$ 5.33	0.105
<b><i>Forias disociadas</i></b>				
Horizontal en lejos ( $\Delta$ )	0.89 $\pm$ 1.66	0.26 $\pm$ 3.15	1.43 $\pm$ 2.04	0.173
Vertical en lejos ( $\Delta$ )	-0.02 $\pm$ 0.09	0.08 $\pm$ 0.64	0.00 $\pm$ 0.15	0.618
Horizontal en cerca ( $\Delta$ )	0.09 $\pm$ 2.25	-0.96 $\pm$ 3.43	0.09 $\pm$ 2.69	0.185
Vertical en cerca ( $\Delta$ )	0.02 $\pm$ 0.37	0.04 $\pm$ 0.27	-0.02 $\pm$ 0.11	0.639
<b><i>Vergencias a pasos</i></b>				
Rotura VFP en lejos ( $\Delta$ )	21.6 $\pm$ 9.9	19.1 $\pm$ 8.7	20.6 $\pm$ 9.4	0.445
Recobro VFP en lejos ( $\Delta$ )	15.5 $\pm$ 7.98	12.9 $\pm$ 5.9	15.6 $\pm$ 8.7	0.158
Rotura VFN en lejos ( $\Delta$ )	7.81 $\pm$ 2.61	7.75 $\pm$ 2.93	7.81 $\pm$ 6.14	0.996
Recobro VFN en lejos ( $\Delta$ )	5.50 $\pm$ 2.69	5.29 $\pm$ 2.76	5.05 $\pm$ 4.26	0.868
Rotura VFP en cerca ( $\Delta$ )	24.9 $\pm$ 9.9	21.4 $\pm$ 11.1	24.7 $\pm$ 11.0	0.235
Recobro VFP en cerca ( $\Delta$ )	19.7 $\pm$ 9.2	16.1 $\pm$ 9.6	20.2 $\pm$ 11.2	0.124
Rotura VFN en cerca ( $\Delta$ )	11.3 $\pm$ 2.8	11.4 $\pm$ 4.9	11.6 $\pm$ 5.5	0.962
Recobro VFN en cerca ( $\Delta$ )	8.63 $\pm$ 2.80	8.33 $\pm$ 4.36	8.55 $\pm$ 4.59	0.942
<b><i>Estereoagudeza</i></b>				
Estereopsis en cerca (seg. de arco)	31.1 $\pm$ 12.8	44.6 $\pm$ 51.6	51.3 $\pm$ 44.9	0.204

Nota: TDAH = Trastorno de déficit de atención e hiperactividad; NM = no medicado; M = medicado; n = número de participantes; DE = desviación estándar; cpm = ciclos por minuto; VFP = vergencia fusional positiva; VFN = Vergencia fusional negativa; D = dioptrías; cm = centímetros;  $\Delta$  = dioptrías prismáticas; seg. = segundos; \* valor significativo ( $p < 0.05$ )

## Discusión

En este estudio, usando métodos subjetivos frecuentemente usados en clínica, analizamos las diferencias en el estado acomodativo y vergencial, así como medidas de rendimiento y sintomatología visual en niños diagnosticados con TDAH, sin y bajo tratamiento farmacológico, en comparación con niños control. Nuestros resultados muestran que los niños con TDAH, tanto medicados como no medicados, cursan con un cuadro sintomatológico compatible con

insuficiencia de convergencia, a pesar de que el grado de disconfort visual, evaluado con el cuestionario Conlon, fue bajo en todos los grupos. Respecto a las habilidades visuales analizadas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos, excepto en la sensibilidad al contraste. La facilidad acomodativa fue el único parámetro de la función binocular que mostró diferencias entre grupos. Sin embargo, todos los valores promedio de los parámetros acomodativos y binoculares considerados se situaron dentro de los rangos de normalidad establecidos para una población de esta edad (Scheiman & Wick, 2008).

Nuestros resultados apoyan la idea de que los niños con TDAH presentan una sintomatología similar a la insuficiencia de convergencia, coincidiendo con otros resultados de la bibliografía consultada (Atas et al., 2020; Granet et al., 2005; Migrants et al., 2019; Redondo, Vera, Molina, Garcia, et al., 2020; Redondo et al., 2018; M. Rouse et al., 2009). Sin embargo, esta sintomatología, no va acompañada con la afectación de los signos clínicos de diagnóstico característicos de esta anomalía binocular. Así, valores del punto próximo de convergencia, de las vergencias fusionales positivas de cerca, de la facilidad acomodativa binocular o la estereoaudeza permanecieron dentro del rango de normalidad para esas edades, y además, no se observaron diferencias de sus valores entre el grupo control y los grupos TDAH. Un estudio reciente, llevado a cabo por Karaca et al (2020), y usando los mismos procedimientos subjetivos que en nuestro estudio, tampoco han encontrado deterioro en el sistema vergencial de los niños con TDAH (Karaca, Demirkilinc Biler, Palamar, Özbaran, & Ürermen, 2019). Aunque los resultados de ambos estudios son coincidentes, existen otros estudios científicos que de manera objetiva han demostrado que el sistema vergencial está afectado en sujetos con TDAH (Puig et al., 2015). En estos, se ha mostrado que existe una débil modulación en el ángulo de vergencia en relación a los sujetos control, argumentada por un procesamiento cognitivo deficiente de la información sensorial, lo que implica que estas diferencias deben ser registrada por métodos objetivos sensibles, como eye-tracking. Dada esta evidencia, pensamos que la subjetividad asociada a las pruebas usadas habitualmente pueden no ser lo suficiente sensibles para detectar los déficit vergenciales presentes en el TDAH, y que por tanto, hay que recurrir a herramientas

objetivas que aporten marcadores útiles en el diagnóstico de este trastorno (Varela Casal et al., 2019) o, como recientemente se ha demostrado, la tarea de elección para la medida debe acompañarse de un test de fijación que incluya claves de orientación en la atención visuo-espacial (Jiménez et al., 2020) que pongan de manifiesto estas deficiencias (Levantini et al., 2020).

Errores refractivos como la hipermetropía no corregida se ha asociado tanto a problemas visuo-cognitivos como visuo-motores relacionados con el aprendizaje y la atención (Kulp et al., 2016; Shankar et al., 2007; Williams et al., 2005). En el TDAH parece haber mayor prevalencia de errores refractivos (39 a 76%) (Grönlund et al., 2007; Mezer & Wygnanski-Jaffe, 2012; Reimelt et al., 2021), y se ha reportado que existe una mayor asociación con hipermetropía o astigmatismo (Ho, Sheu, Kao, Shia, & Lin, 2020; Reimelt et al., 2021). Sin embargo, otros estudios como los de Fabián et al., (2013) y Ababneh et al. (2020) indican que los valores de prevalencia son similares a los ofrecidos por niños sanos (Ababneh et al., 2020; Fabian et al., 2013). Estudios, estos últimos, que estaría en concordancia con nuestros datos, donde no se han encontrado diferencias entre grupos.

En cuanto a la sensibilidad al contraste, esta es procesada por diferentes canales de transferencia según la frecuencia espacial analizada, y es una herramienta válida de diagnóstico visual (Chung & Legge, 2016). En este sentido, se ha demostrado que la dopamina juega un papel importante en la patogénesis del TDAH (Brennan & Arnsten, 2008), y a su vez, se ha identificado un posible papel del sistema dopaminérgico en el contraste visual (Bubl et al., 2013; Djamgoz et al., 1997; Witkovsky, 2004). Numerosos estudios han encontrado un deterioro de la función de sensibilidad al contraste (Atas et al., 2020; Bartgis et al., 2009), o la percepción al color (Kim, Chen, & Tannock, 2014; Roessner et al., 2008) en esta población. En el presente trabajo, también encontramos una función de sensibilidad al contraste deteriorada en la población TDAH respecto a la población control, encontrando estas diferencias en tres de las cuatro frecuencias valoradas (3, 6 y 18 ciclos por grado). A diferencia de otros autores, no hemos obtenido diferencias significativas para la frecuencia de 12 ciclos por grado (Atas et al., 2020; Bartgis et al., 2009; Dönmez et al., 2020). Estas diferencias entre nuestros resultados y los de otros autores para las

frecuencias medias, podrían ser debidas a la gran diversidad de subtipos en el TDAH y las posibles comorbilidades asociadas, presentes en nuestra muestra. Estudios con una elección del subtipo más selectivo podría aclarar este resultado, y permitiría comprobar, si como comentan algunos estudios, la sensibilidad al contraste podría ser un buen marcador fisiológico en este tipo de trastorno (Dönmez et al., 2020).

La función acomodativa es caracterizada por diferentes parámetros tales como la respuesta acomodativa, la amplitud de acomodación y la facilidad acomodativa. En trabajos recientemente publicados, nuestro grupo de investigación CLARO (Clinical and Laboratory Applications of Research in Optometry; <https://blogs.ugr.es/claro-group/>) ha demostrado objetivamente que los niños diagnosticados con TDAH presentan un déficit en la respuesta acomodativa (Redondo et al., 2018) (mayores retrasos acomodativos), que no se ve modulado por la influencia del estímulo de acomodación utilizado en su medida (Redondo, Molina, et al., 2020). En el presente trabajo, con métodos subjetivos usados frecuentemente en clínica, evaluamos la amplitud de acomodación por el método de acercamiento. Usando la estimación de la amplitud de acomodación propuesta por Hofstetter, de tener 2 D por debajo de amplitud de acomodación mínima estimada para la edad,  $15 - (0.25 \times \text{edad})$  (Hofstetter, 1947), la amplitud de acomodación monocular en niños TDAH, no mostró deterioro desde un punto de vista clínico, en comparación con el grupo control. Por el contrario, la facilidad acomodativa monocular se mostró disminuida en los grupos TDAH (significativamente para el ojo derecho y marginalmente para el ojo izquierdo). Estos valores, aunque carecen de significación clínica, pueden estar indicando un deterioro de la función acomodativa, más aún si consideramos que los sujetos TDAH presentan más dificultad en enfocar con las lentes negativas de los flippers de  $\pm 2.00$  D. Teniendo en cuenta todos estos resultados, podríamos considerar que los sujetos TDAH presentan signos compatibles con insuficiencia de acomodación, que a su vez están asociados a síntomas astenópicos mostrados aquí y en otros estudios (Borsting et al., 2005).

Respecto a las habilidades acomodativas y binoculares, estudios previos han demostrado que un mal rendimiento en pruebas clínicas que caracterizan a la función acomodativa y vergencial puede



alterar la atención (Granet et al., 2005; Poltavski et al., 2012), y que, como hemos comentado anteriormente, un déficit en la respuesta acomodativa está presente en los niños TDAH (Redondo, Vera, Molina, Garcia, et al., 2020; Redondo et al., 2018). Sin embargo, la asociación entre TDAH y cambios en el control oculomotor no está claramente definida. Un parámetro que refleja la interacción entre acomodación y vergencia, y que es considerado como un test esencial en el diagnóstico de anomalías binoculares es la facilidad acomodativa binocular (García et al., 2000). En el presente trabajo, aunque los valores de la facilidad acomodativa binocular se encuentran en el rango de normalidad para todos los grupos incluidos, sí que encontramos diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el grupo TDAH, esté o no medicado. Del mismo modo que Farrar et al (2001), de entre los numerosos parámetros binoculares testeados, sólo encontramos diferencias significativas en la facilidad acomodativa binocular entre los niños con y sin TDAH (Farrar et al., 2001), presentando los niños TDAH una reducida facilidad acomodativa binocular en relación a los grupos control. Sin embargo, hay que tener en cuenta que aunque dichos valores en los niños TDAH no son clínicamente significativos, un deterioro en la facilidad acomodativa binocular ha sido asociada con una mayor sintomatología visual (Levine, Ciuffreda, Selenow, & Flax, 1985), incluso cuando estos valores están comprendidos entre 3 y 8 ciclos por minuto (Hennessey, Iosue, & Rouse, 1984), como ocurre en nuestro caso.

El estado fórico, junto con otras medidas binoculares, puede predecir los síntomas de algunas condiciones binoculares (Borsting et al., 2003; Rouse, Borsting, et al., 2004; Sheedy & Saladin, 1977, 1978), tales como aquellos que acompañan a la insuficiencia de convergencia (Borsting et al., 2005; Borsting, Rouse, & De Land, 1999; Granet et al., 2005; Grönlund et al., 2007; Rouse, Borsting, et al., 2004), que como hemos observado en la sintomatología de los niños TDAH de nuestro estudio, están presentes. No obstante, no encontramos diferencias significativas para los valores de la foria en lejos y cerca entre grupos. Hay que tener en cuenta, que otros estudios, que han evaluado el estado fórico de cerca tras una tarea prolongada de visión cercana, han determinado que es un predictor de los síntomas referidos por sujetos TDAH y han hipotetizado que un desequilibrio binocular durante el trabajo de cerca, puede tener importantes consecuencias

comportamentales y psicológicas en esta población (Wilmer & Buchanan, 2009), cuyos patrones vergenciales y oculomotores se ha visto que están alterados. Se necesitan nuevos estudios que correlacionen el estado fórico, las vergencias y la disparidad de fijación tras tareas prolongadas de cerca que requieran demandas atencionales, para dilucidar sobre esta hipótesis.

La estereoagudeza junto con las vergencias fusionales, es otro parámetro binocular que puede verse afectado en esta población, ya que el culliculus superior, es un área cortical involucrada en el control motor en la respuesta de cerca y asociada a la distraibilidad en los sujetos TDAH (Brace et al., 2015). Varios estudios que han evaluado la estereoagudeza de cerca, en estas poblaciones encontraron un deterioro de la misma respecto a los sujetos control (Fabian et al., 2013; Grönlund et al., 2007; Karaca et al., 2019). Aunque en el presente estudio no encontramos diferencias significativas entre grupos, observamos valores más altos de estereoagudeza en los sujetos TDAH. Quizás el tamaño de la muestra podría no haber sido adecuado para obtener unas conclusiones más consistentes, o la comorbilidad o subtipo de TDAH podría haber influido en las obtenidas.

En cuanto al uso de metilfenidato, es conocido que su acción modifica el funcionamiento cognitivo y neuronal (Larrañaga-Fragoso et al., 2015) mediante el bloqueo de los transportadores de dopamina y norepinefrina, provocando así un aumento extracelular de estos neurotransmisores (Arnsten, 2006), y mejorando la sintomatología conductual en sujetos TDAH (Cortese et al., 2018). En este sentido, aunque no se obtienen diferencias significativas en relación a la sintomatología que evalúa el confort visual, se observa una leve disminución en el grado de sintomatología con el uso de medicación. Sin embargo, su acción sobre el rendimiento visual aún sigue sin estar claro (Fried et al., 2014; Grönlund et al., 2007; Klein et al., 2003; Larrañaga-Fragoso et al., 2015; Martin et al., 2008; Redondo, Molina, et al., 2020; Whitman et al., 1997). Por otro lado, en nuestro estudio, el grupo de niños con TDAH-M no obtuvo diferencias significativas respecto al grupo de niños con TDAH-NM en términos de agudeza visual. Sólo la sensibilidad al contraste en altas y bajas frecuencias, mostró una mejora con la medicación al encontrar significancia estadística al comparar el grupo control con el grupo TDAH-NM, pero no

al comparar el grupo control con el grupo TDAH-M. Dönmez et al. (2020) también encuentra una mejora en la sensibilidad al contraste de niños con TDAH tras ser medicados, alcanzado sensibilidades al contraste, para todas las frecuencias analizadas, comparables a las del grupo control (Dönmez et al., 2020). Cada una de las frecuencias espaciales de la sensibilidad al contraste son procesadas por diferentes canales de transferencias (Chung & Legge, 2016; Ginsburg, 1984) y es conocido que la alteración en los niveles de dopamina se asocia con afectación de la sensibilidad al contraste (Weil et al., 2016). Por tanto, nuestro estudio parece apoyar que existe un efecto modulador del metilfenidato sobre ciertos canales de transferencias del sistema visual sensorial.

Existe evidencia contrastada del papel modulador de la medicación sobre el deterioro de la función oculomotora en la población TDAH (Fried et al., 2014; Klein et al., 2003), pero no en la alteración de la respuesta acomodativa presente en estos sujetos (Redondo, Molina, et al., 2020). Estudios longitudinales, como el de Bucci et al (2017), reportan una mejora en el número de errores en la dirección antisacadas y un menor número de sacadas durante la fijación después de un mes de tratamiento con metilfenidato (Bucci et al., 2017) y estos mismos autores en otro estudio han mostrado una mayor calidad en la fijación con el uso de este fármaco (Seassau, Gérard, Bui-Quoc, & Bucci, 2014). Sin embargo, hasta la fecha no hemos encontrado estudios longitudinales o comparativos entre grupos que hayan analizado el papel modulador de este fármaco sobre el estado vergencial.

Nuestro estudio presenta varias limitaciones que deben ser comentadas para permitir una correcta interpretación de nuestros resultados. En primer lugar, el TDAH se presenta de diferentes formas (tres subtipos) y su incidencia en niños y niñas es diferente (American Psychiatric Association, 2013; García et al., 2008; Mohammadi et al., 2019; Perou et al., 2013; Polanczyk et al., 2007; Sayal et al., 2018). En nuestro estudio, no se diferenció la muestra por género y subtipo de TDAH debido a las dificultades de reclutamiento, y ello ha podido suponer un sesgo en los resultados. En segundo lugar, el grupo de niños TDAH-M es considerablemente mayor en el grupo de niño con TDAH-M y por tanto el efecto de la medicación ha podido verse enmascarado bajo esta

limitación. Tercero, este estudio se realizó teniendo en cuenta la influencia del tratamiento farmacológico, pero no se diferenció entre subgrupos de TDAH o comorbilidades. En este sentido, consideramos de interés analizar los parámetros utilizados en diferentes subtipos de TDHA y libres de otras comorbilidades, ya que nos proporcionaría un resultado más específico sobre sujetos con diagnóstico de TDAH puro. Finalmente, y una de las más importantes limitaciones, es que dado el carácter subjetivo de las pruebas clínicas utilizadas y las características atencionales de estos sujetos, la sensibilidad de las medidas pueden no haber sido lo suficientemente efectiva para diferenciar visualmente a los sujetos TDAH de lo control (Slobodin & Davidovitch, 2019). Estudios futuros que incorporen pruebas objetivas se hacen necesarios para incorporar a la función visual como criterio de diagnóstico en este trastorno.

## **Conclusiones**

Parámetros que caracterizan el rendimiento visual, como la sensibilidad al contraste, puede considerarse como un posible marcador visual en este tipo de trastorno, teniendo incluso la medicación aparente efecto beneficioso en ella. Una mayor sintomatología relacionada con la insuficiencia de convergencia parece estar presente en niños con TDAH, y no parece mejorar con la medicación. La función binocular de los niños TDAH, evaluada con procedimientos clínicos usados frecuentemente en la práctica optométrica, no difiere respecto a niños control. Se necesitan estudios que incorporen herramientas objetivas y tareas con demandas atencionales que caractericen la función visual en este tipo de población.

## ESTUDIO II: HABILIDADES DE PERCEPCIÓN VISUAL EN NIÑOS CON TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD: EL PAPEL MEDIADOR DE LAS COMORBILIDADES

### Introducción

La discapacidad de aprendizaje incluye un grupo heterogéneo de trastornos que pueden afectar a la adquisición, organización, retención, comprensión o uso de la información, lo que tiene como resultado efectos perjudiciales en el rendimiento académico. La etiología de la discapacidad de aprendizaje es multifactorial y se refleja en factores como la influencia genética y la disfunción de los sistemas cerebrales (American Psychiatric Association, 2013). En este contexto, el sistema visual está estrechamente vinculado con los procesos de aprendizaje, en los que las deficiencias visuales congénitas o adquiridas pueden tener un impacto negativo en las capacidades de aprendizaje. Los problemas de visión relacionados con el aprendizaje presentan deficiencias en dos componentes generales del sistema visual como son, la eficiencia visual y el procesamiento de la información visual (Garzia et al., 2000). La eficiencia visual incluye habilidades como AV, motilidad ocular, vergencia y acomodación. Por otra parte, aunque las señales visuales se transmitan correctamente por los ojos, una adecuada decodificación e interpretación de las imágenes retinianas en el cerebro es imprescindible para garantizar un procesamiento exitoso de la información visual (Kurtz, 2006). Este proceso incluye los aspectos no motores de la percepción visual y la cognitiva, además de su integración con los sistemas motor, auditivo, del lenguaje y de la atención, en los que se requieren el uso de varias regiones cerebrales y de redes cerebrales complejas (Garzia et al., 2000). Las habilidades de percepción como la discriminación visual, la memoria visual, las relaciones visual-espaciales, la constancia de la forma visual, la memoria secuencial visual, la discriminación figura-fondo y el cierre visual se utilizan comúnmente para evaluar la percepción visual (Garzia et al., 2000).

Numerosos estudios han examinado la relación entre la percepción visual y el déficit de aprendizaje como consecuencia de funciones cerebrales deterioradas en una variedad de trastornos psicológicos (ej., dislexia, autismo, trastorno de coordinación del desarrollo y niños prematuros) (Gaddes, 2013). En este sentido, los niños con dificultades de aprendizaje muestran deficiencias significativas en un alto número de habilidades de percepción visual que pueden ser explicadas por la inmadurez o deficiencia de los sistemas visuomotores, espaciales y de procesamiento de la atención (Moll et al., 2016). En particular, el TDAH, ha mostrado un retraso en la maduración y una disminución de los volúmenes subcorticales (Hoogman et al., 2017), y se ha asociado con alteraciones del procesamiento visual, especialmente en la memoria visuoespacial (Castellanos & Tannock, 2002).

Es importante destacar que a menudo una gran variedad de comorbilidades se presenta con el TDAH, mostrando una prevalencia general del 40 al 80% (Reale et al., 2017). Numerosos trastornos psiquiátricos simultáneos contribuyen al estado psicopatológico del TDAH (ej., trastorno negativista desafiante, trastorno de conducta, trastorno de depresión y ansiedad, trastorno del espectro autista, dislexia, etc.) (American Psychiatric Association, 2013). Además, la presencia simultánea de TDAH y dificultad de aprendizaje suele ser muy recurrente, presentando problemas en varias habilidades como son la lectura, la aritmética o la ortografía (Barkley, 2014). Algunos estudios revelaron que la discapacidad de aprendizaje asociada con el TDAH oscila entre el 25 y el 40% (Barkley, 2014; Reale et al., 2017), mientras que otros afirman que esta relación puede ocurrir en conjunto debido a los síntomas de inatención e hiperactividad y a la etología genética compartida (Gagliano et al., 2007).

Se han investigado diferentes tareas de procesamiento en el TDAH, y se ha observado que este grupo presenta respuestas de tiempo más lentas y variables en comparación con grupos controles (Kurtz, 2006). Los estudios electroencefalográficos han revelado que los niños con TDAH presentan un retraso durante las fases tempranas del procesamiento visual, lo que podría conducir a una deficiencia en la clasificación de la memoria temprana y a una deteriorada función de identificación y discriminación de estímulos (Lenz et al., 2010); sin embargo, no está relacionado

con una disminución en hábito conductual (Karayanidis et al., 2000). Además, a pesar de las diferencias fisiológicas (ej., actividad y estructura cerebral) entre el TDAH y grupos controles (véase Friedman y Rapoport [Friedman & Rapoport, 2015] en una revisión reciente), persisten algunas dudas sobre la percepción visual en el TDAH referidas a las habilidades de desempeño y su relación con diferentes comorbilidades, ya que ningún estudio había analizado las diferencias perceptuales entre el TDAH puro y el TDAH con comorbilidades.

Hay varias pruebas estandarizadas basadas en el rendimiento con las que se puede estudiar las diferentes habilidades de percepción visual en los niños (Garzia et al., 2000). De todas ellas, el test de habilidades perceptivas visuales (TVPS-3), permite el análisis de las áreas clave de habilidades de percepción visual sin requerir participación motora (Sterner et al., 2006). Este test es utilizado frecuentemente por psicólogos y terapeutas ocupacionales para controlar el progreso de los niños involucrados en los protocolos de formación, y ha demostrado gran validez en la discriminación de diferentes poblaciones. Además, sus subpruebas individuales han demostrado gran fiabilidad (T. Brown & Rodger, 2009), y parece ser un buen instrumento para evaluar las habilidades de la percepción visual en niños con TDAH, así como también, para lograr discernir entre TDAH con y sin comorbilidades.

Por otro lado, un estudio con la comparación entre niños TDAH-NM y un grupo de niños control de la misma edad nunca se ha llevado a cabo hasta la fecha. En otras investigaciones se ha encontrado que el tratamiento médico mejoró el rendimiento de la memoria de trabajo visual-espacial (Bedard, Martinussen, Ickowicz, & Tannock, 2004). Por esta razón, la medicación para el TDAH debe controlarse cuidadosamente para evitar efectos de confusión en el estudio de las habilidades perceptivas. En este sentido, Papavasiliou et al. (Papavasiliou, Nikaina, Rizou, & Alexandrou, 2007) observaron variaciones en las habilidades de percepción visual utilizando el TPVS-3 en una versión revisada en un grupo de niños con TDAH después de la prescripción de metilfenidato. Sin embargo, a pesar de una mejora en las puntuaciones del test en la segunda medición, no hubo diferencias entre los niños TDAH-M y TDAH-NM, lo que podría deberse al

efecto de aprendizaje, ya que la repetibilidad para los valores de las subpruebas realizadas fue baja (McFall & Crowe, 1993).

En vista de las lagunas encontradas en la literatura consultada, nos propusimos realizar todas las subescalas del TVPS-3 tanto a niños TDAH-NM como a un grupo control de la misma edad. Además, el grupo de niños con TDAH se dividió según la ausencia o presencia de otras comorbilidades (TDAH puro y TDAH con comorbilidades, respectivamente) para evaluar su influencia. Los principales objetivos fueron (1) explorar qué habilidades de percepción visual se vieron afectadas en estas poblaciones y (2) evaluar el posible papel mediador de las comorbilidades en las habilidades de percepción visual (Castellanos & Tannock, 2002). Creemos que la presencia de comorbilidades puede agravar estas diferencias (Reale et al., 2017), sin embargo, la falta de estudios similares nos hace imposible formular una hipótesis individual para cada habilidad de percepción visual.

## **Métodos**

### *Participantes*

Basándonos en los resultados obtenidos por Pfeiffer et al. (Pfeiffer, Daly, Nicholls, & Gullo, 2015), quienes analizaron el procesamiento sensorial entre niños con TDAH y niños controles, realizamos un análisis de la potencia estadística utilizando el software G\* Power 3.1 (G-Power 3.1.9.4, Franz Faul, Universidad de Kiel, Kiel, Alemania) (Mayr, Buchner, Erdfelder, & Faul, 2007), con el que calculamos el tamaño de muestra mínimo requerido para una *t* de muestras independientes utilizando estadísticas frecuentistas clásicas. Se consideraron las puntuaciones obtenidas para la subescala visual del artículo mencionado anteriormente ( $56.7 \pm 11.6$  para niños con TDAH y  $44,8 \pm 6,5$  para los controles)(Pfeiffer et al., 2015) y asumimos un  $\alpha$  de 0.05 y una potencia de 0.95. Nuestro análisis proyectó un tamaño de muestra mínimo de 15 sujetos por grupo. Treinta y cinco niños con TDAH (21 niños varones; edad:  $9.0 \pm 2.3$  años) y un rango de edad de 7 a 14 años fueron reclutados para participar en este estudio. De estos, 20 niños fueron



diagnosticados con TDAH puro y 15 niños diagnosticados con TDAH con comorbilidades, y 35 niños control (19 niños varones; edad:  $9.3 \pm 2.0$  años). Todos los padres firmaron un consentimiento informado que se ajustaba a los principios de la Declaración de Helsinki, siendo el protocolo del estudio aprobado por el Comité de Ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada (546 / CEIH / 2018). Los niños con TDAH fueron reclutados de un área de salud de la provincia de Granada (España) y remitidos a la Unidad de Neuropsicología e Intervención Temprana del Hospital Universitario San Cecilio (Granada).

Todos los participantes, incluidos los niños con TDAH y controles, se sometieron a una evaluación psicoeducativa que incluyó entrevistas con niños y padres, así como la búsqueda de información proporcionada por los docentes, que fue seguida de una evaluación neuropsicológica con las siguientes pruebas para identificar la presencia de comorbilidades: la Escala de Evaluación de Padres de Vanderbilt del Instituto Nacional para la Calidad de la Salud de los Niños; Escala de evaluación de maestros de Vanderbilt del Instituto Nacional de Calidad de la Salud Infantil; Formulario para padres de Inventario de Calificación de Comportamiento de Funciones Ejecutivas; la Prueba Breve de Inteligencia de Kaufman; Escala de inteligencia de Wechsler para niños, cuarta edición; la Escala de Atención Visual de Magallanes; Inventario de depresión infantil; y Escala de ansiedad infantil de Spence. El diagnóstico final fue categorizado gracias al DSM-V (American Psychiatric Association, 2013). Dentro del grupo de niños con TDAH, a 19 niños se les diagnosticó un subtipo combinado (inatención / hiperactividad), a 14 inatención y a 2 predominio hiperactivo/impulsivo. Las comorbilidades encontradas fueron las siguientes: ocho niños con problemas de aprendizaje en lectura y escritura, cuatro niños con bajo cociente intelectual, dos niños con trastornos del sueño y un niño con discapacidades motoras. Además, cinco niños presentaron más de una comorbilidad, que incluyó ansiedad, síndrome disejecutivo, discalculia, trastorno de conducta y alteración emocional.

En este estudio, ninguno de los niños con TDAH fue tratado antes del experimento con metilfenidato o con cualquier otro tratamiento utilizado para dicho trastorno, ya que este podía alterar su estado funcional y con ello las respuestas dadas. De hecho, se les informó que

comenzaran su tratamiento después de realizar dicha sesión experimental (Bedard et al., 2004). Además, tampoco debían presentar ninguna enfermedad metabólica, endocrina o neurológica. En cuanto a los participantes del grupo control, fueron reclutados en la provincia de Granada (España), y debían estar libre de cualquier trastorno neurológico, ortopédico, visual o auditivo. Además, se excluyeron todos los niños (tanto con TDAH como controles que presentaban una AV corregida peor de 0,10 logMAR (Snellen 6 / 7,5).

### *Procedimientos*

Antes de que se llevara a cabo el TVPS-3, se recopiló información clínica sobre los niños y los miembros de la familia. A los participantes se les realizó una refracción subjetiva monocular y binocular no ciclopléjica, siendo compensada su ametropía si era necesario. En tal caso, dejábamos al sujeto 5 minutos usando la nueva corrección óptica, tras los que se volvía a evaluar la AV, asegurándonos de que se sintieran cómodos con su nueva compensación. Una vez corregido, los examinadores realizaron la medición de las distintas pruebas del TVPS-3, que eran enmascaradas en la asignación de grupo (TDAH o grupo de control) para evitar sesgos en los resultados. Finalmente, después de explicar a cada sujeto el procedimiento de evaluación, un examinador especialista evaluó individualmente a cada sujeto en una habitación libre de distracciones auditivas y/o visuales.

### *Test de habilidades perceptivas visuales (TVPS-3)*

El TVPS-3 es un test con un desarrollo basado en la percepción visual de niños de entre 4 y 18 años (N. Martín, 2006). Esta prueba utiliza diseños en blanco y negro, aportando una puntuación total y siete puntuaciones correspondientes a cada una de las siete subpruebas de las que consta, las cuales se organizan en orden de dificultad comenzando por: (1) discriminación visual, que se refiere a la capacidad de distinguir las características dominantes de los objetos; (2) memoria visual, que evalúa la capacidad de reconocer una figura después de observarla durante un periodo de 4 a 5 segundos entre varias formas similares; (3) orientaciones espaciales, que se relacionan con la capacidad de percibir las posiciones de los objetos en relación con uno mismo o con otros

objetos; (4) constancia visual de la forma, que estima la capacidad de encontrar una figura cuando la forma se invierte, gira o se oculta entre otras figuras; (5) memoria secuencial visual, que se refiere a la capacidad de recordar objetos y su orden de disposición dentro de una serie; (6) discriminación figura-fondo, que se relaciona con la capacidad de reconocer un objeto dentro de un fondo complejo o de objetos circundantes; y (7) cierre visual, que se refiere a la capacidad de identificar una figura completa cuando esta viene presentada en fragmentos.

Cada subprueba consta de 2 elementos de práctica y 16 elementos de prueba. El número de respuestas arroja una puntuación bruta desde 0 (todas fallidas) a 16 (todas correctas). Cada elemento de cada subprueba se califica como 0 o 1 (0 incorrecto y 1 correcto). La puntuación total de las siete subpruebas (rango, 0 a 112) indica el estado general de la percepción visual, donde una puntuación más alta, corresponde con un mejor funcionamiento de la percepción visual. Los sujetos no fueron evaluados cuando estos se encontraban fatigados, excitados, enfermos, ansiosos o tensos y, además, tampoco se les dio ninguna retroalimentación ni positiva ni negativa acerca de cómo estaban realizando su tarea. Todos los niños comenzaron cada subprueba tras haber realizado dos ejemplos de ella. Los sujetos indicaron la respuesta verbalmente, indicando el número que se encontraba debajo de la opción elegida en cada página. La subprueba finalizaba cuando el niño respondía incorrectamente tres ítems consecutivos. Tras terminar cada subprueba, el resultado de la suma de los aciertos indicaba la puntuación obtenida en valores brutos, valores que fueron extrapolados a valores de escala, rango percentil y equivalente de edad, ajustándose con ello a una distribución normal y así conocer un resultado más real de la subprueba.

Además, las habilidades de percepción no se pueden considerar completamente independientes, ya que las tareas de percepción en el mundo real implican el uso simultáneo de más de un área de percepción. Es por ello, que el TVPS-3 considera la suma de los valores a escala de cada subprueba realizada con el fin de recopilar las “puntuaciones de índices” (tres habilidades perceptivas compuestas): el índice de proceso básico que comprende las puntuaciones escaladas de discriminación visual, memoria visual, constancia de forma; el índice de secuenciación que reúne la subprueba de memoria secuencial; y finalmente, el índice de proceso complejo que

comprende la figura-fondo y cierre visual. La puntuación general corresponde a la suma de todas las puntuaciones escaladas.

### *Análisis estadístico*

Como se indicó anteriormente, calculamos el tamaño de muestra necesario utilizando estadísticas frecuentistas. La estadística bayesiana presenta ventajas sobre la prueba de significación clásica, ya que entre otras cosas, nos permite evaluar si los resultados favorecen la hipótesis nula o alternativa o si los datos son simplemente insensibles por la propia interpretación del factor de Bayes (Dienes, 2014). Específicamente, implementamos un t-test para muestras independientes (con valor predeterminado de Cauchy de  $r = 0,707$ ) para testear las diferencias en el procesamiento visual entre los grupos (grupo control frente grupo de TDAH total, grupo control frente al grupo de TDAH puro, grupo control frente al grupo de TDAH con comorbilidades y grupo de TDAH puro frente a grupo de TDAH con comorbilidades) para cada una de las habilidades de percepción visual específica o para una combinación de ellas (puntuaciones de índices).

En este estudio, obtuvimos el valor  $BF_{10}$ , considerando la hipótesis alternativa frente a la hipótesis nula. Según literatura encontrada, se propone un  $BF_{10}$  de  $< 0.33$  o  $> 3$  para aceptar las hipótesis nula y alternativa, respectivamente, considerándose los valores entre 3 y  $1/3$  insensibles para aceptar la hipótesis nula o alternativa (ver Wetzels et al. [Wetzels et al., 2011] para una explicación detallada de la categorización del factor de Bayes). Sin embargo, el enfoque bayesiano es de naturaleza comparativa, por lo que el factor de Bayes siempre debe considerarse como una razón que revela la cantidad de evidencia a favor de la hipótesis alternativa o nula (Jarosz & Wiley, 2014). Además, los tamaños de efecto se dieron como Cohen  $d$ , y se interpretaron siguiendo las recomendaciones de Cohen (Cohen, 1988): insignificantes ( $< 0.2$ ), pequeñas (0.2 a 0.5), moderadas (0.5 a 0.8) y grandes ( $\geq 0.8$ ). Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete de estadísticas JASP (versión 0.8.5.1; JASP Team, Amsterdam, Países Bajos).

## Resultados

En primer lugar, se llevaron a cabo un *t* test bayesiano de muestras independientes para evaluar las posibles diferencias de edad entre los niños con TDAH y el grupo control. Este análisis favoreció la hipótesis nula ( $BF_{10} = 0.30$ ) y evidenció que ambos grupos tenían una edad similar, con edades medias de  $9.0 \pm 2.3$  y  $9.3 \pm 2.0$  años para los niños con TDAH y controles, respectivamente.

El promedio de los valores de escala total, el  $BF_{10}$  de todos los grupos y para todas las subescalas y valores de índice se pueden ver en la tabla 4. El análisis del valor de escala de procesamiento visual entre el TDAH total y el grupo control mostró que los datos son más probables bajo la hipótesis alternativa en tres de las siete subpruebas: memoria visual, orientación espacial y memoria secuencial ( $BF_{10}$  rango, 4.26 a 29.28), mientras que las otras cuatro medidas de subprueba no fueron sensibles para favorecer la hipótesis nula o alternativa: discriminación visual, constancia de forma, figura-fondo y cierre visual ( $0.33 < BF_{10} < 3$ ). Además, se favoreció la hipótesis alternativa para todos los valores escalados compuestos (general, proceso básico, secuenciación y complejo; rango  $BF_{10}$ , 5.62 a 366.85).

El análisis entre el TDAH puro y el grupo control mostró que la hipótesis alternativa era más probable que ocurriera para las subpruebas de orientación espaciales ( $BF_{10} = 3.82$ ) y memoria secuencial ( $BF_{10} = 4.33$ ), así como para las subpruebas básicas ( $BF_{10} = 10.25$ ), secuenciación ( $BF_{10} = 4.19$ ) y valoraciones de índice generales ( $BF_{10} = 21.71$ ). Sin embargo, los análisis de las subpruebas de discriminación visual, memoria visual, constancia de forma, figura-fondo y cierre visual; además de la puntuación del índice de proceso complejo fueron no sensibles a la hora de favorecer la hipótesis nula o alternativa ( $0.33 < BF_{10} < 3$ ).

**Tabla 4.** Subpruebas y puntuaciones compuestas escaladas y los cocientes perceptivos de la prueba TVPS-3 para control, TDAH total, TDAH puro y TDAH con comorbilidades.

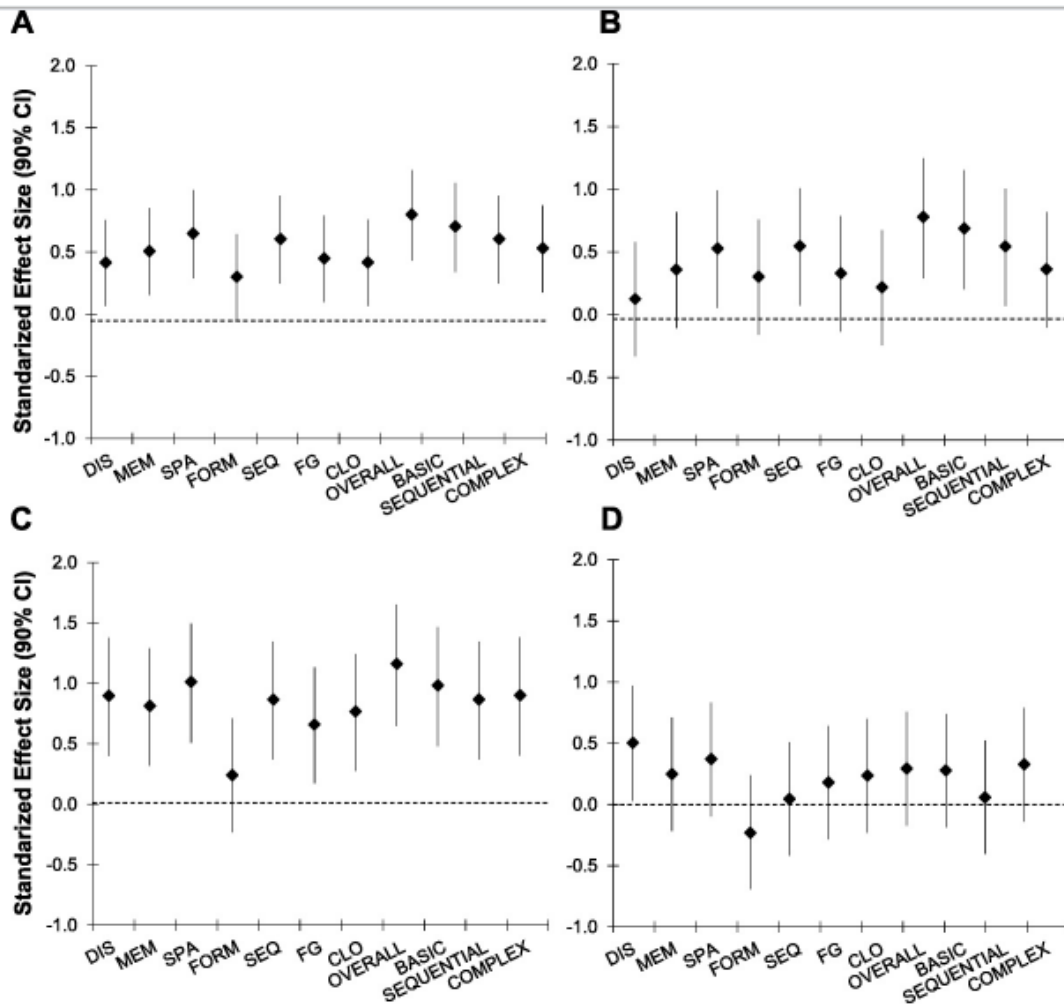
	Control (n = 35)	TDAH total (n = 35)	TDAH puro (n = 20)	TDAH con comorbilidades (n = 15)	Control vs TDAH total	Control vs TDAH puro	Control vs TDAH con comorbilidades	TDAH puro vs TDAH con comorbilidades
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE				
Discriminación visual	9.7±2.3	8.1±3.4	8.8±3.7	7.2±2.8	1.53	0.43	5.37*	0.66
Memoria visual	10.0±3.0	8.0±3.3	8.3±3.5	7.6±3.2	4.26*	1.17	3.44*	0.38
Orientación especial visual	12.5±3.2	9.3±4.5	10.0±4.1	8.5±5.0	29.28*	3.82*	26.67*	0.48
Constancia de forma visual	8.3±4.5	6.9±3.5	6.5±3.1	7.5±3.9	0.59	0.76	0.35	0.42
Memoria secuencial visual	9.8±2.8	7.5±3.2	7.6±3.6	7.5±2.8	15.42*	4.33*	4.56*	0.33
Visión figura-fondo	10.5±4.6	8.3±4.5	8.5±3.6	8.0±3.5	2.16	0.88	1.22	0.35
Cierre visual	9.3±3.6	7.3±4.1	7.7±4.8	6.9±2.9	1.55	0.61	2.16	0.37
General	100.1±10.5	89.5±10.2	90.6±9.4	87.1±15.3	366.85*	21.71*	46.58*	0.41
Básico	100.8±11.5	89.9±12.8	91.3±10.7	88.1±15.3	70.60*	10.25*	15.88*	0.40
Secuencial	99.1±14.1	87.8±15.7	87.8±17.3	87.7±13.9	15.34*	4.19*	4.59*	0.33
Complejo	99.4±18.7	88.2±15.4	90.1±17.1	85.7±12.8	5.62*	1.10	4.03*	0.43

Note: TVPS-3= the visual perceptual skills Test (tercera edición); TDAH = trastorno por déficit de atención e hiperactividad; DE = desviación estándar; BF = Bayes factor. \*indica que los datos observados son al menos 3 veces más probables bajo la hipótesis alternativa ( $BF_{10} > 3$ ).

También comparamos a los niños con TDAH con comorbilidades con el grupo control. El resultado indicó, que se favoreció la hipótesis alternativa sobre la hipótesis nula para discriminación visual ( $BF_{10} = 5.37$ ), memoria visual ( $BF_{10} = 3.44$ ), orientaciones espaciales ( $BF_{10} = 26.67$ ) y memoria secuencial visual ( $BF_{10} = 4.56$ ), así como para la secuenciación general ( $BF_{10} = 46.58$ ), básica ( $BF_{10} = 15.88$ ) ( $BF_{10} = 4.59$ ) y compleja ( $BF_{10} = 4.03$ ) de los valores compuestos. Además, los datos no fueron sensibles para favorecer cualquier hipótesis de la constancia visual de la forma ( $BF_{10} = 0.35$ ), la figura-fondo ( $BF_{10} = 1.22$ ) y cierre visual ( $BF_{10} = 2.16$ ).

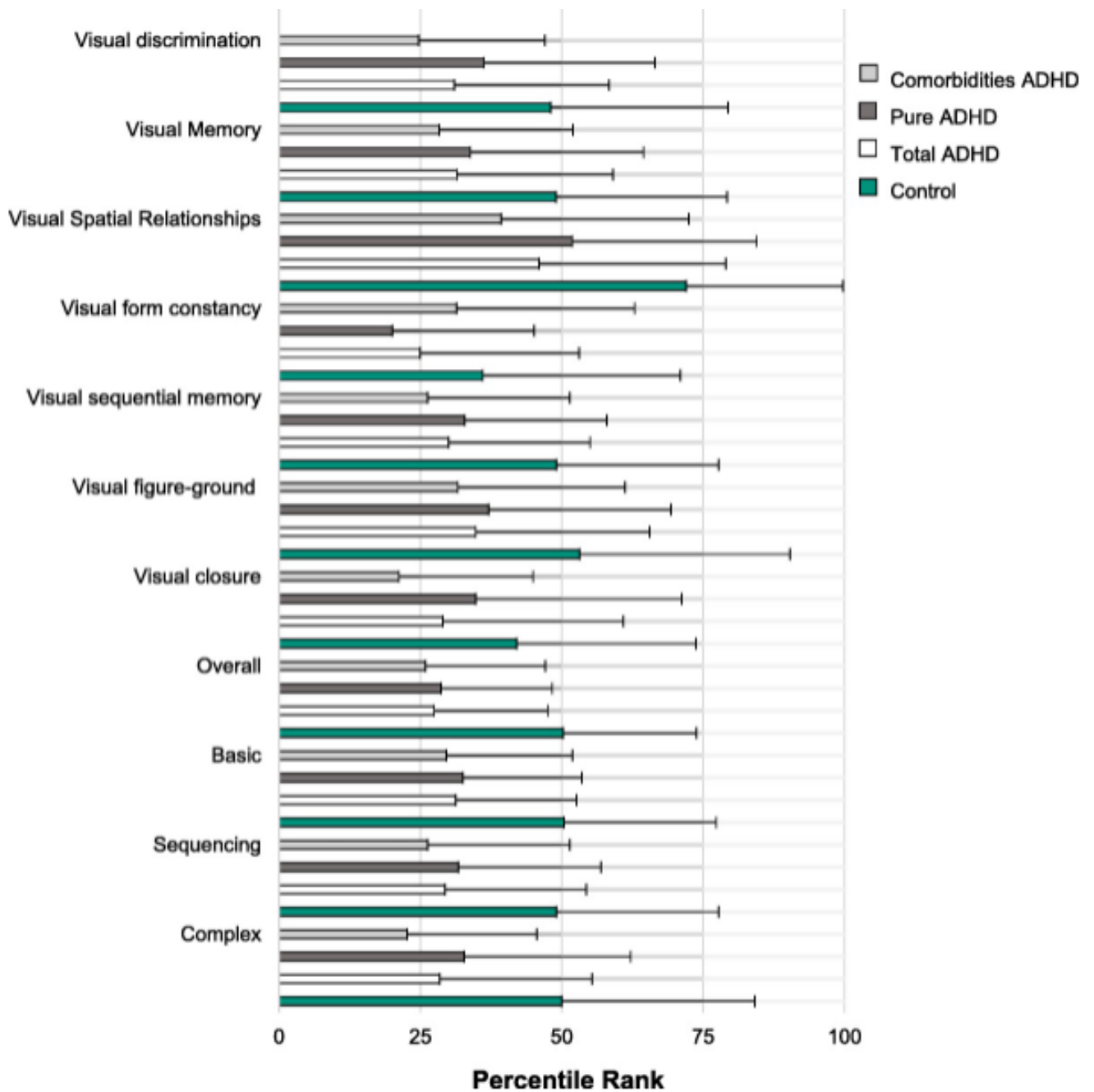
Por último, los datos de la comparación entre el TDAH puro y el TDAH con comorbilidades tampoco fueron sensibles para favorecer la hipótesis nula o alternativa en ninguna de las subpruebas o puntuación escalada compuesta ( $0,33 < BF_{10} < 3$  en todos los casos).

Los tamaños de efecto y los rangos de los percentiles para las subpruebas y las capacidades perceptivas compuestas se muestran en las figuras 7 y 8, respectivamente. La figura 9 representa la diferencia entre la puntuación equivalente a la edad y la edad actual para las puntuaciones de la escala de cada una de las siete subpruebas, las tres habilidades perceptivas compuestas y el estado general de la percepción visual.

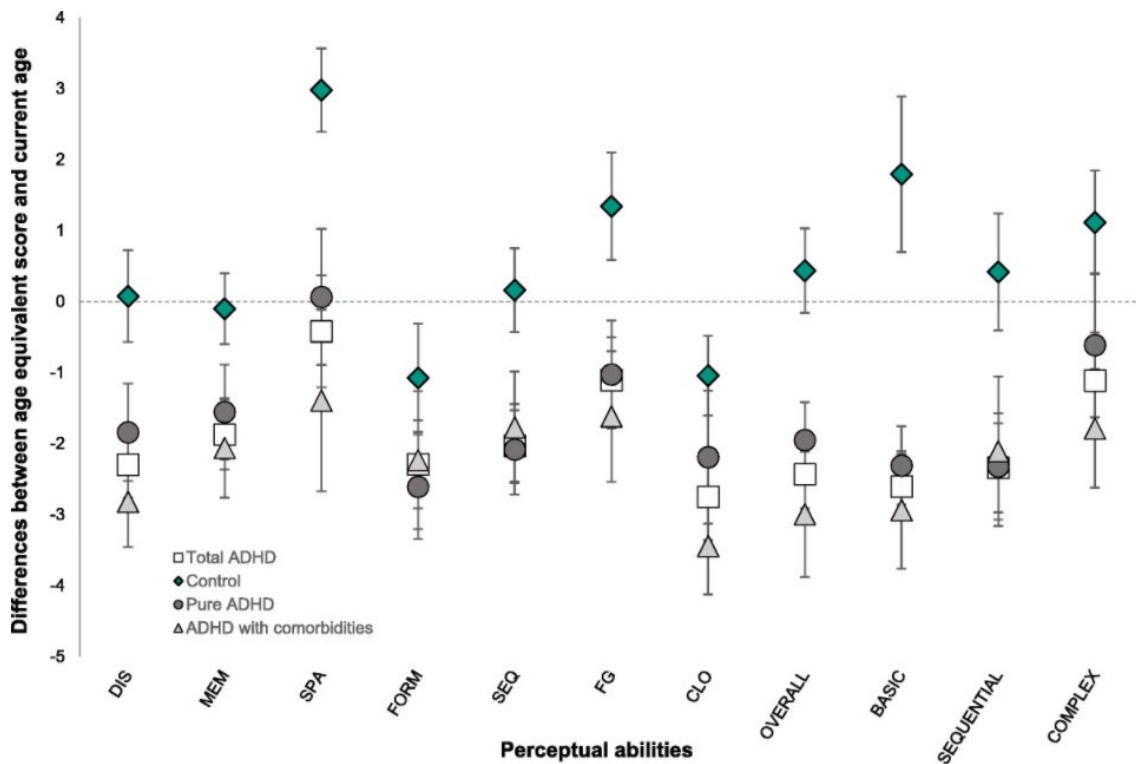


**Figura 7:** Tamaño de efecto con sus correspondientes intervalos de confianza del 90% para A) el grupo control frente al grupo de TDAH total; B) control vs. TDAH puro C) control vs TDAH con comorbilidades y D) TDAH puro vs. TDAH con comorbilidades del Test de habilidades perceptivas visuales (tercera edición). DIS = discriminación visual; MEM = memoria visual; SPA = orientación espacial visual; FORM = constancia de la forma visual; SEQ = memoria secuencial visual; FG = figura-fondo; CLO = cierre visual; TDAH =Trastorno por déficit de atención e hiperactividad.





**Figura 8:** Rango percentil del Test de habilidades perceptivas visuales (tercera edición) en cada una de las subpruebas, habilidades perceptivas compuestas y estado general de percepción visual para los grupos control, TDAH total, TDAH puro y TDAH con comorbilidades. Las barras de errores representan la DE. ADHD = Trastorno por déficit de atención e hiperactividad.



**Figura 9:** Diferencias (en años) entre puntuaciones equivalente según la edad y la edad actual en cada una de las subpruebas, las habilidades perceptivas compuestas y el estado general de la percepción visual del Test de habilidades perceptivas visuales (Tercera edición) para los diferentes grupos de trastorno por déficit de atención e hiperactividad (ADHD) y los niños del grupo control. Los valores negativos denotan que la edad actual es más alta que la puntuación equivalente a la edad y viceversa. Las barras de error representan el error estándar. DIS = discriminación visual; MEM = memoria visual; SPA = orientaciones espaciales visuales; FORM = constancia de forma visual; SEQ = memoria secuencial visual; FG = figura-fondo; CLO = cierre visual.

## Discusión

El presente estudio evaluó las habilidades de percepción visual, medidas con el TVPS-3, en una población de niños TDAH-NM y un grupo control de la misma edad. El grupo de niños con TDAH también se dividió en dos grupos, uno con niños con TDAH puro y otro con niños con TDAH con comorbilidades. Se compararon cada uno de los grupos de TDAH (total, puro y con comorbilidades) con el grupo control. Además, los niños con TDAH puro también se compararon con los niños con TDAH con comorbilidades. Nuestros datos mostraron que los niños con TDAH tenían un peor desempeño en la mayoría de las habilidades de percepción visual, con un efecto más pronunciado al comparar el grupo total de TDAH o el grupo de TDAH con comorbilidades

frente a grupo control. Sin embargo, los datos al comparar entre el TDAH puro y el TDAH con comorbilidades no favorecieron la hipótesis alternativa o nula. De hecho, cuando los tres grupos de TDAH se compararon con el grupo control, se observó que los datos eran al menos tres veces más probables, bajo la hipótesis alternativa en cada una de las tres valoraciones compuestas (general, básico, y procesamiento de secuenciación) y en dos de las áreas perceptivas específicas (relaciones visual-espaciales y memoria secuencial visual). Además, para la subprueba de memoria visual y para la puntuación compuesta compleja, la hipótesis alternativa se vio favorecida en al menos 3:1 cuando se comparó el grupo control, con el grupo total de TDAH o con el grupo de TDAH con comorbilidades. Por último, la comparación del TDAH con comorbilidades frente al grupo control para la discriminación visual reveló un  $BF_{10}$  de 5.37 a favor de la hipótesis alternativa. En general, la interpretación de  $BF_{10}$  proporcionó diferencias más grandes para los grupos de TDAH total y con comorbilidades, que para el grupo de TDAH puro al compararse con el grupo control de edad similar.

A partir del presente estudio y considerando el rango percentil, que revela la actuación relativa a la población normativa, podemos afirmar que el grupo control logró percentiles más altos para todas las habilidades perceptivas, mostrando diferencias sustanciales para muchas de ellas (ver figura 8) en comparación con el grupo con TDAH total, TDAH puro y TDAH con comorbilidades. En particular, aunque el grupo control obtuvo valores normativos (percentiles 25 a 75), los grupos de TDAH puntuaron alrededor del percentil 25, que se considera el límite entre el promedio considerado bajo (percentiles 23 a 9) y los valores normativos (N. Martin, 2006) (ver figura 8). Además, para todas las habilidades perceptivas, excepto la constancia de la forma, el grupo de TDAH puro mostró un ligero aumento en el rango percentil en comparación con el grupo de TDAH con comorbilidades. En la misma línea, una valoración equivalente a la edad, que considera el desarrollo de las habilidades perceptivas a lo largo del tiempo y permite obtener el resultado principal en una determinada edad cronológica, arrojó que los niños del grupo control obtuvieron valoraciones equivalentes a la edad más cercanos a su edad actual, mientras que los niños con TDAH y especialmente con TDAH con comorbilidades demostraron una edad

equivalente menor a su edad actual (ver figura 9). Hay que tener en cuenta que estos valores (ej., rangos percentiles y puntuaciones equivalentes a la edad) pueden interpretarse con fines descriptivos en lugar de inferenciales, aunque esta información puede ser muy útil para que los padres y maestros puedan comparar mejor los valores obtenidos en relación a una población normativa.

Estudios anteriores se han centrado en la relación entre el TDAH y las habilidades cognitivas y perceptivas específicas (Lenz et al., 2010; Moll et al., 2016). En este estudio, encontramos que los tres grupos de TDAH tenían más probabilidades de obtener valores a escala más bajos para la relación visual-espacial y la memoria secuencial visual en comparación con el grupo control. Además, para la subprueba de memoria visual, el grupo con TDAH total y el grupo con TDAH con comorbilidades revelaron un peor resultado en comparación con el grupo control. Por último, el grupo con TDAH con comorbilidades también mostró un rendimiento más bajo que el grupo control para el subconjunto de discriminación visual. Estos resultados están en línea con investigaciones previas que han demostrado una asociación entre el TDAH y una memoria de trabajo deteriorada (Martinussen, Hayden, Hogg-Johnson, & Tannock, 2005), habilidades visuoespaciales (Castellanos & Tannock, 2002) y memoria secuencial visual (Kibby et al., 2015). En este sentido, existe evidencia de que el TDAH se asocia con una función de memoria visual más pobre, además de que ha propuesto la memoria visual como un endofenotipo cognitivo para el TDAH (Shang & Gau 2011). En particular, este déficit puede dificultar la conservación de la información para su procesamiento posterior en tareas complejas (por ejemplo, habilidades de lectura y matemáticas), así como retrasar la coordinación entre estructuras espaciales y la adquisición de habilidades motoras (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, & Van Luit, 2015). Nuestros resultados mostraron diferencias para el TDAH total y para el TDAH con comorbilidades, pero no para el TDAH puro. Una posible explicación puede ser que la presencia de trastorno de aprendizaje podría aumentar las deficiencias de la memoria visual (Kurtz, 2006). Según Henry, solo niños con discapacidad de aprendizaje leve y moderada presentan deterioro de la memoria visuoespacial (Henry, 2001). En cuanto al procesamiento espacial visual, nuestros

datos muestran que los niños con TDAH presentaron valores más bajos de orientación espaciales visuales que el grupo control, y estarían en concordancia con Johnson et al. (Johnson et al., 2010), quienes observaron dificultades espaciales en el TDAH, lo que sugiere una disfunción de los sistemas frontoparietal y frontocerebeloso. Además, el procesamiento espacial visual se ha relacionado con el desarrollo de la lectura y la dislexia (Vidyasagar & Pammer, 2010) jugando esta habilidad un gran papel en la consecución de la lectura (Franceschini, Gori, Ruffino, Pedrolli, & Facoetti, 2012). En la misma línea, nuestros resultados muestran que la peor actuación en el procesamiento espacial visual fue para el TDAH con comorbilidades. Del mismo modo, la discriminación visual, que se vio alterada solo para el grupo de niños que presentaban TDAH con comorbilidades, se ha asociado con una lectura deficiente (Feagans & Merriwether, 1990). Estos resultados pueden explicarse viendo el alto porcentaje existente dentro del grupo de TDAH con comorbilidades, de niños con dificultades de aprendizaje que están asociadas con la lectura y la escritura. Por último, el análisis bayesiano realizado no permitió obtener conclusiones sólidas ( $0,33 < BF_{10} < 3$ ) para constancia de forma, figura-fondo y cierre visual. Se necesitan estudios futuros para explorar estas habilidades de percepción visual en el TDAH.

Las habilidades perceptivas surgen en diferentes momentos de la madurez y están presentes en nuestras actividades diarias. En el mundo real, las tareas perceptivas involucran más de una habilidad perceptiva; es por ello que, para evaluar el procesamiento perceptivo de una manera fiable, hay que tener en cuenta cada una de las habilidades individuales que componen las diferentes categorías de las habilidades perceptivas complejas (N. Martin, 2006). Los resultados de las habilidades perceptivas complejas propuestas en el TVPS-3 evidenciaron que todos los grupos de TDAH exhibieron una peor actuación en comparación con el grupo control en el índice general, básico y de secuenciación. Se encontraron puntuaciones reducidas en el índice de proceso complejo sólo para el TDAH total y el TDAH con comorbilidades, probablemente debido a que un déficit en este índice es más frecuente encontrarlo en niños con problemas con las habilidades sociales, con el lenguaje y/o el razonamiento (Minshev, Sweeney, & Luna, 2002), y por lo tanto, la presencia de comorbilidades puede explicar este resultado.

Numerosos trastornos psicológicos, entre los que se encuentran algunas de las comorbilidades encontrados en este estudio, se han asociado con alteraciones en la capacidad de percepción visual (Kibby et al., 2015; Kurtz, 2006), y por tanto, puede tener un impacto en diferentes áreas de la percepción visual. En vista de la literatura antes mencionada y las puntuaciones más bajas logradas en el grupo total de TDAH en el presente estudio, los profesionales de la salud deben considerar las comorbilidades al evaluar el procesamiento visual. Aunque nuestros resultados pueden confirmar que las comorbilidades empeoran las capacidades de percepción visual en el TDAH, no podemos establecer el papel de cada comorbilidad específica; es decir, es posible que algunas comorbilidades impacten más negativamente en la percepción visual (p.ej., discapacidades de aprendizaje, cociente intelectual bajo), mientras que otras no influyan en absoluto.

Los resultados actuales son de particular importancia en el desarrollo cognitivo de los niños con TDAH, ya que esta información podría usarse no solo como una herramienta discriminante/diagnóstica, sino también para determinar la intervención más pertinente, ya sea esta médica, ocupacional, educativa, y/o optométrica. Un enfoque multidimensional con una colaboración activa entre las diferentes disciplinas parece ser la estrategia más pertinente (Caye, Swanson, Coghill, Rohde, & Caye, 2018). En este sentido, el método recomendado por la Asociación Americana de Optometría para abordar los déficits del procesamiento de la visión es la terapia visual (Garzia et al., 2000), en el que los optometristas puedan jugar un papel fundamental, en colaboración con otros especialistas en TDAH, en la mejora del procesamiento visual en esta población (Bedard et al., 2004). Además, estudios recientes también han evidenciado que el ejercicio físico mejora algunos procesos perceptivo-cognitivos, así como aspectos motores y cognitivos en el TDAH (Ziereis & Jansen, 2015). A tal efecto, se requieren más estudios para determinar si el ejercicio mejora otras áreas de percepción visual en el TDAH, así como si es factible incorporarlo en la estrategia de intervención.

*Limitaciones e investigación futura*

Aunque nuestros resultados revelaron que los niños con TDAH, especialmente cuando se incluían comorbilidades, muestra puntuaciones más bajas en varias habilidades perceptivas en relación con un grupo control de la misma edad, hay que decir que este estudio presenta varias limitaciones que deben de conocerse. El TVPS-3 es una prueba subjetiva que requiere de la colaboración y motivación de los niños. Aunque no se evaluó a los niños cuando estaban fatigados, excitados, enfermos o tensos, algunos comportamientos característicos de los niños con TDAH, como la distracción, la falta de atención y la hiperactividad pueden influir en los resultados de la prueba y, por lo tanto, las puntuaciones en las subpruebas deben interpretarse con cautela a este respecto. Además, entre todas las posibles comorbilidades, las discapacidades de aprendizaje y el cociente intelectual bajo pueden tener un mayor impacto en la puntuación baja en la subprueba del TVPS-3 obtenida para este grupo; por lo tanto, los estudios futuros deben aumentar la muestra y evaluar si el tipo de comorbilidad puede desempeñar un papel en la asociación del TDAH y las medidas de percepción visual. Asimismo, el subtipo de TDAH predominante en nuestra muestra es el subtipo combinado (19/35), por lo que se necesitaría un tamaño de muestra mayor para aumentar el número de niños de los otros dos subtipos, lo que permitiría distinguir posibles diferencias entre subgrupos. Además, los datos de la comparación entre niños con TDAH puro y TDAH con comorbilidades no fueron concluyentes, y así, un tamaño de muestra mayor también ayudaría a dilucidar si la comparación de las habilidades de percepción visual entre estos grupos favorece la hipótesis nula o alternativa. Sorprendentemente, en el presente estudio, hemos controlado el posible efecto del tratamiento farmacológico (es decir, ningún niño con TDAH estaba medicado a la hora de realizar la tarea o previo a esta), por lo tanto, nuestros resultados pueden ser concluyentes a este respecto. Esperamos que los estudios futuros evalúen el impacto del tratamiento del TDAH en las habilidades de percepción visual e investiguen los beneficios potenciales de incluir diferentes estrategias de intervención (por ejemplo, terapia visual, aprendizaje perceptivo o ejercicio físico) como posibles medios para mejorar el procesamiento visual y, en consecuencia, poder garantizar una alta probabilidad de mejora en su desarrollo. Se

necesita más investigación que compare directamente diferentes pruebas que evalúen el procesamiento visual en el TDAH y así, poder determinar si nuestros resultados son específicos o generalizables. Por último, hemos encontrado un efecto mediador de las comorbilidades en las habilidades de percepción visual de los niños con TDAH, por lo que consideramos de interés explorar el papel de las comorbilidades del TDAH al evaluar la asociación de este con diferentes disfunciones visuales (p. ej., insuficiencia de convergencia y trastornos oculomotores).

### **Conclusiones**

Los presentes hallazgos apoyan la existencia de dificultades de procesamiento visual en niños con TDAH, especialmente en el grupo con comorbilidades. Las habilidades perceptivas específicas, como la memoria secuencial y la orientación espacial, se vieron afectadas en todos los grupos de TDAH, por su parte, la memoria visual se redujo solo en el grupo TDAH total y en el grupo de TDAH con comorbilidades, y la discriminación visual se vio reducida solo para el grupo de TDAH con comorbilidades. Para las habilidades perceptivas complejas, los niños con TDAH obtuvieron puntuaciones más bajas para los índices de proceso general, secuencial y básico en comparación con el grupo control. De nuevo, el grupo de TDAH total y el grupo de TDAH con comorbilidades mostraron valores más bajos para la puntuación del índice de proceso complejo en comparación con un grupo de control de la misma edad, hecho que no ocurrió con el grupo con TDAH puro. Nuestros datos pueden ser de interés para una amplia variedad de profesionales de la salud (p. ej., psicólogos, pediatras, terapeutas ocupacionales, maestros, optometristas, etc.) con el fin de comprender la relación entre el TDAH y el procesamiento visual. Alentamos a la realización de futuros estudios para probar el papel de diferentes estrategias de intervención en las habilidades de percepción visual de los niños con TDAH, así como estudiar la influencia de sus diferentes trastornos comórbidos. (p.ej., problemas de aprendizaje o el bajo coeficiente intelectual).



**ESTUDIO III: LOS NIÑOS CON DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD MUESTRAN UN PATRÓN ALTERADO DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES DURANTE LA LECTURA**

**Introducción**

El TDAH es un trastorno del neurodesarrollo de inicio temprano caracterizado por niveles alterados de falta de atención, hiperactividad e impulsividad (American Psychiatric Association, 2013) y una prevalencia combinada mundial del 5% (Polanczyk et al., 2007). Los niños y adolescentes con TDAH han demostrado tener un bajo rendimiento académico al compararlos con grupos controles, asociándose negativamente la gravedad de los síntomas conductuales con el rendimiento escolar (Barry et al., 2002). En este sentido, un déficit en el desarrollo de la función ejecutiva se ha propuesto como modelo explicativo del déficit de atención/hiperactividad (Barkley, 2014), hecho, que parece ser un factor clave en el rendimiento académico (Frazier, Youngstrom, Glutting, & Watkins, 2007).

El TDAH se ha asociado comúnmente con problemas de aprendizaje (Reale et al., 2017) y en particular, con problemas de lectura (Miller et al., 2013). Estudios previos han señalado que el TDAH y las discapacidades de lectura muestran una tasa de comorbilidad que oscila entre el 11 y el 52% (DuPaul et al., 2013), lo que sugiere que los síntomas del TDAH tienen un impacto negativo en la consecución de la lectura a la edad infantil (Greven, Rijdsdijk, Asherson, & Plomin, 2012). En este sentido, se ha asociado con un menor rendimiento en la velocidad de decodificación y comprensión de textos (Ehm, Kerner auch Koerner, Gawrilow, Hasselhorn, & Schmiedek, 2016). Además, los estudios de seguimiento ocular (eye-tracking) han explorado los aspectos específicos del control oculomotor en diferentes tareas conductuales en individuos con TDAH, demostrando la existencia de movimientos oculares anormales (p. ej., una capacidad reducida para suprimir movimientos sacádicos no deseados o controlar su fijación ante comportamiento voluntarios) (Fried et al., 2014; Munoz et al., 2003).

A tal efecto, se ha dado un número considerable de explicaciones contrapuestas para dilucidar qué mecanismos causales, ya sea a nivel cognitivo o biológico, pueden estar involucrados en la asociación entre el TDAH y las discapacidades de lectura (Germanó, Gagliano, & Curatolo, 2010). Una revisión reciente de Hendren et al., (2018) destaca las diferentes áreas de controversia dentro de esta comorbilidad y proporciona direcciones para futuras investigaciones. Los autores sugieren que un enfoque interdisciplinario de esta condición comórbida por parte de los profesionales de la salud mental y los educadores puede ayudar a desarrollar nuevas estrategias de tratamiento que mejoren los resultados educativos y la salud en esta población (Hendren et al., 2018). Hay estudios que han informado que las discapacidades de lectura y el TDAH tienen una etiología genética común (Willcutt et al., 2010), como ocurre con las regiones del cerebro alteradas en el TDAH (ej., circuitos frontoestriatal-cerebelosos) que parecen estar involucradas en el control de los movimientos oculares (Munoz et al., 2003). Sin embargo, hasta la fecha, no hay evidencia si el patrón oculomotor alterado es debido a un déficit oculomotor general o es secundaria a un defecto en el procesamiento visual de material lingüístico. Además, otros autores han demostrado que estos déficits oculomotores estaban mayoritariamente relacionados bien a un déficit en la atención visual o a una inmadurez de las áreas corticales que controlan el sistema de fijación (Tiadi, Seassau, Gerard, & Bucci, 2016) o incluso a un control alterado o deficiente de los movimientos oculares (Munoz et al., 2003). Esta relación se ha explicado principalmente argumentando un déficit de inhibición, así como un funcionamiento alterado de las áreas del lóbulo frontal en los niños con TDAH (Rommelse, Stigchel, & Sergeant, 2008).

Deans et al. estudiaron el patrón de movimiento de los ojos en niños con TDAH y discapacidades lectoras entre las edades de 6 y 12 años mientras leían cinco oraciones de un nivel de lectura de primer grado. Descubrieron que los niños con TDAH exhibían un tiempo de lectura más lento, una duración de fijación más prolongada y unos movimientos oculares más atípicos en comparación con el grupo control. Sin embargo, la comparación entre los niños con TDAH y los niños que presentaban discapacidades lectoras, mostró diferencias significativas solamente en el tiempo total de lectura, siendo los niños con TDAH los que leyeron más lentamente (Deans,

O'Laughlin, Brubaker, Gay, & Krug, 2010). Además, Thaler et al. comparó el patrón de movimiento de los ojos en niños con TDAH puro (es decir, libres de cualquier otra condición comórbida), niños con dislexia, niños con dislexia y TDAH, y un grupo control mientras leían palabras sueltas, observando que los niños con TDAH y los niños del grupo control mostraban resultados similares en precisión lectora, tiempos de lectura, número de fijaciones y duración media de una sola fijación (Roman, 2010; Thaler et al., 2009). Sin embargo, el uso de textos breves o palabras sueltas utilizado en estos dos estudios puede que no sea una tarea demasiado compleja para ver cómo influye la atención, ya que estas tareas no requieren altos niveles de concentración o atención sostenida y, por lo tanto, los posibles déficits de atención pueden ser resultar irrelevantes en el resultado. Asimismo, en el estudio de Deans et al., el 37% de los niños con TDAH tomaban medicación (Deans et al., 2010) mientras que en el de Thaler et al. no se informa sobre el número de niños con TDAH que tenían tratamiento farmacológico (Thaler et al., 2009). Este hecho es de especial relevancia, ya que los psicoestimulantes utilizados para el tratamiento de TDAH actúan a nivel de la zona frontal, lo que permite la reducción de los niveles de actividad y el aumento de la capacidad atencional (Arnsten & Pliszka, 2011), lo que puede llevar a que afecten al patrón de los movimientos oculares durante la lectura. De hecho, estudios anteriores han indicado que, si se pretende obtener datos que realmente reflejen los verdaderos déficits del movimiento ocular lectores en sujetos con TDAH, no se deben incluir medicamentos en dichos estudios (Mostofsky et al., 2001).

Debido a las limitaciones en estos estudios previos, consideramos de interés evaluar los movimientos oculares en niños TDAH-NM puro durante la lectura, para establecer si el patrón oculomotor alterado observado en tareas conductuales simples con lectura de una sola palabra (Deans et al., 2010; Thaler et al., 2009) es también evidente al leer un texto con un nivel de dificultad ajustado a su habilidad de lectura. En este sentido, no debería de considerarse la evaluación del rendimiento lector con palabras sueltas y pasajes cortos, ya que ilustran diferentes aspectos del proceso de lectura (Jenkins, Fuchs, Van den Broek, Espin, & Deno, 2003).

Hay algunas pruebas estandarizadas que pueden usarse para evaluar indirectamente los movimientos oculares durante las tareas que no son de lectura (por ejemplo, el test de Pierce Saccadic, el test de King-Devick Saccadic y la prueba de desarrollo del movimiento ocular [Developmental Eye Movement Test]), pero la validez de estas pruebas como indicadores del comportamiento oculomotor durante la lectura es limitado (Ayton, Abel, Fricke, & McBrien, 2009; M. W. Rouse, Nestor, Parot, & DeLAND, 2004; Scheiman & Rouse, 2006), y se obtiene información más detallada y valiosa sobre el proceso de lectura si se registra la actividad del movimiento ocular en tiempo real (Foster, Ardoin, & Binder, 2017; Orlansky et al., 2011; Webber, Wood, Gole, & Brown, 2011). El sistema de registro del movimiento ocular Visagraph (Taylor Associates, Nueva York, NY), que se basa en la técnica de reflexión limbal infrarroja (Ciuffreda, 1995), se ha identificado como un método clínico que proporciona valores fiables y objetivos en términos de datos cuantitativos del movimiento ocular y la velocidad de lectura (Quaid & Simpson, 2013). Este dispositivo registra los movimientos oculares mientras el paciente lee un texto estandarizado y muestra datos sobre el patrón de movimiento del ojo durante la lectura.

En vista de las limitaciones encontradas en la literatura científica sobre el uso de tareas de lectura inapropiadas (p. ej., palabras sueltas o textos no estandarizados por la edad de los participantes), así como por la falta de consideración en la presencia de comorbilidades o tratamientos farmacológicos, los autores consideraron relevante proponer las siguientes preguntas: ¿Se podría mejorar el diagnóstico del TDAH en niños con pruebas objetivas de movimiento ocular? Y más específicamente, ¿habría alguna diferencia entre los niños en edad escolar con y sin TDAH puro en sus movimientos oculares, cuando son medidos objetivamente mientras leen en voz alta? Basado en esto, el objetivo principal del presente estudio fue, analizar el patrón de movimientos oculares durante una lectura en voz alta de un texto estandarizado en niños TDAH-NM que además, también se encontraban libres de cualquier tipo de comorbilidad, y compararlo con los de un grupo de niños de desarrollo normal y edad similar. Basándonos en la literatura anterior, planteamos la hipótesis de que los niños TDAH-NM pueden presentar un rendimiento de lectura

oral más bajo en comparación con los controles, lo que puede estar asociado con un patrón de movimiento ocular alterado.

## **Métodos**

### *Participantes y aprobación ética*

Se reclutaron a 58 niños para participar en este estudio (36 con TDAH y 22 controles). Los niños con TDAH fueron evaluados por su pediatra de atención primaria quien los derivó a la Unidad de Neuropediatría, Neuropsicología e Intervención Temprana del Hospital Universitario San Cecilio de Granada para su evaluación y diagnóstico preciso en cuanto al subtipo y posibles comorbilidades. Inicialmente se realizó un examen físico minucioso con un historial médico completo basado en entrevistas a niños y padres, así como la información brindada por los maestros. El diagnóstico del TDAH fue realizado por un psicólogo clínico y un neuropediatra siguiendo las pautas del DSM-V. Además, se realizó una evaluación neuropsicológica para complementar el proceso de diagnóstico y excluir las posibles comorbilidades, este incluyó los siguientes cuestionarios: la Escala de Evaluación de Padres de Vanderbilt del Instituto Nacional de Calidad de Salud Infantil (Wolraich et al., 2003) y la Escala de Evaluación de Maestros de Vanderbilt del Instituto Nacional de Calidad de Salud Infantil (Wolraich et al., 2013), el Inventario de Calificación del Comportamiento de las Funciones Ejecutivas - Formulario para los Padres (Gioia et al., 2000), la Escala de Inteligencia Wechsler para Niños - Cuarta Edición (Wechsler, 2005), la Escala de Atención Visual de Magallanes (Magaz-Lago & García-Pérez, 2011), el Inventario de Depresión Infantil (Kovacs, 1992) y la Escala de ansiedad infantil de Spence (Spence, 1997). Debido a la falta de datos aplicables, no se realizaron cálculos de potencia. El tamaño de la muestra se basó en una cohorte similar en la que se midieron los movimientos oculares en niños con TDAH mientras leían palabras aisladas (Thaler et al., 2009).

Los criterios de inclusión impuestos para participar en este estudio no incluyeron alteraciones metabólicas o endocrinas, así como otras enfermedades neurológicas que pudieran justificar la

sintomatología actual. Específicamente, todos los niños debían tener una inteligencia normal (puntuación de cociente de inteligencia  $> 85$  en la Escala de Inteligencia Wechsler para Niños - Cuarta Edición) (Wechsler, 2005), estar libres de cualquier otra condición médica o psicológica, y no presentar discapacidades de aprendizaje, criterios que se consideraron si los resultados se encontraban dentro del rango de deterioro de las diferentes áreas evaluadas. Además, los sujetos con antecedentes de prematuridad (es decir, los sujetos que nacieron antes de las 28 semanas de gestación) fueron excluidos ya que se ha demostrado tener un mayor riesgo de problemas de atención (O'Shea, Downey, & Kuban, 2013). Por último, para evitar la contaminación de los resultados por el efecto de la medicación, ninguno de los niños con TDAH seleccionados para este estudio debía haber sido tratado con medicación para el TDAH como puede ser el metilfenidato, melatonina administrada por vía oral o cualquier otro tratamiento del TDAH que pueda perturbar el sueño o alterar el metabolismo.

Un optometrista evaluó la función visual en los niños con TDAH y en los niños del grupo control. Los criterios de inclusión requeridos para realizar la prueba fueron los siguientes: (1) no presentar ninguna enfermedad ocular, (2) estrabismo y/o ambliopía, (3) una AV en lejos y cerca con mejor corrección  $\leq 0.1$  logMAR (6 / 7.5 Snellen) en cada ojo, (4) una estereoagudeza en visión cercana de 50 segundos de arco o mejor, medida con el Randot Stereotest (Stereo Optical Company, Chicago, IL) siguiendo las recomendaciones de Scheiman & Wick, (Scheiman & Wick, 2008) (5) una anisometropía sin corregir  $< 2.00$ , y (6) pertenecer al grupo asintomático según el cuestionario de Conlon et al. (Conlon et al., 1999) y el cuestionario para síntomas de insuficiencia de convergencia. (Borsting et al., 2003) De un total de 36 pacientes, 21 (58,3%) fueron diagnosticados con TDAH puro, mientras que 15 niños con TDAH no cumplieron los criterios de inclusión (5 niños presentaron ambliopía; 6, dislexia; 1, ambliopía y cociente intelectual bajo; 1, dislexia y ambliopía; y 2, cociente intelectual bajo). En el grupo de control, dos niños presentaron ambliopía y también fueron excluidos del análisis.

Finalmente, participaron en este estudio un total de 41 niños, 21 niños con TDAH (edad media  $\pm$  DE,  $9.3 \pm 2.2$  años, 15 niños y 6 niñas) y 20 niños control ( $9.3 \pm 2.5$  años, 10 niños y 10

niñas). Antes del inicio del estudio, los padres o tutores recibieron instrucciones detalladas y firmaron un formulario de consentimiento informado. El estudio fue aprobado por el comité ético de investigación biomédica de la Universidad de Granada (aprobación del comité de revisión institucional: 546 / CEIH / 2018) y se adhirió a las directrices de la Declaración de Helsinki.

### *Procedimientos*

A su llegada al laboratorio, todos los niños fueron sometidos a un examen optométrico, que incluyó: (a) oftalmoscopia directa para detectar cualquier patología ocular; (b) cover test para determinar la presencia de desviación ocular; (c) AV monocular y binocular en lejos (5 m) utilizando la optotipo de letras logarítmicas con el diseño de Bailey-Lovie en un monitor computarizado (POLA VistaVision; DMD Med Tech SRL, Torino, Italia), así como AV monocular y binocular de cerca (40 cm) mediante optotipo de letras de cerca en escala logarítmica y diseño de Bailey-Lovie; y (d) refracción ocular objetiva no ciclopléjica utilizando el autorefractómetro Grand Seiko WAM-5500 en modo estático (Grand Seiko Co. Ltd., Hiroshima, Japón). El equivalente esférico del participante en cada ojo se calculó con el valor medio de tres mediciones realizadas consecutivamente: (e) refracción subjetiva monocular y binocular no ciclopléjica o, en su caso, la sobrefracción considerando un criterio de máximo positivo con la máxima AV; (f) sobrefracción a través de lentes de + 2.00D utilizando el autorefractómetro de campo abierto WAM-5500 para descartar la presencia de hipermetropía latente (Queirós, González-Méijome, & Jorge, 2008); (g) estereoagudeza estática en cerca a 40 cm usando el Randot Stereotest Circle (Stereo Optical Company, Chicago, IL); y (h) se utilizó la prueba de disparidad en cercana con la unidad de Mallet para medir la disparidad de fijación lateral (Mallett, 1964). Los participantes fueron compensados con su refracción cuando era necesario, en la gafa de prueba ajustándose la distancia interpupilar y la altura de las pupilas para evitar efectos prismáticos. Después de 5 minutos de usar la corrección óptica, se evaluó nuevamente la AV y nos aseguramos de que los sujetos se sintieran cómodos con su nueva corrección antes de utilizarla durante la sesión experimental (dos niños en cada grupo requirieron una nueva corrección óptica).

*Evaluación de los movimientos oculares en la lectura*

Se utilizó el sistema de oculografía Visagraph para obtener una evaluación objetiva del patrón de movimiento ocular durante la lectura. (Taylor, 2000) Siguiendo los procedimientos descritos en el manual de usuario de Visagraph, las lecturas de comprensión fueron textos largos compuestos por una serie de frases de diferentes niveles según la edad de los niños, teniendo en cuenta su rango de longitud y legibilidad de 67 a 123 palabras y de 90.6 a 62.6, respectivamente, según la escala INFLESZ (Barrio-Cantalejo et al., 2008). Durante la tarea de lectura, el Visagraph registra los movimientos oculares a una frecuencia de 60 Hz y automáticamente calcula varias medidas de rendimiento de lectura como son: (a) la coordinación visual, la motilidad ocular y la precisión en el seguimiento; (b) desarrollo perceptivo que prueba la precisión en la discriminación visual y la automaticidad del reconocimiento de palabras; y (c) competencia de procesamiento de información que demuestra eficiencia en el uso de la memoria a corto plazo y de la experiencia del lenguaje. Los participantes se sentaron cómodamente a 40 cm del texto de lectura, este se colocó debajo de la línea de visión horizontal del sujeto y se colocó en un tablero inclinado 30°. Todas las medidas se realizaron en condiciones de iluminación fotópica constante ( $142 \pm 3$  lux, medido en el plano corneal; con medidor de iluminancia, T-10; Konica Minolta Inc., Tokio, Japón) y en una habitación aislada para evitar posibles distracciones o ruidos. Las gafas del Visagraph fueron colocadas de forma adecuada a cada niño. Cuando el niño usaba gafas (cinco en el grupo de niños con TDAH y seis en el grupo control), el Visagraph se ajustó cuidadosamente según las instrucciones del fabricante. (Taylor, 2000)

Siguiendo las instrucciones del sistema Visagraph y con el objetivo de controlar un posible error de comprensión en el nivel de lectura del participante, todos los niños realizaron una prueba de comprensión antes de comenzar la evaluación con el Visagraph para ajustar la dificultad del texto con el conocimiento del niño. Después de leer el texto correspondiente, los niños tenían que responder correctamente 7 de 10 preguntas de comprensión de verdadero/falso. Cuando no obtuvieron, al menos, siete respuestas correctas, se eligió otro texto de un nivel de comprensión más fácil y se repitió el procedimiento hasta lograr un mínimo de siete respuestas correctas. Esto



nos permitió asegurarnos de que la complejidad del texto se ajustara individualmente y que el niño estuviera leyendo atentamente el texto para comprenderlo.

El programa de análisis Visagraph proporciona directamente una amplia gama de parámetros relacionados con la lectura, como el número de fijaciones y regresiones por cada 100 palabras, los movimientos sacádicos en barrido de retorno (movimiento ocular sacádico ligeramente oblicuo que refleja el desplazamiento que hacen los ojos desde el final de una línea al comienzo de la siguiente línea de texto), la duración promedio de las fijaciones (intervalo de tiempo que el ojo se detiene o permanece fijo en una palabra) y la velocidad lectora (número de palabras leídas por minuto). El software del programa de lectura también reporta el equivalente de nivel de grado (eficiencia del movimiento ocular de lectura), que se calcula utilizando una fórmula de eficiencia relativa  $[\text{velocidad lectora} / (\text{fijaciones por } 100 \text{ palabras} + \text{regresión por } 100 \text{ palabras})]$ , y luego este valor se convierte a una puntuación equivalente al nivel de grado utilizando valores normativos proporcionados por Taylor (Taylor, 2000) entre 1 y 18. Este último valor indica si la ejecución de la tarea está por debajo del promedio para su edad o nivel de grado escolar. El software Visagraph también calcula la relación entre regresiones y fijaciones, que se define como el porcentaje del número de fijaciones por el número de regresiones realizadas. El software del programa de lectura también proporciona el número de anomalías de fijación y regresión, así como la combinación de ambas. En las anomalías de fijación, un ojo avanza para realizar correctamente la fijación y el otro no realiza un movimiento correcto, mientras que, en las anomalías de regresión, un ojo no realiza correctamente el movimiento de regresión. Además, el Visagraph proporciona las anomalías de ambos (fijación y regresión), indicando con este valor que ambos ojos se mueven en dirección opuesta. Por último, el tiempo dedicado a la lectura es la cantidad de tiempo en segundos que el niño necesita para leer el texto.

#### *Diseño experimental y análisis estadístico*

Se utilizó un diseño entre grupos para probar el patrón de movimiento de los ojos y la eficiencia en la lectura entre un grupo de niños TDAH-NM puro y un grupo control de la misma edad. El

grupo (TDAH vs. control) fue el único factor entre-sujetos, y todos los parámetros dados por el software Visagraph fueron considerados como variables dependientes.

Se utilizó la estadística bayesiana debido a sus ventajas sobre las estadísticas clásicas "frecuentistas" (Dienes, 2014). En particular, el marco bayesiano permite una determinación consistente para ver si los resultados no significativos confirman la hipótesis nula, o si los datos son simplemente insensibles según la interpretación del Bayes factor. En este estudio, se consideró la hipótesis nula y alternativa como igualmente probables debido a la falta de datos previos, y por lo tanto, se estableció una probabilidad objetiva para todos los análisis.

Se realizó un *t* test bayesiano para muestras independientes, considerando un valor predeterminado de Cauchy de  $r = 0,707$ . Para todos los parámetros utilizados se llevaron a cabo individualmente la evaluación de las diferencias entre los grupos (TDAH vs. control). Para ello, utilizamos Bayes factor 10, que considera la hipótesis alternativa frente a la hipótesis nula, y seguimos las recomendaciones dadas por Wetzels et al. (Wetzels et al., 2011) sobre las categorías de evidencia para el Bayes factor. Por lo tanto, se consideraron valores de Bayes factor 10, de 3 o más y 0.33 o menos para aceptar la hipótesis alternativa y nula, respectivamente. Los valores entre 3 y  $1/3$  se consideraron no sensibles para aceptar cualquiera de las dos hipótesis (Dienes, 2014). Cabe señalar que el estadístico bayesiano es de naturaleza comparativa y, por lo tanto, el Bayes factor 10 debe interpretarse como una razón que revela la cantidad de evidencia a favor de la hipótesis alternativa o nula (Jarosz & Wiley, 2014). Además, los tamaños de efecto (Cohen *d*) se calcularon e interpretaron como insignificantes ( $<0.2$ ), pequeños (0.2 a 0.5), moderados (0.5 a 0.8) y grandes ( $\geq 0.8$ ) según las recomendaciones de Cohen (Cohen, 1988). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de estadísticas JASP (versión 0.8.5.1; JASP Team, Amsterdam, Países Bajos).

## Resultados

En primer lugar, confirmamos que no había diferencias significativas en la edad y las medidas clínicas optométricas entre los grupos (Bayes factor  $10 < 3$  en todos los casos). Las características de los participantes y las medidas clínicas se informan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Características descriptivas y promedios clínicos optométricos para los grupos TDAH y control.

	TDAH (n=21)		Control (n=20)	
	media $\pm$ DE	media $\pm$ DE	BF <sub>10</sub>	TE (90% IC)
Edad (años)	9.3 $\pm$ 2.2	9.3 $\pm$ 2.5	0.31	0.01 (-0.50 to 0.53)
Género (% femenino)	28.6 %	50.0 %	-	-
Refracción ocular OD (EE; D)	0.35 $\pm$ 0.81	0.07 $\pm$ 0.48	0.64	0.43 (-0.09 to 0.95)
Refracción ocular OI (EE; D)	0.52 $\pm$ 1.01	0.19 $\pm$ 0.44	0.62	0.42 (-0.11 to 0.93)
AV corregida en lejos (log MAR)	-0.13 $\pm$ 0.25	-0.11 $\pm$ 0.06	0.31	-0.08 (-0.59 to 0.43)
AV corregida en cerca (log MAR)	0.01 $\pm$ 0.03	0.01 $\pm$ 0.02	0.00	-0.17 (-0.70 to 0.36)
Foria horizontal en lejos a 5m ( $\Delta$ )	0.55 $\pm$ 2.20	0.15 $\pm$ 0.46	0.39	0.25 (-0.27 to 0.76)
Foria horizontal en cerca a 0.4m ( $\Delta$ )	-1.26 $\pm$ 2.08	-0.38 $\pm$ 1.82	0.70	-0.45 (-0.97 to 0.71)
Disparidad de fijación horizontal ( $\Delta$ )	-0.10 $\pm$ 0.91	-0.10 $\pm$ 1.17	0.309	0.00 (-0.53 to 0.52)
Estereopsis (segundos de arco)	35.71 $\pm$ 21.41	34.25 $\pm$ 14.35	0.31	0.08 (-0.44 to 0.59)

Nota: TDAH = Trastorno por Deficit de Atención e Hiperactividad; DE = desviación estandar; BF<sub>10</sub> = Bayes factor 10; TE = tamaño de efecto (*d* de Cohen); IC = intervalo de confianza; OD = ojo derecho; OI = ojo izquierdo; EE = equivalente esférico, D = Dioptria; AV = agudeza visual; MAR = mínimo ángulo de resolución;  $\Delta$  = dioptrías prismáticas.

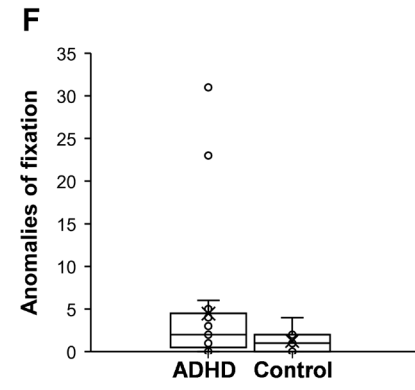
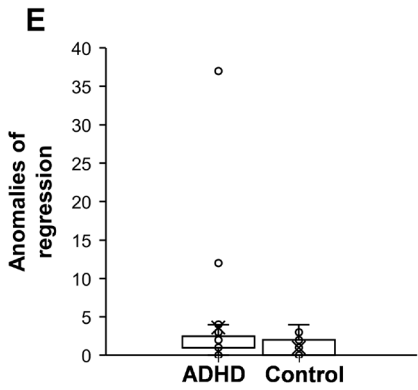
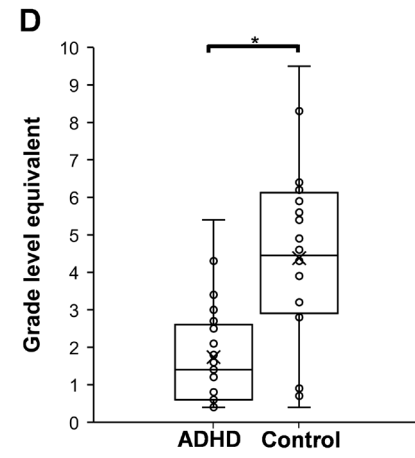
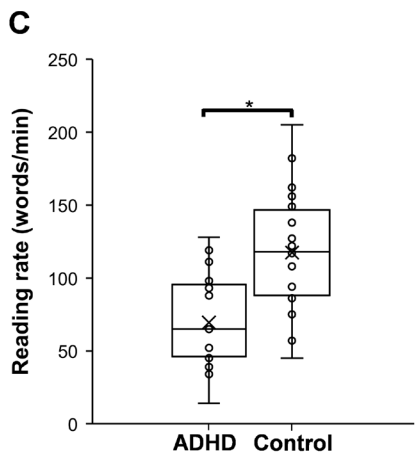
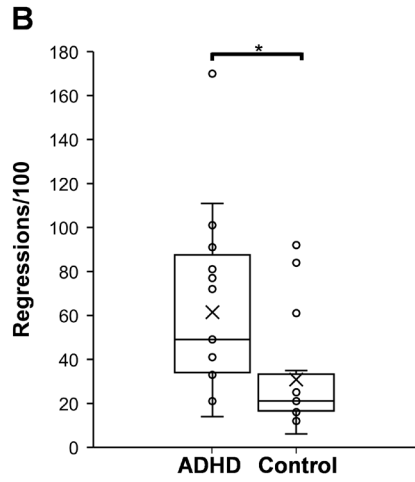
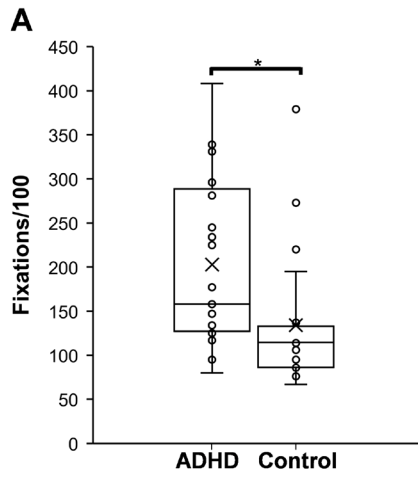
En la tabla 6 se muestran los valores descriptivos (promedio  $\pm$  desviación estándar), así como los índices estadísticos (Bayes factor 10 y *d* de Cohen) de la comparación entre grupos (TDAH vs. control). La interpretación del Bayes factor 10 nos permitió aceptar la hipótesis alternativa (cambios significativos) para el número de fijaciones y regresiones por 100 palabras, velocidad lectora, equivalente de grado, la relación entre anomalías de fijaciones y regresiones, y sacadicos en barrido de retorno (Bayes factor  $10 > 3$  en todos los casos; (ver figura 10). Por su parte, se confirmó la hipótesis nula para el porcentaje de la relación entre regresión y fijación (Bayes factor  $10 = 0.34$ ; tamaño del efecto, 0.15) y, como era de esperar, para el grado del texto, que se basa en la edad de participantes (Bayes factor  $10 = 0.32$ ; tamaño del efecto, -0.09). Los datos de la duración de la fijación, las anomalías de las fijaciones y regresiones y el porcentaje de aciertos no fueron significativos para aceptar la hipótesis nula o alternativa (Bayes factor 10 entre 0.33 y 3 en todos los casos). Por otro lado, el tiempo dedicado a la lectura en niños con TDAH

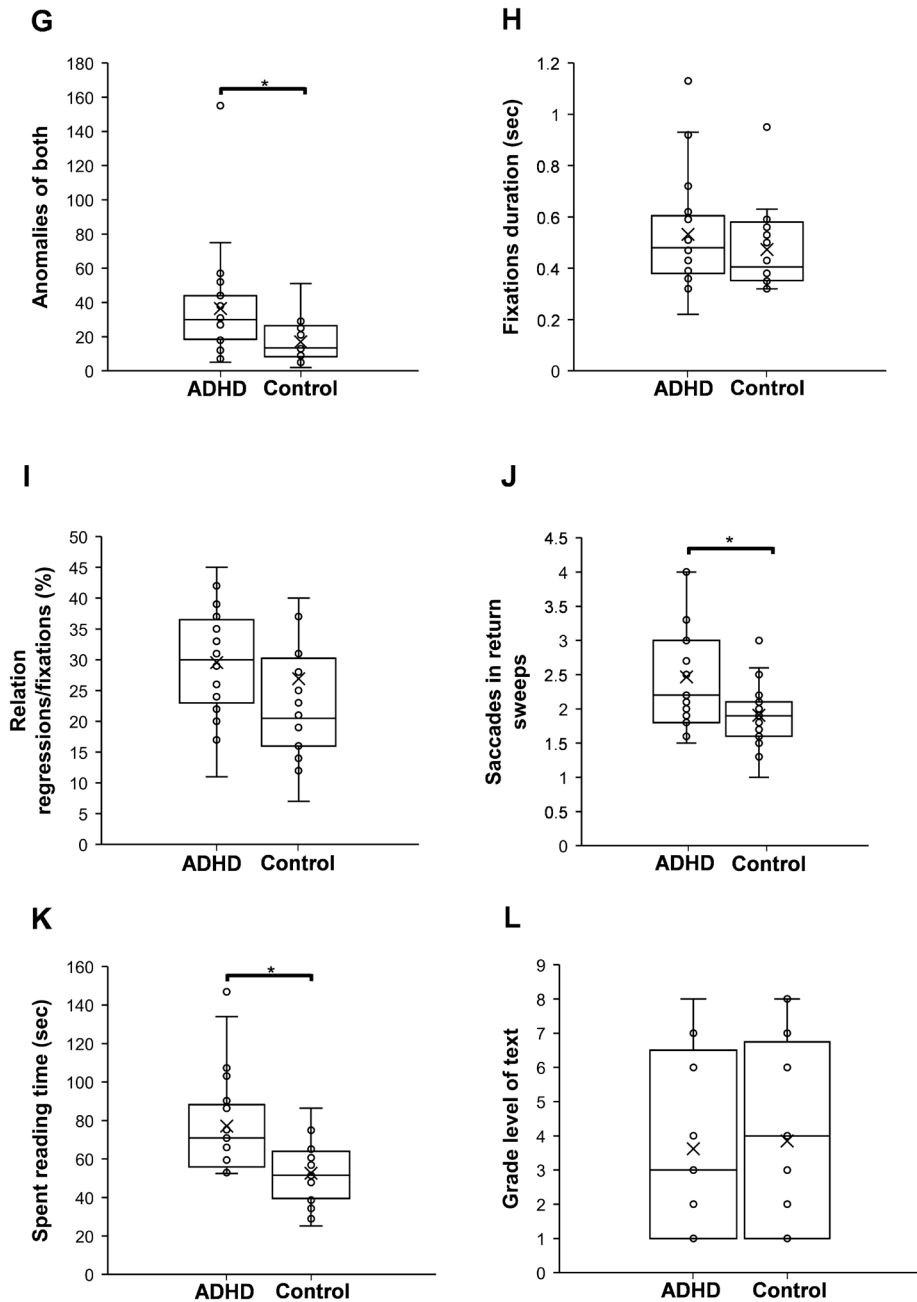
fue significativamente mayor en comparación con los niños control (Bayes factor 10 = 31.29; tamaño del efecto, 1.11).

**Tabla 6.** Valores descriptivos (promedio  $\pm$  desviación estándar) y estadísticos de los parámetros relacionados con la lectura para los grupos de TDAH y control.

Reading-related parameters	TDAH (n=21)	Control (n=20)		
	media $\pm$ SD	media $\pm$ SD	BF <sub>10</sub>	TE (90% IC)
Fijaciones/100	203 $\pm$ 96	134 $\pm$ 78	3.39*	0.78 (0.24 a 1.31)
Regresiones/100	61.48 $\pm$ 38.13	30.85 $\pm$ 24.25	9.97*	0.95 (0.40 a 1.49)
Duración de fijación (seg)	0.53 $\pm$ 0.22	0.47 $\pm$ 0.16	0.45	0.31 (-0.21 a 0.82)
Velocidad lectora (palabra/min)	69.38 $\pm$ 30.73	117.50 $\pm$ 41.89	156.74*	-1.32 (-1.88 a -0.74)
Equivalente de grado	1.74 $\pm$ 1.39	4.38 $\pm$ 2.48	168.24*	-1.32 (-1.89 a -0.75)
Relación Regresión / Fijación (%)	29.52 $\pm$ 8.66	26.90 $\pm$ 22.99	0.34	0.15 (-0.36 a 0.67)
Anomalías de fijación	4.48 $\pm$ 7.80	1.25 $\pm$ 1.07	1.14	0.57 (0.04 a 1.09)
Anomalías de regresión	3.62 $\pm$ 8.07	1.00 $\pm$ 1.34	0.69	0.45 (-0.08 a 0.97)
Anomalías de ambas	36.48 $\pm$ 32.12	17.00 $\pm$ 11.92	3.66*	0.80 (0.26 a 1.33)
Contestaciones correctas (%)	79.05 $\pm$ 23.43	81.50 $\pm$ 14.24	0.44	-0.12 (-0.64 a 0.39)
Nivel de grado del texto	3.62 $\pm$ 2.54	3.85 $\pm$ 2.66	0.32	-0.09 (-0.60 a 0.43)
Sacádicos en barrido de retorno	2.47 $\pm$ 0.77	1.91 $\pm$ 0.47	4.63*	0.88 (0.31 a 1.44)
Tiempo de lectura (seg)	77.06 $\pm$ 26.33	52.65 $\pm$ 16.11	31.29*	1.11 (0.55 a 1.66)

Nota: TDAH = trastorno por déficit de atención e hiperactividad; n = número de participantes; DE = desviación estándar; BF<sub>10</sub> = Bayesian factor 10, TE = tamaño de efecto (*d* de Cohen), IC = intervalo de confianza, seg = segundos, min = minutos. Anomalías de ambas se refiere a anomalías de fijaciones y regresiones. \* denota que se acepta la hipótesis alternativa (BF<sub>10</sub> > 3).





**Figura 10:** Diagrama de dispersión y diagrama de caja del movimiento ocular y parámetros de eficiencia de lectura para el TDAH (ADHD de su traducción al inglés) y el grupo control. (A) Número de fijaciones por 100 palabras. (B) Número de regresiones por 100 palabras. (C) velocidad lectora (número de palabras por minuto). (D) Equivalente al nivel de grado (lectura de la eficiencia del movimiento de los ojos). (E) Número de anomalías de regresión. (F) Número de anomalías de fijación. (G) Número de anomalías de fijaciones y regresiones. (H) Duración de las fijaciones. (I) Relación entre regresiones y fijación. (J) Número de movimientos sacádicos en barridos de retorno. Dedicó tiempo de lectura (K) y nivel de grado (L) del texto. \* Aceptación de la hipótesis alternativa (factor de Bayes  $10 > 3$ ). Los bigotes representan el rango intercuartílico y las líneas horizontales indican el valor mediano.

## Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo comparar el patrón de movimiento ocular durante una lectura oral entre un grupo de niños TDAH-NM puro y un grupo control de la misma edad. Nuestros datos demostraron que el sistema de registro de movimientos ocular Visagraph podría ser una buena prueba objetiva de movimientos oculares para precisar el diagnóstico del TDAH. Para los resultados primarios del Visagraph, los niños con TDAH mostraron un mayor número de fijaciones y regresiones, así como una menor velocidad lectora (palabras por minuto). Asimismo, para las medidas derivadas del software del programa de lectura, los niños con TDAH presentaron más movimientos sacádicos en barridos de retorno y anomalías de fijaciones y regresiones, así como un peor nivel de grado equivalente en comparación con el grupo control (Bayes factor  $10 > 3$  en todos los casos). Estos hallazgos muestran que los niños TDAH-NM puro presentan un patrón de movimiento ocular deficiente durante la lectura oral, que está asociado con un peor nivel de habilidad lectora.

La evaluación de los movimientos oculares puede revelar algunas señales de la fisiopatología del TDAH. Generalmente, las investigaciones sobre los movimientos oculares centran su atención en el análisis de las funciones ejecutivas del TDAH para verificar la hipótesis de que el sistema motor, controlado por el área prefrontal, está alterado en el TDAH. En particular, es conocido que las fijaciones están fuertemente relacionadas la atención ejercida en la lectura (Paulson, 2005), además, el uso de fijaciones y regresiones excesivas para el reconocimiento de palabras da como resultado una reducción de la velocidad y el rendimiento de la lectura (Krieber et al., 2016). A medida que aumenta la habilidad de lectura, el desarrollo natural de los movimientos oculares implica una disminución en el número de fijaciones y regresiones. Estas habilidades de lectura están relacionadas con la etapa de desarrollo y sus valores de lectura normativos están asociados a la edad (K Rayner, 1998). Basándose en el hecho de que la complejidad de la tarea afecta a la conducta oculomotora, ambos grupos experimentales se emparejaron por edad, y se ajustó la complejidad de la lectura a cada niño individualmente, dependiendo de su nivel de lectura. Diversos estudios han demostrado que los sujetos con TDAH presentan un comportamiento

oculomotor anormal, que se ha asociado a déficits en los mecanismos inhibidores implicados en los sacádicos y el control de las fijaciones durante tareas visuales muy simplificadas (Fried et al., 2014; Mostofsky et al., 2001; Munoz et al., 2003). De hecho, estudios psicofísicos y con imágenes apoyan la idea de que los cambios de atención suelen reflejarse en el patrón de fijación ocular (Hayhoe & Ballard, 2005). Como indica Rayner, los movimientos de atención y los movimientos sacádicos están estrechamente relacionados en tareas que requieren un procesamiento de información complejo, como es el caso de la lectura (Rayner, 1998).

En este caso particular, al comparar las habilidades lectoras de niños TDAH-NM puro y un grupo control con el mismo rango de edad, encontramos un mayor número de fijaciones y regresiones en el primer grupo, lo que indica un desarrollo de la lectura por debajo de valores normativos relacionados con la edad y un patrón de disminución de la eficiencia lectora en niños con TDAH. En este sentido, un mayor número de regresiones y fijaciones oculares se ha relacionado con la dificultad de procesamiento y comprensión lectora en la literatura científica (Clifton et al., 2016). De manera relevante, nuestros resultados parecen estar de acuerdo con estos hallazgos, ya que el número de fijaciones mostró una correlación negativa con la tasa de lectura y el equivalente al nivel de grado ( $r = -0.65$  y  $r = -0.76$ , respectivamente), el número de regresiones se asoció negativamente con la tasa de lectura y el equivalente al nivel de grado ( $r = -0.69$  y  $r = -0.75$ , respectivamente). También hubo una relación negativa del tiempo dedicado a la lectura con la tasa de lectura y el equivalente al nivel de grado ( $r = -0.53$  y  $r = -0.38$ , respectivamente). El tiempo de lectura empleado mostró una asociación positiva modesta con el número de fijaciones ( $r = 0.20$ ), las regresiones ( $r = 0.31$ ), los movimientos sacádicos en barridos de retorno ( $r = 0.50$ ) y las anomalías de fijaciones y regresiones ( $r = 0.49$ ; Bayes Factor  $10 > 3$  en todos los casos). En conjunto, los presentes hallazgos indican que una peor eficiencia de lectura está relacionada con un patrón de movimiento ocular deficiente.

Existe evidencia de una relación bidireccional entre la fluidez lectora y la comprensión, siendo una escasa fluidez lectora una gran barrera para una buena comprensión lectora (Klauda & Guthrie, 2008). Como se mencionó anteriormente, los niños con TDAH necesitaron más tiempo



que los controles para completar la tarea de lectura, lo que sugiere que los lectores lentos puede que necesiten de un esfuerzo mental mayor a la hora de la decodificación y el reconocimiento de palabras. Los recursos cognitivos son limitados para la comprensión lectora y, por lo tanto, los lectores lentos encuentran más dificultades para retener oraciones largas y complicadas (Grabe, 2009). Estudios previos que se centraron en la asociación entre el TDAH y la comprensión lectora han reportado hallazgos controvertidos (Miller et al., 2013), y la mayoría está de acuerdo en que los déficits de la memoria de trabajo, que son típicos de los niños con TDAH, están estrechamente relacionados con una comprensión lectora deficiente (Miller et al., 2013; Willcutt et al., 2010; Willcutt, Pennington, Olson, Chhabildas, & Hulslander, 2005). Si bien estaba fuera de los objetivos de este estudio, no encontramos diferencias significativas entre grupos para la comprensión lectora, ya que esta variable se utilizó simplemente para garantizar una adecuada comprensión del texto. Es de destacar que encontramos un nivel de grado equivalente más bajo en niños con TDAH en comparación con el grupo control. De hecho, el grupo control mostró una puntuación equivalente al nivel de grado que deberían tener según su edad ( $4.38 \pm 2.48$ ; nótese que, en relación con la edad promedio de ambos grupos, estaban en el grado cuatro); sin embargo, el equivalente al nivel de grado fue un 60,3% más bajo para los niños con TDAH ( $1.74 \pm 1.39$ ) en relación con el grupo control. Esto podría conducir a logros académicos considerablemente más bajos, ya que los niños en estas situaciones tienden a evitar la lectura (Sparks, Patton, & Murdoch, 2014).

Las fijaciones más prolongadas son características de los lectores menos hábiles y reflejan, por ejemplo, una menor familiaridad con el vocabulario y una incapacidad para utilizar el contexto textual (Joseph, Nation, & Liversedge, 2013). En este estudio, no se obtuvo una diferencia significativa para la duración de las fijaciones entre los grupos y, por lo tanto, podría indicar que las tasas de lectura más lentas (menos palabras por minuto) encontradas en los niños con TDAH se debieron al mayor número de fijaciones, regresiones y movimientos sacádicos en barridos de retorno, en lugar de deberse a fijaciones más largas. Se ha demostrado que la duración de la fijación está relacionada con el control de la atención y el comportamiento (Papageorgiou et al.,

2014) y los resultados similares encontrados para este parámetro en niños con TDAH y controles durante la lectura oral pueden variar con la lectura silenciosa debido a que esta modalidad (lectura silenciosa) podría ser menos atractiva y se asociaría con una lectura más rápida y una comprensión más pobre (Deans et al., 2010; Y.-S. Kim, Wagner, & Foster, 2011). En base a nuestros hallazgos, el mayor número de anomalías de fijaciones y regresiones encontradas en niños con TDAH en comparación con los controles podría explicar, en parte, las diferencias encontradas entre grupos. Además, existen otras posibles causas que conviene tener en cuenta. Por ejemplo, las anomalías de la visión binocular (ej., insuficiencia de convergencia) pueden provocar deficiencias en la lectura, aunque la terapia visual permite mejorar la vergencia y el rendimiento en la lectura (Daniel, Morize, Brémond-Gignac, & Kapoula, 2016). Se requieren estudios futuros para dilucidar la posible asociación entre las anomalías de la visión binocular y el patrón de movimiento ocular alterado en niños con TDAH, así como los efectos de la terapia visual en el comportamiento oculomotor durante la lectura y su impacto en el rendimiento académico.

La lectura requiere la integración de un número significativo de redes cerebrales, incluidos los sistemas visuomotor, de memoria y de atención (Franceschini et al., 2012). Se necesitan movimientos oculares precisos para leer que dependen en gran medida de la madurez neuronal (Goto et al., 2010). La mayoría de los estudios sobre función y anatomía cerebral han encontrado que los niños con TDAH presentan un volumen reducido de la corteza prefrontal en relación a los niños control (Krain & Castellanos, 2006), que es un área especialmente involucrada en el proceso atencional y el control del movimiento ocular (Munoz et al., 2003). Se requieren estudios futuros para dilucidar no solo la relación funcional entre la atención y el control del movimiento ocular, sino también la conexión funcional entre las cortezas frontal y occipital (área de procesamiento visual) en estos pacientes, que se ha demostrado que está alterada en el TDAH (Mazaheri et al., 2010).

*Limitaciones e investigación futura*

En este trabajo, encontramos diferencias en el patrón de movimiento ocular durante una lectura oral, entre niños TDAH-NM puro y un grupo control de la misma edad usando el sistema de registro de movimientos oculares Visagraph. Sin embargo, los resultados de este estudio deben considerarse con precaución a la luz de algunas limitaciones potenciales. La principal limitación del presente estudio es que no obtuvimos medidas básicas del movimiento ocular como fijación, prosacádicos, antisacádicos y seguimientos, lo que permitiría conocer si el patrón de movimiento ocular alterado observado en niños con TDAH puro se debe a alteraciones en los mecanismos de control del movimiento ocular o a retrasos en la adquisición de la lectura. Además, las diferencias observadas en el comportamiento de la mirada podrían explicarse por las diferencias en la habilidad lectora. La inclusión de un grupo control emparejado en nivel de lectura con el grupo de TDAH podría resultar de interés a este respecto. Otra posible limitación es que usamos oraciones y pasajes relativamente cortos para evaluar la fluidez de lectura y, por lo tanto, los predictores de fluidez podrían resultar diferentes si se usan textos más largos. Además, no realizamos un control previo sobre el nivel de vocabulario o capacidad de memoria de trabajo de cada niño, que nos permitiría obtener una conclusión sólida en parámetros como la comprensión lectora. En este estudio, utilizamos lentes de emborronamiento para descartar la presencia de hipermetropía latente en lugar de refracción ciclopléjica, hecho que también puede considerarse como una limitación de este estudio (Germanó et al., 2010). Por último, para poder controlar la atención de los niños, estos leyeron en voz alta los pasajes, hecho que pudo haber influido en la eficiencia lectora de uno o ambos grupos, ya que se ha demostrado que los niños que generalmente leen en voz alta, debido a las demandas adicionales entre ojo y voz, presentan una velocidad de lectura más lenta (Keith Rayner, Pollatsek, Ashby, & Clifton Jr, 2012), lo que podría enmascarar las diferencias en la duración de la fijación entre grupos. Se ha demostrado que la capacidad de verbalizar información visual (es decir, la nomenclatura automática rápida) es deficiente en niños con TDAH (Arnett et al., 2012; Tannock, Martinussen, & Frijters, 2000) y por lo tanto, los estudios futuros deberían considerar controlar este factor. Cabe señalar que nuestros datos no

pueden determinar definitivamente la direccionalidad causal entre un patrón de movimiento ocular alterado y el rendimiento lector en niños TDAH-NM puro. Los niños con TDAH pueden presentar un desarrollo de la lectura más lento, que se explicaría por un patrón diferente de movimientos oculares o viceversa. Estudios longitudinales futuros serían de vital importancia para determinar la asociación entre el TDAH y la baja eficiencia lectora, así como el manejo más adecuado (p. ej., medicación, neurofeedback, terapia visual, actividad física, etc.) para reducir los efectos indeseables del TDAH (ej., síntomas, deficiencias en las habilidades lectoras, bajo rendimiento académico, etc.). Es importante destacar que existe evidencia reciente sobre el efecto positivo del metilfenidato en el comportamiento del movimiento ocular en niños con TDAH, ya que su administración está relacionada con mejoras en el funcionamiento del lóbulo frontal, lo que permite una mejor consistencia de las respuestas motoras y oculomotoras (Bucci et al., 2017; Mostofsky et al., 2001). En este estudio, controlamos este efecto considerando únicamente a niños TDAH-NM. Estudios futuros deberían explorar la influencia de la medicación para el TDAH (es decir, metilfenidato) en el patrón de movimiento ocular durante la lectura en niños con TDAH puro. También, en la misma área, el neurofeedback y la actividad física se han incorporado como posibles estrategias para mitigar los síntomas y mejorar el rendimiento conductual y cognitivo del déficit de atención/hiperactividad (Verret, Guay, Berthiaume, Gardiner, & Béliveau, 2012), ya que sus posibles beneficios sobre los movimientos oculares en el TDAH siguen sin conocerse. Por último, consideramos que la evaluación del patrón de movimiento ocular durante la lectura mediante la incorporación del sistema de registro de movimientos oculares Visagraph en entornos clínicos podría ayudar en el diagnóstico del TDAH u otras afecciones neuropsicológicas (ej., la dislexia).

## **Conclusiones**

Nuestros datos indican que los niños TDAH-NM puros presentan un patrón de movimiento ocular alterado (más fijaciones, regresiones, movimientos sacádicos en barridos de retorno y anomalías

de fijaciones y regresiones) durante la lectura oral en comparación con un grupo control. En consecuencia, los niños con TDAH demostraron una peor eficiencia en la lectura y dedicaron más tiempo a completar la tarea de lectura. Los presentes hallazgos tienen impactos potenciales en la asociación entre el TDAH y el rendimiento en lectura, lo que podría tener una influencia directa en el rendimiento académico de los niños con TDAH. El sistema de registro de movimientos oculares Visagraph sería una herramienta útil para evaluar el patrón de movimiento ocular durante la lectura en la práctica clínica.

## **ESTUDIO IV: CAPTAR LA ATENCIÓN MEJORA LA ACOMODACIÓN: UN ESTUDIO EXPERIMENTAL EN NIÑOS CON TDAH UTILIZANDO EL SEGUIMIENTO DE OBJETOS MÚLTIPLES**

### **Introducción**

La atención juega un papel importante en nuestra visión, ya que actúa como un filtro de la información sensorial entrante que procesa únicamente un área específica de la escena visual (van der Heijden, 2003). Varias medidas visuales como la pupila (Corbetta et al., 1998; Fiebelkorn & Kastner, 2019; Hoffman & Subramaniam, 1995; Marandi & Gazerani, 2019; Shepherd et al., 1986) y la dinámica oculomotora (Binda et al., 2014; Daniels et al., 2012; Kang et al., 2014; Unsworth & Robison, 2016) han demostrado ser dependientes del nivel de atención. Sin embargo, existen otros índices de atención ocular como las vergencias (Solé Puig et al., 2013; Varela Casal et al., 2019) y la respuesta acomodativa (Edgar, 2007; Poltavski et al., 2012; Redondo et al., 2020a) que han llamado la atención de los investigadores en los últimos años. La mayoría de los estudios se han centrado en incorporar estos parámetros como biomarcadores de atención y desarrollar con ello sistemas adecuados para el trabajo en diferentes contextos [p ej., conducción, (Crundall & Underwood, 2011) rendimiento cognitivo, (Einhäuser, 2017; van der Wel & van Steenbergen, 2018) trabajo con ordenadores (Zargari Marandi, Madeleine, Omland, Vuillerme, & Samani, 2019)].

El TDAH es un trastorno heterogéneo del neurodesarrollo, de inicio temprano y caracterizado por niveles más altos de falta de atención, hiperactividad e impulsividad con una prevalencia estimada de aproximadamente el 5% en todo el mundo (American Psychiatric Association, 2013; Polanczyk et al., 2007). En España la prevalencia estimada de TDAH en niños y adolescentes es del 6,8% (Catalá-López et al., 2012). Hay estudios que indican que los niños con TDAH presentan una alta prevalencia de problemas visuales, sin embargo, la estimación de esta asociación es muy variable entre los distintos estudios (del 16% al 76%) (Akmatov et al., 2019; Grönlund et al.,

2007). En particular, los niños con TDAH han mostrado una capacidad reducida para cancelar movimientos sacádicos no deseados y para controlar voluntariamente su comportamiento de fijación (Fried et al., 2014; Munoz et al., 2003). Además, Sole et al. (2015) encontraron que las vergencias oculares relacionadas con la atención están escasamente presentes en niños con TDAH (Puig et al., 2015), y Redondo et al., observaron una respuesta acomodativa menos precisa en niños con TDAH en comparación con un grupo control (Redondo et al., 2018; Redondo et al., 2020b; Redondo et al., 2020).

Existe evidencia científica de que un tratamiento farmacológico con psicoestimulantes (metilfenidato) mejora los síntomas de inatención, hiperactividad e impulsividad en niños con TDAH (Greenhill, 2001; Molina-Carballo, Checa-Ros, & Muñoz-Hoyos, 2016). De hecho, la capacidad reducida para asignar la atención durante tareas de larga duración observada en los niños con TDAH se ha relacionado con un comportamiento alterado de parpadeos y micro sacádicos, anomalías estas, que se normalizan con el uso de psicoestimulantes (Fried et al., 2014). Sin embargo, hay resultados ambiguos sobre los efectos de la medicación para el TDAH en los parámetros oculares. Por ejemplo, Martin et al. en 2008, informaron que los niños con TDAH mostraban mejores resultados en AV y campo visual después de ser tratados con psicoestimulantes, (Martin et al., 2008) pero ni Grönlund et al. en 2007, al realizar una evaluación optométrica completa, ni Redondo et al. en 2020, quienes evaluaron objetivamente la precisión de la respuesta acomodativa, encontraron una mejora significativa en las medidas visuales con el uso de medicación para el TDAH (Grönlund et al., 2007; Redondo et al., 2020).

Algunos estudios han demostrado que la magnitud y variabilidad de la acomodación se puede mejorar manipulando el nivel de atención mientras se realiza una tarea con demanda acomodativa. Esto podría explicarse por la interacción entre la distancia percibida y la localización de la atención, ya que cuando los individuos asignan la atención en un plano de profundidad cercana, la percepción de la distancia de la imagen es aún más cercana y la respuesta de acomodación acompaña a este cambio de atención (Edgar, 2007; Edgar and Reeves, 1997; Redondo et al., 2020a). También existen estudios que apoyan que el uso de una tarea interesante puede aumentar

la precisión de la respuesta acomodativa (Anderson et al., 2010; Aslam et al., 2011; Gaggi and Ciman, 2016; Redondo et al., 2020; Wang et al., 2017). En un estudio reciente, manipulamos el interés de la tarea acomodativa y evaluamos la dinámica de la respuesta acomodativa en niños con TDAH, y observamos que los niños con TDAH presentaban un déficit acomodativo independientemente del estímulo presentado, sin embargo, la acomodación mejoró levemente al fijarse cuando la tarea fue más interesante (ej., una película de dibujos animados) (Redondo et al., 2020). Es plausible que los estímulos elegidos no fueran suficientes para mejorar la asignación de la atención y, por lo tanto, puede ser necesaria una tarea acomodativa con mayores demandas de atención para inducir cambios significativos en la dinámica de la respuesta acomodativa.

Para abordar las limitaciones encontradas en la literatura científica, el objetivo principal de este estudio fue examinar la dinámica de la respuesta acomodativa y el tamaño de la pupila en niños con TDAH mientras realizaban una tarea de atención exigente, específicamente con una tarea de rastreo de objetos múltiples ([MOT] del inglés “multiple objects tracking”), con diferentes niveles de complejidad. Esta tarea se ha utilizado como un indicador objetivo de las habilidades perceptivo-cognitivas (Faubert & Sidebottom, 2012; Harenberg et al., 2016; Legault, Allard, & Faubert, 2013), y requiere mantener la atención de varios objetos a la vez mientras estos se mueven en un entorno distractor a lo largo de un periodo de tiempo (Pylyshyn & Storm, 1988). Además, nuestro objetivo también fue determinar el papel mediador de la medicación en el TDAH (en nuestro caso, metilfenidato) sobre estos efectos. Con base en la evidencia acumulada, planteamos la hipótesis de que captar la atención con la tarea MOT permitiría mejorar la dinámica de acomodación y pupila en niños con TDAH (Redondo et al., 2020a). Sin embargo, debido a los resultados contradictorios encontrados sobre la influencia de la medicación en sujetos con TDAH en las medidas visuales (Fried et al., 2014; Grönlund et al., 2007; Martin et al., 2008; Redondo et al., 2020), no podemos formular ninguna hipótesis al respecto.



## Métodos

### *Participantes*

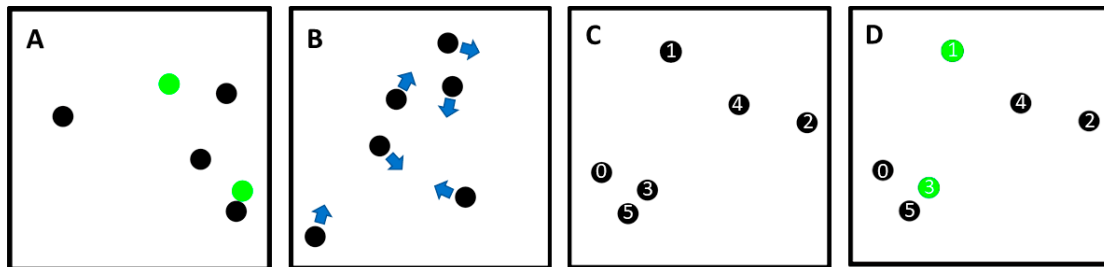
Se realizó un análisis a priori de poder para determinar el tamaño de muestra mínimo requerido para este estudio, utilizando para ello el software G\* Power 3.1 (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007). Este cálculo se basó en un diseño de medidas repetidas con factores entre e intra-sujetos, y asumiendo un tamaño del efecto de 0,20, un alfa de 0,05 y una potencia de 0,80 a 0,90. Con ello, se proyectó un tamaño de muestra requerido que variaba de 45 a 57 sujetos (de 15 a 19 niños por grupo). En este punto, un total de sesenta y ocho niños, de entre 6 y 14 años, fueron reclutados para participar en este estudio y que se dividieron en tres grupos diferentes [27 niños con TDAH-NM, 18 niños con TDAH-M y 23 niños control]. Los TDAH fueron evaluados y diagnosticados por la Unidad de Neuropediatría, Neuropsicología e Intervención Temprana del Hospital Universitario Clínico San Cecilio (Granada, España). Se realizó una evaluación neuropsicológica completa siguiendo un procedimiento estándar, y el diagnóstico de TDAH se basó en el DSM-V (American Psychiatric Association, 2013). Los niños del grupo TDAH-NM fueron diagnosticados de TDAH por su neuropediatra y no se les recetó ningún medicamento en el momento del examen, mientras que los niños del grupo TDAH-M fueron diagnosticados y medicados durante al menos un año. Los niños con TDAH fueron tratados con clorhidrato de metilfenidato y el tratamiento consistió en una dosis inicial de 0,5 mg / kg / día, que se ajustó en función de la tolerancia o respuesta al tratamiento, hasta un máximo de 1,2 mg / kg / día. Los niños control fueron reclutados de diferentes escuelas locales y fueron sometidos a un examen de salud para confirmar la ausencia de cualquier trastorno sistémico o mental. Todos los participantes fueron evaluados de acuerdo con los siguientes criterios de inclusión: (i) rango de edad  $\geq 6$  años y  $\leq 14$  años, (ii) AV corregida en cada ojo  $\leq 0,10$  logMAR en lejos (6 m) y cerca (40 cm), (iii) no presentar estrabismo y/o ambliopía, (iv) error refractivo no corregido (ya sea en pacientes que no usan corrección o en aquellos que usan correcciones refractivas inexactas), según lo determinado por refracción subjetiva, menor a  $\pm 1$ D de equivalente esférico, 0.50 D de miopía, 1D de hipermetropía, 1D de astigmatismo y 1D de anisometropía, (v) sin antecedentes de enfermedad

ocular o cirugía, y (vi) coeficiente de inteligencia  $> 85$ , según la Escala de inteligencia de Wechsler para niños (WISC-IV, 4a edición) (Wechsler, 2005). Ante esto, seis niños fueron excluidos por no cumplir con los criterios de inclusión, resultando una muestra experimental final de 24 TDAH-NM, 17 TDAH-M y 21 niños control (edad media  $\pm$  desviación estándar =  $9.7 \pm 2.6$ ;  $11.1 \pm 2.1$ ; y  $9.9 \pm 2.1$  años, respectivamente). Todos los padres o tutores recibieron instrucciones detalladas sobre el experimento y firmaron un consentimiento informado. El protocolo siguió los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada (546 / CEIH / 2018).

#### *Tarea de seguimiento de varios objetos (MOT)*

Los estímulos se generaron utilizando el software PsychoPy2 (V.1.85.4) en Python 3.6.3 (Peirce, 2008) y se presentaron en un televisor con pantalla LCD calibrada de 15,6 pulgadas B15A-PH (Oki Electric Industry Co., Ltd. Tokio, Japón). Los participantes se sentaron a 50 cm de la pantalla y los movimientos de la cabeza se redujeron al mínimo mediante el uso de una mentonera y un reposacabezas. La tarea MOT (de su traducción en inglés “Multiple objects tracking”) se usa comúnmente en entornos de laboratorio para evaluar la capacidad visuo-cognitiva de rastrear múltiples objetos en movimiento, lo que requiere una capacidad suficiente para separar o dividir la atención (Alvarez & Franconeri, 2007; Cavanagh & Alvarez, 2005). En este estudio, la tarea MOT consistió en seis círculos sólidos del mismo color (color negro: RGB 0, 0, 0) y tamaño (diámetro = 0,8 cm), dentro de un cuadrado blanco sólido (RGB 255, 255, 255) de 10 cm x 10 cm. Seguidamente, según la complejidad de la tarea, tres, dos, uno o ninguno de los círculos se volvió verdes (RGB 0, 255, 0) durante 3 segundos, para que los participantes pudieran localizarlos (estos serían los objetivos). Se instruyó a los niños para que rastrearan los objetivos, y el número de objetivos se modificó al azar para manipular la complejidad de la tarea. Después de este tiempo, los objetivos volvieron al color negro del principio y comenzaron a moverse siguiendo una trayectoria lineal aleatoria dentro del cuadrado y a una velocidad constante de 3 cm/s durante 30 segundos. Cuando los círculos chocaban contra ellos o contra las paredes del cuadrado, estos cambiaban de dirección. Después de 30 segundos, todos los círculos se congelaban y se

identificaban con un número que iba del 0 al 5, en este punto, el participante tenía que identificar los círculos objetivos (ver figura 11). Los niños tenían que identificar correctamente todos los objetivos para considerar la respuesta como correcta.



**Figura 11.** Ilustración del seguimiento de objetos múltiples (MOT). Panel A, los círculos objetivo que se deben rastrear (dos en este ejemplo) se resaltan en color verde durante 3 segundos. Panel B, los círculos objetivo vuelven al color de inicio (negro), y todos los círculos comienzan a moverse siguiendo una trayectoria lineal aleatoria durante 30 segundos. Panel C, todos los círculos se detienen y se identifican con un número que va del 0 al 5. En este punto, se pide a los participantes que identifiquen los círculos objetivo. Panel D, los objetivos vuelven a presentarse en color verde para comprobar la respuesta de los participantes.

#### *Autorefractómetro Grand Seiko WAM-5500*

Tanto la acomodación, como el tamaño de la pupila fue medida dinámicamente a lo largo de toda la tarea MOT (30 segundos) con el autorefractómetro de campo abierto WAM-5500 (Grand Seiko, Hiroshima, Japón). Este instrumento ha sido validado clínicamente y es capaz de registrar la medida de la acomodación y de la respuesta de la pupila a una resolución temporal de  $\sim 5$  Hz (Sheppard & Davies, 2010). Primero, se obtuvo la medida de refracción estática monocular mientras los participantes se fijaban en un objetivo estático situado a 5 m para determinar un valor de refracción de referencia. Posteriormente, se midió la dinámica de la respuesta acomodativa y el tamaño de la pupila mientras se realizaba la tarea MOT, que se colocó a 50 cm del observador. Todas las mediciones se tomaron en condiciones binoculares y medidas desde el ojo dominante (determinado por el método del agujero en la tarjeta) (Momeni-Moghaddam, McAlinden, Azimi, Sobhani, & Skiadaresi, 2014). Para evitar posibles errores de parpadeo o registro, y siguiendo estudios previos, se localizaron y descartaron puntos de datos de  $\pm 3$  desviaciones estándar

(Tosha, Borsting, Ridder, & Chase, 2009). El retraso acomodativo se obtuvo en dioptrías restando el valor de las medidas dinámicas y el error refractivo residual obtenido de la demanda acomodativa determinada por la distancia del objetivo (2D) (Poltavski et al., 2012). Cuando los participantes usaban gafas, el retraso acomodativo se calculó asumiendo una distancia de vértice de 12 mm y siguiendo la ecuación propuesta por Atchison (Atchison & Varnas, 2017). La desviación estándar del registro continuado de la acomodación se utilizó para determinar la variabilidad de la respuesta acomodativa.

### *Procedimiento*

Primeramente, los padres o tutores legales leyeron y firmaron el consentimiento informado, y luego, un optometrista experimentado realizó el examen optométrico, que consistía en la valoración de la AV monocular y binocular tanto en lejos como en cerca, una refracción subjetiva no ciclopléjica (con criterio de máximo positivo con mejor AV), observar la presencia de estrabismo por medio del covert test, la presencia de supresión o diplopía con las luces de Worth tanto en lejos como en cerca y un examen de fondo de ojo con un oftalmoscopio directo. Tras ello, se midió la refracción o en su caso, la sobrefracción estática monocular objetiva de ambos ojos usando el WAM-5500. Esta medida determinó el valor de refracción de referencia que se utilizó para el posterior análisis de datos. Antes de realizar la tarea MOT, todos los niños recibieron las mismas instrucciones y realizaron una prueba de muestra para asegurarse de que se había entendido la tarea. Después de colocar correctamente al niño en el instrumento, se comenzó la prueba. Los datos de acomodación y pupila se registraron continuamente mientras los niños realizaban la tarea MOT. Este procedimiento se repitió cuatro veces, una para cada nivel de complejidad (seguimientos con cero, uno, dos o tres objetivos), en orden aleatorio, y se registró su respuesta. Para la condición de "cero objetivos", se pidió a los niños que mantuvieran enfocados los círculos en movimiento, ya que no se presentaba ningún objetivo. Todas las tareas se llevaron a cabo bajo una iluminación constante de  $\sim 150$  lx, medida en el plano corneal con un medidor de iluminancia (T-10, Konica Minolta, Inc., Tokio, Japón).

*Diseño experimental y análisis estadístico*

En este estudio se siguió un diseño factorial mixto (3 x 4). En primer lugar, la prueba de Shapiro-Wilk confirmó la distribución normal de los datos y la prueba de Levene confirmó su homogeneidad ( $p > 0,05$  en todos los casos). Las posibles diferencias en la edad, el error refractivo no corregido y la AV se analizaron con un ANOVA unifactorial utilizando el grupo como único factor entre participantes. Para los análisis principales, consideramos al grupo (TDAH-NM, TDAH-M y control) como el único factor entre-participantes y la complejidad MOT (seguimiento de cero, uno, dos o tres objetivos) como el único factor intra-participantes. Las variables dependientes fueron la magnitud de la acomodación (retraso o adelanto) y el tamaño de la pupila, sus respectivas variabilidades y el rendimiento MOT. El rendimiento de la tarea MOT se evaluó mediante una prueba de chi-cuadrado. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el paquete de estadísticas JASP (versión 0.13.1.0), y la significancia estadística se estableció en 0.05. Las pruebas post-hoc se corrigieron con el procedimiento de Holm-Bonferroni.

**Resultados**

En primer lugar, tres ANOVAs unifactoriales separadas mostraron que no había diferencias estadísticamente significativas en la edad, el error de refracción no corregido y la AV binocular entre los grupos ( $F_{2,59} = 2.098, p = 0.132$ ;  $F_{2,59} = 1.691, p = 0.193$ ; y  $F_{2,59} = 1.425, p = 0.249$ , respectivamente). Los valores descriptivos (promedio y desviación estándar) para las medidas de la dinámica de la respuesta acomodativa y el tamaño de la pupila en cada uno de los cuatro niveles de complejidad de la tarea MOT se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Valores descriptivos (media  $\pm$  desviación estándar) de las variables visuales para todos los grupos y condiciones MOT.

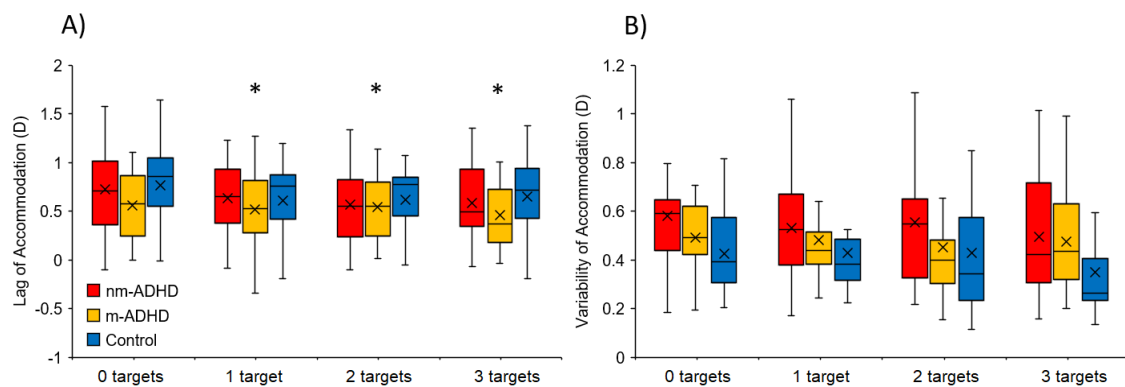
	MOT complejidad	nmTDAH (n= 24)	mTDAH (n = 17)	Control (n = 21)
Retraso acomodativo (D)	Cero objetivos	0.73 $\pm$ 0.45	0.56 $\pm$ 0.33	0.76 $\pm$ 0.45
	Un objetivo	0.64 $\pm$ 0.35	0.52 $\pm$ 0.42	0.61 $\pm$ 0.38
	Dos objetivos	0.57 $\pm$ 0.39	0.54 $\pm$ 0.33	0.62 $\pm$ 0.44
	Tres objetivos	0.58 $\pm$ 0.38	0.46 $\pm$ 0.33	0.65 $\pm$ 0.45
Variabilidad acomodativa (D)	Cero objetivos	0.58 $\pm$ 0.23	0.49 $\pm$ 0.15	0.43 $\pm$ 0.17
	Un objetivo	0.53 $\pm$ 0.21	0.48 $\pm$ 0.18	0.43 $\pm$ 0.18
	Dos objetivos	0.56 $\pm$ 0.28	0.45 $\pm$ 0.27	0.43 $\pm$ 0.28
	Tres objetivos	0.50 $\pm$ 0.25	0.48 $\pm$ 0.22	0.35 $\pm$ 0.18
Tamaño de pupila (mm)	Cero objetivos	5.35 $\pm$ 0.84	5.36 $\pm$ 0.87	5.56 $\pm$ 0.51
	Un objetivo	5.50 $\pm$ 0.91	5.40 $\pm$ 0.93	5.66 $\pm$ 0.62
	Dos objetivos	5.50 $\pm$ 0.91	5.58 $\pm$ 0.90	5.82 $\pm$ 0.60
	Tres objetivos	5.73 $\pm$ 0.90	5.68 $\pm$ 0.90	6.00 $\pm$ 0.60
Variabilidad tamaño de Pupila (mm)	Cero objetivos	2.24 $\pm$ 0.55	2.08 $\pm$ 0.74	1.91 $\pm$ 0.74
	Un objetivo	2.43 $\pm$ 0.58	2.03 $\pm$ 0.77	2.18 $\pm$ 0.70
	Dos objetivos	2.22 $\pm$ 0.87	1.93 $\pm$ 0.91	1.95 $\pm$ 0.78
	Tres objetivos	2.14 $\pm$ 0.82	2.09 $\pm$ 0.82	2.05 $\pm$ 0.78

nmTDAH = Trastorno por déficit de atención e hiperactividad no medicado ; mTDAH = Trastorno por déficit de atención e hiperactividad medicado; MOT = Tarea de seguimiento de varios objetos (de su traducción al inglés "multiple object tracking"; D = dioptrías; mm = milímetros.

El análisis del retraso acomodativo mostró un efecto estadísticamente significativo para el nivel de complejidad ( $F_{3,177} = 7.200$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.105$ ). Sin embargo, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre grupos ( $F_{6,177} = 0.689$ ,  $p = 0.506$ ) o en la interacción "complejidad de la tarea  $\times$  grupo" ( $F_{6,177} = 1.150$ ,  $p = 0.336$ ). Los análisis post-hoc mostraron mayores retrasos de acomodación para la condición de "cero objetivos" en comparación con los otros tres niveles de complejidad (un objetivo:  $p$  corregido = 0.014,  $d = 0.385$ ; dos objetivos:  $p$  corregido  $< 0.001$ ,  $d = 0.535$ ; y tres objetivos:  $p$  corregido = 0.003,  $d = 0.458$ ) (Figura 12, panel A).

En cuanto a la variabilidad de la acomodación, se encontró un efecto estadísticamente significativo para el grupo ( $F_{2,59} = 3.757$ ,  $p = 0.029$ ,  $\eta^2 = 0.113$ ), pero no se obtuvieron diferencias

estadísticamente significativas para el nivel de complejidad ( $F_{3,177} = 1.205$ ,  $p = 0.309$ ) ni la interacción “nivel de complejidad  $\times$  grupo” ( $F_{6,177} = 0.410$ ,  $p = 0.872$ ). Las pruebas post-hoc mostraron una mayor variabilidad de acomodación para el grupo TDAH-NM en comparación con el grupo control ( $p$  corregido = 0.024,  $d = 0.348$ ), mientras que no se obtuvieron diferencias para las comparaciones entre TDAH-NM y TDAH-M ( $p$  corregido = 0.411,  $d = 0.161$ ) y TDAH-M frente al control ( $p$  corregido = 0.411,  $d = 0.163$ ) (Figura 12, panel B).



**Figura 12.** Retraso acomodativo (panel A), variabilidad de la respuesta acomodativa (panel B) para cada grupo (niños no medicados con TDAH [nmADHD], niños medicados con TDAH [mADHD] y control) mientras se realizan las diferentes tareas MOT de complejidad (sin seguimiento o cero objetivos, seguimiento de un objetivo, dos objetivos y tres objetivos). \* Denota diferencias estadísticamente significativas con la condición de "cero objetivos" (valor de  $p$  corregido  $< 0,05$ ). Las barras de error representan el intervalo de confianza del 95%.

El análisis del tamaño de la pupila presentó diferencias estadísticamente significativas para el nivel de complejidad ( $F_{3,177} = 20.428$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.254$ ), pero no se alcanzaron diferencias en el efecto principal al compararlo entre grupos ( $F_{2,59} = 0.708$ ,  $p = 0.497$ ) y la interacción “nivel de complejidad  $\times$  grupo” ( $F_{6,177} = 0,537$ ,  $p = 0,779$ ). Las pruebas post-hoc mostraron un aumento en el tamaño de la pupila en función de la complejidad MOT, con mayor tamaño de pupila en la condición de tres objetivos en comparación con las condiciones de dos objetivos ( $p$  corregido = 0.007,  $d = 0.406$ ), un objetivo ( $p$  corregido  $< 0.001$ ,  $d = 0.907$ ) y cero objetivos ( $p$  corregido  $<$

0.001,  $d = 0.965$ ), así como para las comparaciones entre dos objetivos y cero objetivos ( $p$  corregido = 0.001,  $d = 0.492$ ) y un objetivo frente a cero objetivos ( $p$  corregido = 0.050,  $d = 0.292$ ) (ver tabla 7). La variabilidad de la pupila no alcanzó significación estadística para los efectos principales de la complejidad del grupo y la tarea ( $F_{2,59} = 1.059$ ,  $p = 0.353$  y  $F_{2,59} = 1.246$ ,  $p = 0.295$ , respectivamente), así como para su interacción ( $F_{2,59} = 0,607$ ,  $p = 0,724$ ).

Por último, se utilizó una prueba de chi-cuadrado para analizar el desempeño de la tarea. El porcentaje medio de errores se asoció positivamente con la complejidad de la tarea ( $\chi^2 = 47.034$ ,  $p < 0,001$ ), con un 5.1%, 30.5% y 64.4% de errores cuando se siguieron uno, dos y tres objetivos, respectivamente. Con respecto al grupo, no hubo diferencias estadísticamente significativas para el efecto principal del grupo ( $\chi^2 = 5.026$ ,  $p = 0.081$ ).

## Discusión

El presente estudio fue diseñado para explorar la influencia del nivel de atención en la respuesta acomodativa dinámica, dentro de una población de niños con TDAH. Para captar la atención, utilizamos una tarea MOT con cuatro niveles de complejidad. Nuestros resultados muestran que aumentar el nivel de atención se asocia con una mejora en la magnitud de la acomodación (menor retraso acomodativo) en niños con TDAH y en niños sanos. Con respecto a la variabilidad acomodativa, los niños con TDAH-NMs exhibieron una mayor inestabilidad de acomodación que los niños del grupo control, independientemente de la manipulación atencional. Estos hallazgos apoyan la idea de que los niños con TDAH, ya sea que estén tomando medicación o no, presentan un retraso acomodativo similar al de los niños de un grupo control, cuando se capta su atención (Grönlund et al., 2007; Laasonen et al., 2012; Redondo et al., 2020). Los resultados de este estudio pueden ser de especial relevancia para el diagnóstico de disfunciones visuales en niños con TDAH, ya que el empeoramiento de la atención en este trastorno podría llevar a un diagnóstico erróneo.



En cuanto a la manipulación atencional, encontramos un aumento en el número de errores en función de la complejidad de la tarea. Se contrabalanceó el orden de los cuatro niveles de complejidad para controlar los posibles efectos de aprendizaje o fatiga. Un estudio reciente en una muestra de adultos jóvenes encontró que no hubo diferencias estadísticamente significativas en el desempeño de MOT al realizar esta tarea en dos días diferentes (Harris, Wilson, Crowe, & Vine, 2020), y por lo tanto, es de esperar que estos hallazgos sean repetibles en nuestro estudio. Además, el tamaño de la pupila se ha propuesto como medida fiable para evaluar con precisión la carga atencional en una tarea de seguimiento de objetos múltiples (Wahn, Ferris, Hairston, & König, 2016), y nuestros resultados coinciden con este hallazgo. Basándose en el rendimiento en la tarea y en los cambios pupilares, la manipulación experimental parece ser apropiada para los propósitos de este estudio. Dado que existe una relación entre la dinámica de la pupila y la acomodación, es razonable pensar que los cambios en el tamaño de la pupila pueden afectar la precisión de la respuesta acomodativa, así, tamaños de pupila más grandes, como los observados, implicarían profundidades de foco más pequeñas y por tanto, la dinámica de acomodación se vería afectada (B. Wang & Ciuffreda, 2006). Sin embargo, un estudio previo ha demostrado que la respuesta acomodativa se ve afectada cuando el tamaño de la pupila es menor de 3 mm (Ward & Charman, 1985), lo que no es aplicable en nuestro estudio.

Estudios recientes han encontrado que los niños con TDAH presentan un retraso acomodativo mayor de aproximadamente 0.25 - 0.5 D en comparación con niños de un grupo control, diferencia que se ve acentuada en distancias más cercanas (Redondo et al., 2018; Redondo et al., 2020). Aquí, el retraso acomodativo no difirió significativamente entre los grupos de TDAH-NM, TDAH-M y control cuando se evaluó a 50 cm, aunque sí dependió de la demanda atencional. En este sentido, Redondo et al., 2020 exploraron si el retraso acomodativo estaba influenciado por el estímulo acomodativo (cruz de Malta, imagen no animada y película de dibujos animados) en niños con TDAH, con el objetivo de manipular el nivel de compromiso atencional durante la tarea. Contrariamente a nuestros hallazgos, observaron que el retraso acomodativo era mayor para el grupo de TDAH, independientemente de los estímulos usados, y las comparaciones post-hoc

mostraron diferencias sutiles (no estadísticamente significativas) entre los grupos en la condición más atractiva (es decir, en la película de dibujos animados). Estas discrepancias entre ambas investigaciones pueden explicarse por las diferentes distancias de acomodación utilizadas en ambos estudios (Redondo et al., 2018). Específicamente, Redondo et al. (2020) midieron la acomodación a 20 cm (Redondo et al., 2020a), mientras que en el estudio actual la medida fue a 50 cm. Además, la forma de manipular la carga atencional fue diferente. En este estudio, encontramos un efecto de la manipulación de la carga de atención sobre el tamaño de la pupila, que se ha sugerido como un marcador válido de carga atencional (Alnæs et al., 2014; Wahn et al., 2016) mientras que el tamaño de la pupila no fue sensible a la manipulación atencional en el estudio de Redondo y colaboradores. En base a esto, podemos afirmar que captar la atención con una tarea MOT realizada a 50 cm normaliza la respuesta acomodativa en niños con TDAH y, recomendamos que en clínica se incorporen test cognitivos activos, como es el caso del MOT, a la hora de evaluar la acomodación en los niños con TDAH. De esta forma se asegura que el niño realice la evaluación acomodativa de la mejor manera posible que pueda y así evitar un diagnóstico incorrecto de déficit acomodativo.

La acomodación del ojo no es estable a lo largo del tiempo cuando se enfoca un test estático, sino que muestra pequeñas fluctuaciones de aproximadamente 0.5D, lo que se conoce como variabilidad acomodativa (Charman & Heron, 2015). Estas fluctuaciones permiten mantener una acomodación precisa al obtener claves direccionales según sea la respuesta dinámica, y de hecho, se han propuesto como una medida objetiva para determinar los cambios en los niveles de atención y fatiga visual (Redondo, Vera, Molina, Davies, et al., 2020; Redondo, Vera, Molina, García, et al., 2020; Thiagarajan & Ciuffreda, 2013). En el presente estudio, la variabilidad acomodativa fue menor en el grupo control en comparación con los grupos TDAH-NM y TDAH-M, mostrando también en todos los grupos una mayor estabilidad para condiciones más exigentes de atención. Un estudio reciente ha demostrado que la variabilidad de la acomodación disminuyó cuando los participantes eran conscientes del proceso acomodativo, y mantenían en todo momento sus demandas atencionales sobre el estímulo acomodativo. (Redondo et al., 2020a). Roberts et

al., en 2018, también encontraron que los niños tienen una mayor estabilidad de acomodación para las tareas activas de visualización en comparación con las tareas pasivas (Roberts, Manny, Benoit, & Anderson, 2018). De manera similar, Redondo et al., en 2020 mostraron que los niños con TDAH y los niños control exhibieron una menor variabilidad de acomodación cuando se presentó un test interesante (una película de dibujos animados) en comparación con un test estático (una imagen tomada de la película de dibujos animados). De acuerdo con estudios previos, nuestros resultados evidencian que la variabilidad de la acomodación depende del grupo, puesto que se observó una mayor inestabilidad en los niños con déficit inherente de atención. Sin embargo, aunque la manipulación experimental pudo influir en el rendimiento en la tarea y el diámetro pupilar, y en estudios previos se ha demostrado que la variabilidad de la acomodación es sensible al compromiso atencional en estímulos de cerca (Redondo et al., 2020), esta variabilidad no varió con la complejidad en la tarea MOT.

Se ha especulado que el metilfenidato puede tener algunos efectos secundarios sobre la función visual en sujetos con TDAH (p. ej., midriasis y déficit de acomodación) debido a la acción estimulante que produce en el sistema nervioso central, aunque su incidencia ha demostrado ser ambigua (Jaanus, 1992; Larrañaga-Fragoso et al., 2015). Además, Fried et al., en 2014 sugirieron que este psicoestimulante permite normalizar el control oculomotor alterado en sujetos con TDAH, ya que este incide en un mecanismo específico responsable de la localización transitoria de la atención (Fried et al., 2014). Contrariamente a este hallazgo, aquí no encontramos ningún efecto significativo de la medicación sobre la magnitud de la respuesta acomodativa en el grupo de niños TDAH-Ms al realizar una tarea exigente de atención. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no se observó ningún déficit acomodativo en el grupo TDAH-NM y que, por lo tanto, la demanda de atención de la tarea MOT fue suficiente para prestar atención a los estímulos. Además, la asociación de la medicación del TDAH con la función acomodativa debe interpretarse de acuerdo con los estímulos visuales presentados.

Estudios previos han observado que los niños con TDAH presentan una respuesta acomodativa deficiente, pero nuestro estudio demuestra que la respuesta acomodativa de esta población se

restablece a niveles acomodativos normales cuando se realiza una tarea con gran exigencia de atención (ej., una tarea MOT). Por lo tanto, este conjunto de resultados sugieren que los déficits de acomodación que presentan los niños con TDAH, como se demostró en estudios previos (Redondo et al., 2020b; Redondo et al., 2020; Redondo et al., 2018) podrían minimizarse utilizando estímulos visuales con altos requerimientos de atención. Nuestro estudio incorpora conocimientos novedosos sobre la asociación entre la capacidad de atención y la dinámica de la respuesta acomodativa, sin embargo, algunos factores pueden considerarse como una limitación potencial y deben ser conocidos. Primero, nuestra investigación se realizó con un máximo de tres objetivos de seguimiento y sin modificar la velocidad de los círculos, por lo que los resultados actuales pueden diferir al aumentar el número de objetivos o cambiar la velocidad (Dørum et al., 2016; Pylyshyn, 2006). En segundo lugar, en el diagnóstico de TDAH no se diferenció entre los diferentes subtipos de TDAH (predominio de falta de atención, predominio de hiperactividad-impulsividad o una combinación de ambas), y la presencia de otras comorbilidades puede influir en la atención, y en los resultados obtenidos sobre ciertos parámetros visuales (T. E. Brown, 2009). Futuros estudios deberían evaluar por separado cada uno de los tres subtipos de TDAH y el posible papel mediador de las comorbilidades. En tercer lugar, existen mecanismos neuronales compartidos entre la atención y la acomodación ocular, pero este estudio no permite conocer el mecanismo cerebral específico involucrado en esta asociación. En cuarto lugar, existen aspectos de la dinámica de acomodación y desacomodación (latencia, velocidad, etc.) que son sensibles al estado atencional y que la resolución temporal del instrumento no los permite determinar. Se necesitan de estudios que usen instrumentos con resoluciones temporales de medida más altas que las usadas aquí. Por último, nuestros resultados confirman que la manipulación del estado atencional permite modificar la dinámica de la respuesta acomodativa, y este hecho debe tenerse en cuenta a la hora de realizar un examen optométrico, especialmente en poblaciones pediátricas y neurológicas, ya que mantener un nivel suficiente de atención permitiría lograr un diagnóstico más preciso (Scheiman & Wick, 2008). Además, el vínculo entre el estado atencional y el funcionamiento acomodativo podría ser relevante para el diseño de programas de terapia visual, prevención y cuidado de la astenopia.

## **Conclusiones**

El presente estudio muestra que la precisión de la respuesta acomodativa se asocia positivamente con el requerimiento atencional en niños con TDAH (no medicados y medicados) y grupo control. Ponemos de manifiesto que captar la atención manipulando la complejidad de una tarea MOT, mejora la acomodación. Aunque los niños con TDAH exhibieron una mayor inestabilidad acomodativa en comparación con los niños del grupo control, independientemente de la carga de atención, estas diferencias se atenuaron en los niños TDAH-M. En conjunto, los resultados de este estudio indican que la dinámica de la respuesta acomodativa está estrechamente vinculada al tipo de atención en poblaciones clínicas y sanas, lo que sería de relevancia para la interpretación de estos datos en entornos clínicos y de investigación.

## **CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN**

## DISCUSIÓN

### Resumen de principales hallazgos

La presente Tesis Doctoral tuvo como principal objetivo el estudio de la función visual en una población infantil diagnosticada de TDAH considerando diversos factores como la medicación o las posibles comorbilidades, así como su influencia en ciertas habilidades visuo-perceptivas que intervienen en tareas que requieren demandas atencionales y cognitivas. En este sentido, nuestros resultados aportan evidencia científica de que los niños con TDAH presentan un déficit en la transferencia de los canales visuo-sensoriales y visuo-cognitivos, acentuándose estos últimos, con la presencia de comorbilidad. Además, se ha observado que, aunque los niños con TDAH parecen tener sintomatología compatible con insuficiencia de convergencia, no presentan signos clínicos característicos de esta anomalía binocular. Tampoco se encontraron diferencias clínicas entre los parámetros que caracterizan las habilidades binoculares en comparación con la población control cuando estas se evaluaron por procedimientos subjetivos. Sin embargo, tras analizar el sistema oculomotor con métodos objetivos, como es el sistema de registro de movimiento ocular Visagraph durante una tarea de lectura, se observa una alteración en el patrón de movimientos oculares que conlleva una peor habilidad lectora oral y un mayor tiempo de lectura. También se ha observado que la respuesta acomodativa es más precisa durante la realización de tareas atencionalmente demandantes en la población de niños con TDAH, resultado que sugiere que la atención puede ser un importante modulador de estas habilidades en las tareas cotidianas. Se necesitan futuros estudios que implementen medidas objetivas de todas estas habilidades bajo tareas con altas demandas atencionales en estas poblaciones, con la finalidad de obtener diagnósticos clínicos precisos de anomalías funcionales visuales. Por último, se observa que la medicación, aunque mejora estadísticamente los resultados a nivel de rendimiento visual, no parece afectar a la función visuo-motora.

## Breve discusión de los principales hallazgos con referencia a la literatura relacionada y su posible aplicación.

Estudios anteriores han mostrado resultados contradictorios cuando se evalúa la función visual en sujetos con TDAH (Ababneh et al., 2020; Fabian et al., 2013; Grönlund et al., 2007; Mezer & Wagnanski-Jaffe, 2012; Reimelt et al., 2021). En este sentido, aunque nuestro estudio coincide con una sintomatología compatible con insuficiencia de convergencia observada en otros estudios (Atas et al., 2020; Granet et al., 2005; Migrants et al., 2019; M. Rouse et al., 2009), esta posibilidad no se sustenta con la presencia de signos clínicos de diagnóstico en las habilidades binoculares, como un punto próximo de convergencia retrasado reportado por algunos autores (Ababneh et al., 2020; Fabian et al., 2013). En el presente estudio, evaluando otras habilidades binoculares adicionales a esos estudios, no encontramos diferencias significativas entre grupos. Aun así, y dada la estrecha interconexión entre áreas cerebrales que controlan la atención y la oculomotricidad, pensamos que estas diferencias podrían pasar desapercibidas por la propia naturaleza subjetiva de los procedimientos usados para estas edades, así como a la escasa demanda atencional que suponen los test de fijación inherentes a las pruebas (Slobodin & Davidovitch, 2019).

Las habilidades perceptivas surgen en diferentes momentos de la madurez y están presentes en nuestras actividades diarias. Estudios anteriores se han centrado en relacionar el TDAH con habilidades cognitivas y perceptivas específicas (Lenz et al., 2010; Moll et al., 2016), y han encontrado un deterioro temprano en el procesamiento visual en estos sujetos. Otros estudios también han aportado evidencias de una función de memoria visual y de trabajo deterioradas (Martinussen et al., 2005; Shang & Gau, 2011) que dificultan la conservación de esa información para un posterior procesamiento en la ejecución de tareas complejas (Van de Weijer-Bergsma et al., 2015). Aun así, y a pesar de estas diferencias fisiológicas (Friedman & Rapoport, 2015), persisten algunas dudas sobre las habilidades de percepción visual en el TDAH relacionadas con habilidades de desempeño y su asociación con diferentes comorbilidades. En el presente proyecto,



analizando áreas claves de estas habilidades en ausencia de participación motora (Sterner et al., 2006), encontramos un déficit en ciertos canales de transferencias sensorial y una peor actuación de los niños con TDAH en tareas visuo-cognitivas tanto simples como complejas que es agravada por la presencia de comorbilidades. Concretamente respecto a las tareas simples, la memoria secuencial y la orientación espacial, se vieron afectadas en todos los grupos de TDAH (total, puro y con comorbilidades) mientras la memoria visual y la discriminación visual se deterioraron sólo en el grupo TDAH total y en el grupo de TDAH con comorbilidades y solo en el grupo de TDAH con comorbilidades, respectivamente. Para las habilidades perceptivas complejas, el grupo de TDAH total y el grupo de TDAH con comorbilidades mostraron valores reducidos en comparación con el grupo de control, pero no ocurrió con el grupo con TDAH puro. Estos datos pueden ser de interés para una amplia variedad de profesionales de la salud para intentar comprender la relación entre este déficit y el procesamiento visual a edades tempranas, y puede servir como herramienta en el seguimiento terapéutico de este trastorno.

Las fijaciones están fuertemente relacionadas con la atención a la lectura (Paulson, 2005). De hecho, el uso excesivo de fijaciones y regresiones repercute negativamente en la velocidad y rendimiento lector (Krieber et al., 2016), así como en el procesamiento y comprensión durante la lectura (Clifton et al., 2016). Nuestro estudio, usando un sistema de registro objetivo de movimientos oculares, indica una eficacia lectora deficiente en los niños TDAH-NM puros (sin comorbilidades) debido a un patrón de movimiento ocular alterado. El patrón oculomotor medio registrado en esta población TDAH presentó más fijaciones, regresiones, movimientos sacádicos en barridos de retorno y anomalías de fijaciones y regresiones que el grupo control, e implicó una disminución de la eficiencia lectora y un nivel de grado equivalente más bajo en estos niños. Consideramos, pues que sistemas objetivos de registro de movimientos oculares puede ser una herramienta útil en clínica que podría ayudar en el diagnóstico del TDAH u otras afecciones neuropsicológicas (ej., la dislexia).

Estudios recientes han demostrado que el retraso acomodativo es mayor en niños con TDAH respecto a los controles y que estas diferencias se acentúan en distancias más cercanas (Redondo

et al., 2018; Redondo et al., 2020). Sin embargo, nuestros hallazgos realizando una tarea con demandas atencionales como es la tarea MOT, muestran que los niños con TDAH, ya sean medicados o no, presentan un retraso acomodativo similar al de los niños de un grupo control cuando se capta su atención durante la tarea (Grönlund et al., 2007; Laasonen et al., 2012; Redondo, Molina, et al., 2020). También encontramos una mayor inestabilidad de la respuesta acomodativa en los niños con déficit inherente de atención, y a pesar que estudios previos han mostrado una gran sensibilidad de la variabilidad de la acomodación al compromiso atencional en estímulos de cerca (Redondo et al., 2020), la estabilidad de la acomodación no varió con la complejidad en la tarea MOT. Nuestros resultados indican una estrecha vinculación entre la dinámica de la respuesta acomodativa y la atención en poblaciones tanto clínicas como sanas, lo cual puede ser de relevancia en la evaluación clínica de la función visual que debe llevarse a cabo en este tipo de población, y en el diagnóstico de disfunciones visuales en niños con TDAH, ya que un déficit en la capacidad de atención durante las pruebas visuales en esta población podría llevar a un diagnóstico erróneo.

En cuanto al uso de metilfenidato, ante la ambigüedad de los resultados de los estudios actuales, no está clara su influencia sobre la función visual (Fried et al., 2014; Grönlund et al., 2007; Klein et al., 2003; Larrañaga-Fragoso et al., 2015; Martin et al., 2008; Redondo, Molina, et al., 2020; Whitman et al., 1997). En nuestro estudio, sólo encontramos un efecto de su acción sobre las habilidades que caracterizan el rendimiento visual en términos de resolución espacial y contraste. En concreto, encontramos un papel modulador de la medicación sobre ciertos canales de transferencia sensitivos involucrados en la sensibilidad al contraste en las altas y bajas frecuencias espaciales. Estos resultados, acordes con numerosas investigaciones, podrían ser explicados por la alteración que produce este fármaco sobre el sistema dopaminérgico afectado en estos sujetos (Weil et al., 2016). Por el contrario, no encontramos diferencias en las habilidades binoculares entre grupos TDAH medicados y no medicados. Aunque nuestras medidas subjetivas pueden, como hemos discutido anteriormente, no ser lo suficientemente sensibles para detectar estas diferencias entre grupos, también cabe la posibilidad que el uso de metilfenidato no produzca

modificaciones en las áreas corticales involucradas en el control oculomotor, tal como refieren otros autores (Grönlund et al., 2007; Larrañaga-Fragoso et al., 2015; Whitman et al., 1997). Sería interesante realizar estudios longitudinales a corto y largo plazo, que evaluaran el efecto de la medicación sobre parámetros oculomotores que caracterizan la función binocular en niños TDAH. La inclusión de métodos objetivos de medida de estas habilidades en entornos clínicos o de investigación, resultarían de enorme ayuda en el diagnóstico y manejo del tratamiento de anomalías visuales funcionales en esta población.

## Limitaciones y fortalezas

### *Limitaciones*

Aunque los resultados de esta Tesis Doctoral han permitido encontrar hallazgos interesantes, estos deben ser considerados con cautela antes de ser generalizados, dadas las varias limitaciones que presentan los estudios que la integran. Es conocido que el TDAH se presenta de diferente forma y prevalencia en niños y niñas (American Psychiatric Association, 2013; García et al., 2008; Mohammadi et al., 2019; Perou et al., 2013; Polanczyk et al., 2007; Sayal et al., 2018), y en ninguno de los estudios incluidos se ha dividido la muestra en términos de género y subtipos de TDAH. A esto hay que añadir que en los estudios 1 y 4 no se incluyó como factor las posibles comorbilidades que acompañan a este trastorno. Se necesitan estudios que incluyan muestras experimentales amplias para dilucidar la influencia de estos factores.

Otras limitaciones de los estudios 1 y 2 recaen en las características intrínsecas de las pruebas utilizadas. Cabe recordar, que las pruebas para estos estudios incluyen procedimientos que necesitan de la respuesta del sujeto, y la cooperación de los participantes, especialmente de los niños con TDAH, son esenciales para obtener valores clínicamente fiables (Slobodin & Davidovitch, 2019). Por otro lado, además de la subjetividad en la respuesta, no hay que menospreciar que la mayoría de estas pruebas utilizan tarjetas de fijación que implican bajas

demandas atencionales, y que como se ha demostrado, en este tipo de población (infantil y déficit de atención) es esencial que los recursos atencionales sean mantenidos (Börger, Meere, & van der Meere, 2000; Coulter & Shallo-Hoffmann, 2000; Ishikawa, Yoshimura, Sato, & Itakura, 2019; Yeshurun & Carrasco, 1998). Estudios con pruebas más objetivas podrían ofrecer resultados más concluyentes al respecto.

En el estudio 3, una de las principales limitaciones fue que no se evaluó previamente medidas básicas tales como la fijación, los prosacádicos, los antisacádicos y los seguimientos, y así no se pudo testear si el patrón de movimiento ocular en este grupo clínico se debe a alteraciones en los mecanismos de control del movimiento ocular o a retrasos en la adquisición de la lectura. La inclusión de un grupo control con el mismo nivel de lectura obtenido para el grupo TDAH podría haber clarificado este aspecto. Además, en este estudio se usaron textos relativamente cortos que no permitieron determinar la fluidez lectora, y no se realizó un control previo de nivel de vocabulario o memoria de trabajo de los niños, que hubiera permitido obtener unos resultados sólidos de comprensión lectora. Por otro lado, hay que resaltar que la lectura se realizó en voz alta, y se ha demostrado que ello conlleva una velocidad lectora más lenta (Keith Rayner et al., 2012). Aunque sí es cierto que este tipo de lectura influyó en ambos grupos, se podrían haber enmascarado las diferencias encontradas en parámetros como la duración de fijación, ya que se ha demostrado la deficiente capacidad de verbalizar información visual en niños con TDAH (Arnett et al., 2012; Tannock et al., 2000).

Finalmente, comentar que en el estudio 4, para la tarea MOT se usó un número determinado de objetivos de seguimiento con la misma velocidad. La modificación de estos parámetros podría arrojar diferentes resultados a los resultados obtenidos (Dørum et al., 2016; Pylyshyn, 2006). También el papel mediador de los diferentes subtipos de TDAH así como las comorbilidades podría haber influido en los resultados mostrados, por lo que se necesitan de estudios que evalúen como la atención, afectada de diferente forma en cada uno de ellos, modula la acomodación en cada uno de estos subtipos. En este sentido, existen mecanismos neuronales compartidos entre la atención y la acomodación ocular, pero este estudio no permite conocer el mecanismo cerebral

específico involucrado en esta asociación. Por último, ciertas características, tales como la latencia y velocidad, de la dinámica de acomodación y desacomodación son sensibles al estado atencional, pero la resolución temporal del instrumento (5 Hz) ha podido enmascarar diferencias más sutiles durante el proceso acomodativo.

### *Fortalezas*

La principal fortaleza de la línea de investigación es la rigurosidad en el diagnóstico llevado a cabo por el equipo de neuropediatras que componen este equipo de investigación. Todos los niños fueron diagnosticados y tratados bajo los mismos criterios. Por su parte, el control exhaustivo en aspectos oculares y visuales estuvo presente en todos los estudios. Todas las pruebas optométricas fueron realizadas por el mismo equipo de optometristas manteniendo siempre el mismo criterio de evaluación. En su conjunto, creemos que este trabajo ha conseguido determinar variables visuo-perceptivas y visuales, objetivas y subjetivas que permiten contextualizar mejor la función visual de los niños con TDAH, y podrían, una vez eliminado ciertas limitaciones de las ya mencionadas, tener una aplicación práctica en el ámbito clínico para el diagnóstico y control del éxito del tratamiento de este trastorno.

### Direcciones futuras de investigación

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios que incluye esta Tesis Doctoral han abierto nuevas líneas de investigación para caracterizar la función visual en el TDAH, y determinar signos clínicos visuales que puedan complementar los criterios neuropsicológicos utilizados en el diagnóstico del TDAH.

En base a los resultados obtenidos sugerimos las siguientes direcciones de investigación futuras:

1. Testear la sensibilidad de pruebas objetivas en la evaluación de habilidades binoculares en la población TDAH, incorporando test de fijación dinámicos con diferentes demandas atencionales a diferentes distancias
2. Examinar el efecto agudo y crónico de la medicación a diferentes concentraciones sobre la sensibilidad al contraste, con la finalidad de usar los cambios producidos en los diferentes canales de transferencia como marcadores visuales durante el proceso del tratamiento junto a los signos conductuales usados durante la terapia neuro-psicológica.
3. Evaluar el impacto agudo y crónico del tratamiento farmacológico (bajo diferentes concentraciones) y conductual del TDAH en las habilidades de percepción visual y en habilidades oculomotoras, y usar estas habilidades como signos de control en la mejora de estos tratamientos.
4. Analizar los beneficios clínicos de incluir diferentes estrategias de tratamiento, en conjunción con la medicación, como son la terapia visual, el aprendizaje perceptivo o el ejercicio físico, en los protocolos de intervención clínica en esta población y su influencia en el procesamiento visual.
5. Tras el hallazgo del efecto mediador de las comorbilidades en la habilidad de percepción visual en este grupo clínico de niños, consideramos de interés explorar el papel de las comorbilidades del TDAH en la función visual. Del mismo modo, se hace necesario implementar estudios que incluyan muestras amplias de los diferentes subtipos de TDAH, y determinar específicamente el papel de la atención sobre la función visual en cada uno de ellos.
6. Dada la alteración del patrón de movimientos oculares durante la lectura, se hace necesario evaluar de manera objetiva dicho patrón en otras actividades cotidianas, tales como detección de objetos en visión periférica, seguimientos de objetos o cambios bruscos en la dirección de mirada. La inclusión de la tecnología de realidad virtual es una nueva herramienta prometedora para la evaluación y diagnóstico de este trastorno, así

como un procedimiento para la intervención y tratamiento del mismo. Su uso se podría implementar como técnica exclusiva o como parte de programas multimodales, combinada con técnicas cognitivo-conductuales o con neurofeedback.

7. Se ha demostrado la existencia de un vínculo entre el estado atencional y el funcionamiento acomodativo que puede ser relevante para el diseño de programas de terapia visual, prevención y manejo de la astenopia en esta población. Futuros estudios en este sentido podrían ser de gran relevancia a nivel clínico en este tipo de población.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES**



## *CONCLUSIONES*

Tras los hallazgos encontrados en el desarrollo de esta Tesis podemos concluir que:

1. Los niños con TDAH presentan una sintomatología compatible con la insuficiencia de convergencia en niños con TDAH, pero no se ve acompañada con signos clínicos que son usados como criterios de diagnóstico de esta condición. Además, esta sigue estando presente en sujetos TDAH medicados.
2. La sensibilidad al contraste se encuentra alterada en niños TDAH no medicados, y la medicación parece jugar un papel modulador de la misma. Estos resultados indican un posible uso como posible marcador en este tipo de trastorno, tanto para el diagnóstico como tratamiento de este trastorno.
3. El procesamiento visual, en términos de habilidades perceptivas visuales, está alterado en los niños con TDAH, especialmente cuando se acompaña con comorbilidades.
4. Existe una alteración en el patrón de movimiento ocular durante la lectura oral en los niños con TDAH en comparación con un grupo control.
5. Captar la atención, al manipular la complejidad de una tarea MOT, mejora la acomodación. Aunque, los niños con TDAH exhiben una mayor inestabilidad acomodativa en comparación con los niños del grupo control, independientemente de la carga de atención, estas diferencias se atenúan en los niños TDAH-M.
6. La dinámica de la respuesta acomodativa está estrechamente vinculada al tipo de atención en poblaciones clínicas y saludables, hecho que sería de relevancia para la interpretación de signos acomodativos en entornos clínicos y de investigación.

## Referencias

- Ababneh, L. T., Bashtawi, M., Ababneh, B. F., Mahmoud, I. H., Rashdan, M., & Zahran, M. (2020). Ocular findings in children with attention deficit hyperactivity disorder: A Case–Control study. *Annals of Medicine and Surgery*, *57*, 303–306.
- Abdi, S., & Rydberg, A. (2005). Asthenopia in schoolchildren, orthoptic and ophthalmological findings and treatment. *Documenta Ophthalmologica*, *111*(2), 65–72.
- Akmatov, M. K., Ermakova, T., & Bätzing, J. (2019). Psychiatric and Nonpsychiatric Comorbidities Among Children With ADHD: An Exploratory Analysis of Nationwide Claims Data in Germany. *Journal of Attention Disorders*, 1087054719865777. <https://doi.org/10.1177/1087054719865779>
- Akutagava-Martins, G. C., Rohde, L. A., & Hutz, M. H. (2016). Genetics of attention-deficit/hyperactivity disorder: an update. *Expert Review of Neurotherapeutics*, *16*(2), 145–156.
- Alnæs, D., Sneve, M. H., Espeseth, T., Endestad, T., van de Pavert, S. H. P., & Laeng, B. (2014). Pupil size signals mental effort deployed during multiple object tracking and predicts brain activity in the dorsal attention network and the locus coeruleus. *Journal of Vision*, *14*(4), 1–20. <https://doi.org/10.1167/14.4.1>
- Alvarez, G. A., & Franconeri, S. L. (2007). How many objects can you track?: Evidence for a resource-limited attentive tracking mechanism. *Journal of Vision*, *7*(13), 14. <https://doi.org/10.1167/7.13.14>
- American Optometric Association. (2020). Evidence-Based Clinical Practice Guideline: Comprehensive Pediatric Eye and Vision Examination. *Optometric Clinical Practice*, *2*(2), 7.
- American Psychiatric Association. (1980). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental*

*Disorders, 3rd edition (DSM-III)*. Washington, DC: American Psychiatric Press.

American Psychiatric Association. (1987). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 3rd edition revised (DSM-III-R)*. Washington, DC: American Psychiatric Press.

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub. (5th ed.). Washington, DC.

Anderson, H. A., Glasser, A., Manny, R. E., & Stuebinger, K. K. (2010). Age-Related Changes in Accommodative Dynamics from Preschool to Adulthood. *Investigative Ophthalmology & Visual Science, 51*(1), 614. <https://doi.org/10.1167/iovs.09-3653>

Anderson, S. J., Mullen, K. T., & Hess, R. F. (1991). Human peripheral spatial resolution for achromatic and chromatic stimuli: limits imposed by optical and retinal factors. *The Journal of Physiology, 442*(1), 47–64.

Arnett, A. B., Pennington, B. F., Willcutt, E., Dmitrieva, J., Byrne, B., Samuelsson, S., & Olson, R. K. (2012). A Cross-Lagged Model of the Development of ADHD Inattention Symptoms and Rapid Naming Speed. *Journal of Abnormal Child Psychology, 40*(8), 1313–1326.

Arnsten, A. F. T. (2006). Stimulants: therapeutic actions in ADHD. *Neuropsychopharmacology, 31*(11), 2376–2383.

Arnsten, A. F. T. (2007). Catecholamine and second messenger influences on prefrontal cortical networks of “representational knowledge”: a rational bridge between genetics and the symptoms of mental illness. *Cerebral Cortex, 17*(suppl\_1), i6–i15.

Arnsten, A. F. T., & Dudley, A. G. (2005). Methylphenidate improves prefrontal cortical cognitive function through  $\alpha 2$  adrenoceptor and dopamine D1 receptor actions: Relevance to therapeutic effects in Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Behavioral and Brain Functions, 1*(1), 1–9.

- Arnsten, A. F. T., & Pliszka, S. R. (2011). Catecholamine influences on prefrontal cortical function: relevance to treatment of attention deficit/hyperactivity disorder and related disorders. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *99*(2), 211–216.  
<https://doi.org/10.1016/j.pbb.2011.01.020>
- Aslam, T. M., Rahman, W., Henson, D., & Khaw, P. T. (2011). A novel paediatric game-based visual-fields assessor. *British Journal of Ophthalmology*, *95*(7), 921–924.  
<https://doi.org/10.1136/bjo.2010.198135>
- Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: adaptive gain and optimal performance. *Annu. Rev. Neurosci.*, *28*, 403–450.
- Atas, P. B. U., Ceylan, O. M., Dönmez, Y. E., & Ozcan, O. O. (2020). Ocular findings in patients with attention deficit and hyperactivity. *International Ophthalmology*, *40*(11), 3105–3113.
- Atchison, D. A., Schmid, K. L., & Pritchard, N. (2006). Neural and optical limits to visual performance in myopia. *Vision Research*, *46*(21), 3707–3722.
- Atchison, D. A., & Varnas, S. R. (2017). Accommodation stimulus and response determinations with autorefractors. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *37*(1), 96–104.  
<https://doi.org/10.1111/opo.12340>
- Awh, E., Armstrong, K. M., & Moore, T. (2006). Visual and oculomotor selection: links, causes and implications for spatial attention. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(3), 124–130.
- Ayton, L. N., Abel, L. A., Fricke, T. R., & McBrien, N. A. (2009). Developmental Eye Movement Test: What Is it Really Measuring? *Optometry and Vision Science*, *86*(6), 722–730.
- Aznar-Casanova, J. A., Quevedo, L., & Sinnett, S. (2005). The effects of drift and displacement motion on dynamic visual acuity. *Psicologica*, *26*(1), 105–119.

- Bailey, I. L., & Lovie-Kitchin, J. E. (2013). Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic. *Vision Research, 90*, 2–9.
- Banaschewski, T., Becker, K., Scherag, S., Franke, B., & Coghill, D. (2010). Molecular genetics of attention-deficit/hyperactivity disorder: an overview. *European Child & Adolescent Psychiatry, 19*(3), 237–257.
- Banks, M. S., Sekuler, A. B., & Anderson, S. J. (1991). Peripheral spatial vision: Limits imposed by optics, photoreceptors, and receptor pooling. *JOSA A, 8*(11), 1775–1787.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin, 121*(1), 65–94.  
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
- Barkley, R. A. (1998). Attention-deficit hyperactivity disorder. *Scientific American, 279*(3), 66–71.
- Barkley, R. A. (2014). *Attention-deficit hyperactivity disorder: A handbook for diagnosis and treatment* (4th ed.). New York: Guilford Publications.
- Barrio-Cantalejo, I. M., Simón-Lorda, P., Melguizo, M., Escalona, I., Marijuan, M. I., & Hernando, P. (2008). Validation of the INFLESZ Scale to Evaluate Readability of Texts Aimed at the Patient. *In Anales Del Sistema Sanitario de Navarra, 21*(2), 135–152.
- Barry, T. D., Lyman, R. D., & Klinger, L. G. (2002). Academic Underachievement and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: the Negative Impact of Symptom Severity on School Performance. *Journal of School Psychology, 40*(3), 259–283.  
[https://doi.org/10.1016/S0022-4405\(02\)00100-0](https://doi.org/10.1016/S0022-4405(02)00100-0)
- Bartgis, J., Lefler, E. K., Hartung, C. M., & Thomas, D. G. (2009). Contrast sensitivity in children with and without attention deficit hyperactivity disorder symptoms. *Developmental Neuropsychology, 34*(6), 663–682.

- Baumeister, A. A., & Hawkins, M. F. (2001). Incoherence of neuroimaging studies of attention deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neuropharmacology*, *24*(1), 2–10.
- Bedard, A.-C., Martinussen, R., Ickowicz, A., & Tannock, R. (2004). Methylphenidate improves visual-spatial memory in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *43*(3), 260–268.
- Bélanger, S. A., Andrews, D., Gray, C., & Korczak, D. (2018). ADHD in children and youth: part 1—etiology, diagnosis, and comorbidity. *Paediatrics & Child Health*, *23*(7), 447–453.
- Biederman, J. (2005). Attention-deficit/hyperactivity disorder: a selective overview. *Biological Psychiatry*, *57*(11), 1215–1220.
- Binda, P., Pereverzeva, M., & Murray, S. O. (2014). Pupil size reflects the focus of feature-based attention. *Journal of Neurophysiology*, *112*(12), 3046–3052.  
<https://doi.org/10.1152/jn.00502.2014>
- Blázquez-Almería, G., Joseph-Munné, D., Burón-Masó, E., Carrillo-González, C., Joseph-Munné, M., Cuyàs-Reguera, M., & Freile-Sánchez, R. (2005). Resultados del cribado de la sintomatología del trastorno por déficit de atención con o sin hiperactividad en el ámbito escolar mediante la escala EDAH. *Rev Neurol*, *41*(10), 586–590.
- Börger, N., Meere, J. van der, & van der Meere, J. (2000). Visual behaviour of ADHD children during an attention test: An almost forgotten variable. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *41*(4), 525–532.
- Borsting, E. J., Rouse, M. W., Mitchell, G. L., Scheiman, M., Cotter, S. A., Cooper, J., ... Group, C. (2003). Validity and Reliability of the Revised Convergence Insufficiency Symptom Survey in Children Aged 9 to 18 Years. *Optometry & Vision Science*, *80*(12), 832–838. <https://doi.org/10.1097/00006324-200312000-00014>
- Borsting, Eric, Chase, C. H., & Ridder III, willlam H. (2007). Measuring visual discomfort in college students. *Optometry and Vision Science*, *84*(8), 745–751.

- Borsting, Eric, Rouse, M., & Chu, R. (2005). Measuring ADHD behaviors in children with symptomatic accommodative dysfunction or convergence insufficiency: A preliminary study. *Optometry*, 76(10), 588–592. <https://doi.org/10.1016/j.optm.2005.07.007>
- Borsting, Erie, Rouse, M. W., & De Land, P. N. (1999). Prospective comparison of convergence insufficiency and normal binocular children on CIRS symptom surveys. Convergence Insufficiency and Reading Study (CIRS) group. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 76(4), 221–228.
- Bowton, E., Saunders, C., Erreger, K., Sakrikar, D., Matthies, H. J., Sen, N., ... Javitch, J. A. (2010). Dysregulation of dopamine transporters via dopamine D2 autoreceptors triggers anomalous dopamine efflux associated with attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Neuroscience*, 30(17), 6048–6057.
- Brace, L. R., Kraev, I., Rostron, C. L., Stewart, M. G., Overton, P. G., & Dommett, E. J. (2015). Altered visual processing in a rodent model of Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Neuroscience*, 303, 364–377.
- Brennan, A. R., & Arnsten, A. F. T. (2008). Neuronal mechanisms underlying attention deficit hyperactivity disorder: the influence of arousal on prefrontal cortical function. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129, 236.
- Brown, T. E. (2009). *ADHD comorbidities: Handbook for ADHD complications in children and adults*. American Psychiatric Pub.
- Brown, T., & Rodger, S. (2009). An evaluation of the validity of the Test of Visual Perceptual Skills-Revised (TVPS-R) using the Rasch Measurement Model. *British Journal of Occupational Therapy*, 72(2), 65–78.
- Bubl, E., Dörr, M., Philipsen, A., Ebert, D., Bach, M., & van Elst, L. T. (2013). Retinal contrast transfer functions in adults with and without ADHD. *PLoS One*, 8(5), e61728.
- Bucci, M. P., Stordeur, C., Septier, M., Acquaviva, E., Peyre, H., & Delorme, R. (2017).

- Oculomotor Abnormalities in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Are Improved by Methylphenidate. *Journal of Child and Adolescent Psychopharmacology*, 27(3), 274–280. <https://doi.org/10.1089/cap.2016.0162>
- Cacho-Martínez, P., García-Muñoz, Á., & Ruiz-Cantero, M. T. (2010). Do we really know the prevalence of accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions? *Journal of Optometry*, 3(4), 185–197. [https://doi.org/10.1016/S1888-4296\(10\)70028-5](https://doi.org/10.1016/S1888-4296(10)70028-5)
- Cacho-Martínez, P., García-Muñoz, Á., & Ruiz-Cantero, M. T. (2014). Is there any evidence for the validity of diagnostic criteria used for accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions? *Journal of Optometry*, 7(1), 2–21.
- Campayo, J. G., Germán, M. Á. S., Lanero, C. C., & Díez, M. A. (2007). Tratamiento del trastorno por déficit de atención. *Atención Primaria*, 39(12), 671.
- Capetillo Biart, O., Triana Casado, I., Martínez Legón, Z. de la C., Roche Caso, S., & Broche Hernández, A. (2011). Frecuencia de la ambliopía en escolares. *Revista Cubana de Pediatría*, 83(4), 372–381.
- Castellanos, F. X., & Tannock, R. (2002). Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder: The search for endophenotypes. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(8), 617–628. <https://doi.org/10.1038/nrn896>
- Catalá-López, F., Peiró, S., Ridao, M., Sanfélix-Gimeno, G., Gènova-Maleras, R., & Catalá, M. A. (2012). Prevalence of attention deficit hyperactivity disorder among children and adolescents in Spain: a systematic review and meta-analysis of epidemiological studies. *BMC Psychiatry*, 12(1), 168. <https://doi.org/10.1186/1471-244X-12-168>
- Cavanagh, P., & Alvarez, G. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 349–354. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.05.009>
- Caye, A., Swanson, J. M., Coghill, D., Rohde, L. A., & Caye, A. (2018). Treatment strategies for ADHD : an evidence-based guide to select optimal treatment. *Molecular Psychiatry*.



<https://doi.org/10.1038/s41380-018-0116-3>

Charman, W. N., & Heron, G. (2015). Microfluctuations in accommodation: an update on their characteristics and possible role. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 35(5), 476–499.

<https://doi.org/10.1111/opo.12234>

Checa-Ros, A., Haro-García, A., Seiquer, I., Molina-Carballo, A., Uberos-Fernández, J., & Muñoz-Hoyos, A. (2018). Early monitoring of fatty acid profile in children with attention deficit and/or hyperactivity disorder under treatment with omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Minerva Pediatrica*, 71(4), 313–325.

Chen, J. C., Schmid, K. L., & Brown, B. (2003). The autonomic control of accommodation and implications for human myopia development: a review. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 23(5), 401–422.

Chen, Y.-P., Hocking, P. M., Wang, L., Považay, B., Prashar, A., To, C.-H., ... Drexler, W. (2011). Selective breeding for susceptibility to myopia reveals a gene–environment interaction. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(7), 4003–4011.

Chung, S. T. L., & Legge, G. E. (2016). Comparing the shape of contrast sensitivity functions for normal and low vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 57(1), 198–207.

Ciuffreda KJ, T. B. (1995). *Eye Movement Basics for the Clinician* (1st ed.). St. Louis, MO: Mosby, Inc.

Clayton, M. S., Yeung, N., & Cohen Kadosh, R. (2015). The roles of cortical oscillations in sustained attention. *Trends in Cognitive Sciences*.

<https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.02.004>

Clifton, C., Ferreira, F., Henderson, J. M., Inhoff, A. W., Liversedge, S. P., Reichle, E. D., & Schotter, E. R. (2016). Eye Movements in Reading and Information Processing: Keith Rayner’s 40 Year Legacy. *Journal of Memory and Language*, 86, 1–19.

<https://doi.org/10.1016/j.jml.2015.07.004>

Cline, D. (1980). *Dictionary of visual science*. Chilton Book Company.

Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (1st ed.). New York: Routledge.

Committee on Quality Improvement, S. on A.-D. D. (2000). Clinical practice guideline: diagnosis and evaluation of the child with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Pediatrics*, *105*(5), 1158–1170.

Conlon, E. G., Lovegrove, W. J., Chekaluk, E., & Pattison, P. E. (1999). Measuring Visual Discomfort. *Visual Cognition*, *6*(6), 637–663. <https://doi.org/10.1080/135062899394885>

Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A., ... Shulman, G. L. (1998). A Common Network of Functional Areas for Attention and Eye Movements. *Neuron*, *21*(4), 761–773. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80593-0](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80593-0)

Cortese, S. (2012). The neurobiology and genetics of attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): what every clinician should know. *European Journal of Paediatric Neurology*, *16*(5), 422–433.

Cortese, S. (2015). Sleep and ADHD: what we know and what we do not know.

Cortese, S., Adamo, N., Del Giovane, C., Mohr-Jensen, C., Hayes, A. J., Carucci, S., ... Coghill, D. (2018). Comparative efficacy and tolerability of medications for attention-deficit hyperactivity disorder in children, adolescents, and adults: a systematic review and network meta-analysis. *The Lancet Psychiatry*, *5*(9), 727–738.

Coull, J. T. (1998). Neural correlates of attention and arousal: insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology. *Progress in Neurobiology*, *55*(4), 343–361.

Coulter, R. A., & Shallo-Hoffmann, J. (2000). The presumed influence of attention on accuracy

in the developmental eye movement (DEM) test. *Optometry and Vision Science*, 77(8), 428–432.

Criado-Álvarez, J. J., & Romo-Barrientos, C. (2003). Variability and tendencies in the consumption of methylphenidate in Spain. An estimation of the prevalence of attention deficit hyperactivity disorder | Variabilidad y tendencias en el consumo de metilfenidato en España. Estimación de la prevalencia del t. *Revista de Neurología*, 37(9), 806–810.

Cruikshank, B. M., Eliason, M., & Merrifield, B. (1988). Long-term sequelae of cold water near-drowning. *Journal of Pediatric Psychology*, 13(3), 379–388.

Crundall, D., & Underwood, G. (2011). Visual Attention While Driving. In *Handbook of Traffic Psychology* (pp. 137–148). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381984-0.10011-6>

Daley, D., & Birchwood, J. (2010). ADHD and academic performance: why does ADHD impact on academic performance and what can be done to support ADHD children in the classroom? *Child: Care, Health and Development*, 36(4), 455–464.

Daniel, F., Morize, A., Brémond-Gignac, D., & Kapoula, Z. (2016). Benefits from Vergence Rehabilitation: Evidence for Improvement of Reading Saccades and Fixations. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 10, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fnint.2016.00033>

Daniels, L. B., Nichols, D. F., Seifert, M. S., & Hock, H. S. (2012). Changes in pupil diameter entrained by cortically initiated changes in attention. *Visual Neuroscience*, 29(2), 131–142. <https://doi.org/10.1017/S0952523812000077>

De Crescenzo, F., Cortese, S., Adamo, N., & Janiri, L. (2017). Pharmacological and non-pharmacological treatment of adults with ADHD: a meta-review. *Evidence-Based Mental Health*, 20(1), 4–11.

Deans, P., O’Laughlin, L., Brubaker, B., Gay, N., & Krug, D. (2010). Use of eye movement tracking in the differential diagnosis of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and reading disability. *Psychology*, 01(04), 238–246.

<https://doi.org/10.4236/psych.2010.14032>

- DeCarlo, D. K., Swanson, M., McGwin, G., Visscher, K., & Owsley, C. (2016). ADhd and vision problems in the National Survey of Children's Health. *Optometry and Vision Science, 93*(5), 459–465. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000823>
- der Heijden, K. B. V. A. N., Smits, M. G., Van Someren, E. J. W., Ridderinkhof, K. R., & Gunning, W. B. (2007). Effect of melatonin on sleep, behavior, and cognition in ADHD and chronic sleep-onset insomnia. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 46*(2), 233–241.
- Diamantopoulou, S., Rydell, A.-M., Thorell, L. B., & Bohlin, G. (2007). Impact of executive functioning and symptoms of attention deficit hyperactivity disorder on children's peer relations and school performance. *Developmental Neuropsychology, 32*(1), 521–542.
- Dienes, Z. (2014). Using Bayes to Get the Most Uut of Non-Significant Results. *Frontiers in Psychology, 5*(July), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00781>
- Djamgoz, M. B. A., Hankins, M. W., Hirano, J., & Archer, S. N. (1997). Neurobiology of retinal dopamine in relation to degenerative states of the tissue. *Vision Research, 37*(24), 3509–3529.
- Domínguez-Ortega, L., & de Vicente-Colomina, A. (2006). Trastorno por déficit de atención con hiperactividad y alteraciones del sueño. *Medicina Clínica, 126*(13), 500–506.
- Dönmez, Y. E., Özcan, Ö. Ö., Çankaya, C., Berker, M., Atas, P. B. U., Güntürkün, P. N., & Ceylan, O. M. (2020). Is contrast sensitivity a physiological marker in attention-deficit hyperactivity disorder? *Medical Hypotheses, 145*, 110326.
- Dørum, E. S., Alnaes, D., Kaufmann, T., Richard, G., Lund, M. J., Tønnesen, S., ... Westlye, L. T. (2016). Age-related differences in brain network activation and co-activation during multiple object tracking. *Brain and Behavior, 6*(11), e00533. <https://doi.org/10.1002/brb3.533>

- Dunaway, D., & Berger, I. (2006). Worldwide distribution of visual refractive errors and what to expect at a particular location. *Presentation to International Society for Geographic and Epidemiologic Ophthalmology*, 97.
- DuPaul, G. J., Gormley, M. J., & Laracy, S. D. (2013). Comorbidity of LD and ADHD: Implications of DSM-5 for assessment and treatment. *Journal of Learning Disabilities*, 46(1), 43–51. <https://doi.org/10.1177/0022219412464351>
- Edgar, G. K. (2007). Accommodation, cognition, and virtual image displays: A review of the literature. *Displays*, 28(2), 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.04.009>
- Edgar, G. K., & Reeves, C. A. (1997). Visual Accommodation and Virtual Images: Do Attentional Factors Mediate the Interacting Effects of Perceived Distance, Mental Workload, and Stimulus Presentation Modality? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 39(3), 374–381. <https://doi.org/10.1518/001872097778827179>
- Ehm, J., Kerner auch Koerner, J., Gawrilow, C., Hasselhorn, M., & Schmiedek, F. (2016). The Association of ADHD Symptoms and Reading Acquisition During Elementary School Years. *Developmental Psychology*, 52(9), 1445–1456. <https://doi.org/10.1037/dev0000186>
- Einhäuser, W. (2017). The Pupil as Marker of Cognitive Processes. In *Computational and cognitive neuroscience of vision* (pp. 141–169). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0213-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0213-7_7)
- Elia, J., Ambrosini, P., & Berrettini, W. (2008). ADHD characteristics: I. Concurrent comorbidity patterns in children & adolescents. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, 2(1), 1–9.
- Elías Cuadros, Y., & Estañol Vidal, B. (2005). Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad. México: Trillas.
- Ennis, F. A., & Johnson, C. A. (2002). Are high-pass resolution perimetry thresholds sampling

limited or optically limited? *Optometry and Vision Science*, 79(8), 506–511.

Fabian, I. D., Kinori, M., Ancri, O., Spierer, A., Tsinman, A., & Ben Simon, G. J. (2013). The possible association of attention deficit hyperactivity disorder with undiagnosed refractive errors. *Journal of AAPOS: The Official Publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 17(5), 507–511.

<https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2013.06.005>

Faraone, S. V., & Mick, E. (2010). Molecular genetics of attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatric Clinics*, 33(1), 159–180.

Farrar, R., Call, M., & Maples, W. C. (2001). A comparison of the visual symptoms between ADD/ADHD and normal children. *Optometry*, 72(7), 441–451.

Faubert, J., & Sidebottom, L. (2012). Perceptual-Cognitive Training of Athletes. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 6(1), 85–102. <https://doi.org/10.1123/jcsp.6.1.85>

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>

Feagans, L. V., & Merriwether, A. (1990). Visual discrimination of letter-like forms and its relationship to achievement over time in children with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 23(7), 417–425.

Fernández-Jaén, A., Martín Fernández-Mayoralas, D., Calleja-Pérez, B., Moreno-Acero, N., & Muñoz-Jareño, N. (2008). Efectos del metilfenidato en los procesos cognitivo-atencionales. Uso de los test de ejecución continuada. *Revista de Neurología*, 46(SUPPL. 1), S479.

Fernández López, M. L. (2020). *Metabolismo de los Indoles, eje cerebroentérico y S100β en el TDAH: modificaciones por Metilfenidato*. [digibug.ugr.es](http://digibug.ugr.es). Universidad de Granada.

- Fiebelkorn, I. C., & Kastner, S. (2019). A Rhythmic Theory of Attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(2), 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.11.009>
- Foster, T. E., Ardoin, S. P., & Binder, K. S. (2017). Reliability and Validity of Eye Movement Measures of Children's Reading. *Reading Research Quarterly*, 1–19. <https://doi.org/10.1002/rrq.182>
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A Causal Link Between Visual Spatial Attention and Reading Acquisition. *Current Biology*, 22(9), 814–819. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.013>
- Franzén, O., Richter, H., & Stark, L. (2000). *Accommodation and vergence mechanisms in the visual system*. Springer.
- Frazier, T. W., Youngstrom, E. A., Glutting, J. J., & Watkins, M. W. (2007). ADHD and achievement: Meta-analysis of the child, adolescent, and adult literatures and a concomitant study with college students. *Journal of Learning Disabilities*, 40(1), 49–65. <https://doi.org/10.1177/00222194070400010401>
- Fredrick, D. R. (2002). Myopia. *Bmj*, 324(7347), 1195–1199.
- Fried, M., Tsitsiashvili, E., Bonne, Y. S., Sterkin, A., Wygnanski-jaffe, T., Epstein, T., & Polat, U. (2014). ADHD subjects fail to suppress eye blinks and microsaccades while anticipating visual stimuli but recover with medication. *Vision Research*, 101, 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.05.004>
- Friedman, L. A., & Rapoport, J. L. (2015). Brain development in ADHD. *Current Opinion in Neurobiology*, 30, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2014.11.007>
- Fusar-Poli, P., Rubia, K., Rossi, G., Sartori, G., & Balottin, U. (2012). Striatal dopamine transporter alterations in ADHD: pathophysiology or adaptation to psychostimulants? A meta-analysis. *American Journal of Psychiatry*, 169(3), 264–272.

- Gabriely, R., Tarrasch, R., Velicki, M., & Ovadia-Blechman, Z. (2020). The influence of mindfulness meditation on inattention and physiological markers of stress on students with learning disabilities and/or attention deficit hyperactivity disorder. *Research in Developmental Disabilities, 100*, 103630.
- Gaddes, W. H. (2013). *Learning disabilities and brain function: A neuropsychological approach*. Springer Science & Business Media.
- Gaggi, O., & Ciman, M. (2016). The use of games to help children eyes testing. *Multimedia Tools and Applications, 75*(6), 3453–3478. <https://doi.org/10.1007/s11042-014-2444-x>
- Gagliano, A., Germanò, E., & Calamoneri, F. (2007). Specific learning disabilities and ADHD: characteristics of association. *Giornale Di Neuropsichiatria Dell Eta Evolutiva, 27*(2), 216.
- Galvis, V., Tello, A., Camacho, P. A., Parra, M. M., & Merayo-Llives, J. (2017). Bio-environmental factors associated with myopia: an updated review. *Archivos de La Sociedad Española de Oftalmología (English Edition), 92*(7), 307–325.
- Gamlin, P. D. R. (2002). Neural mechanisms for the control of vergence eye movements. *Annals of the New York Academy of Sciences, 956*(1), 264–272.
- García-Muñoz, Á., Carbonell-Bonete, S., & Cacho-Martínez, P. (2014). Symptomatology associated with accommodative and binocular vision anomalies. *Journal of Optometry, 7*(4), 178–192. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2014.06.005>
- García-Muñoz, Á., Carbonell-Bonete, S., Cantó-Cerdán, M., & Cacho-Martínez, P. (2016). Accommodative and binocular dysfunctions: prevalence in a randomised sample of university students. *Clinical and Experimental Optometry, 99*(4), 313–321.
- García, Á., Cacho, P., Lara, F., & Megías, R. (2000). The relation between accommodative facility and general binocular dysfunction. *Ophthalmic and Physiological Optics, 20*(2), 98–104.



- García, I. M. (2001). Tratamiento psicológico de la hiperactividad infantil: un programa de intervención en el ámbito escolar. *Revista de Psicología General y Aplicada: Revista de La Federación Española de Asociaciones de Psicología*, 54(1), 81–93.
- García, M. D. G., Tato, L. M. P., Borbujo, J. S., Corral, L. M., Fabián, A. H., & Martín, L. S. F. (2008). Trastorno por déficit de atención e hiperactividad: un problema actual. In *Anales de pediatría* (Vol. 69, pp. 244–250). Elsevier.
- Garzia, R. P., Author Eric Borsting, P. J., Steven Nicholson, O. B., Leonard Press, O. J., Mitchell Scheiman, O. M., Harold Solan, O. A., ... Stephen Miller, M. C. (2000). Optometric clinical practice guideline: care of the patient with learning related vision problems. Guide for Clinicians. *American Optometric Association*, 38.
- Germanó, E., Gagliano, A., & Curatolo, P. (2010). Comorbidity of ADHD and Dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 35(5), 475–493.  
<https://doi.org/10.1080/875656412010494748>
- Gillberg, C., Gillberg, I. C., Rasmussen, P., Kadesjö, B., Söderström, H., Råstam, M., ... Niklasson, L. (2004). Co-existing disorders in ADHD—implications for diagnosis and intervention. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 13(1), i80–i92.
- Gilmartin, B. (1986). A review of the role of sympathetic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 6(1), 23–37.
- Gilmartin, B. (1987). Sustained near-vision augments inhibitory sympathetic innervation of the ciliary muscle. *Clin Vis Sci*, 1, 197–208.
- Ginsburg, A. P. (1984). A new contrast sensitivity vision test chart. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 61(6), 403–407.
- Gioia, G., Isquith, P., Guy, S., & Kenworthy, L. (2000). *BRIEF: Behavior Rating Inventory of Executive Function professional manual*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, Incorporated.

- Gizer, I. R., Ficks, C., & Waldman, I. D. (2009). Candidate gene studies of ADHD: a meta-analytic review. *Human Genetics, 126*(1), 51–90.
- Gogate, P., Soneji, F. R., Kharat, J., Dulera, H., Deshpande, M., & Gilbert, C. (2011). Ocular disorders in children with learning disabilities in special education schools of Pune, India. *Indian Journal of Ophthalmology, 59*(3), 223.
- Goldstand, S., Koslowe, K. C., & Parush, S. (2005). Vision, visual-information processing, and academic performance among seventh-grade schoolchildren: A more significant relationship than we thought? *American Journal of Occupational Therapy, 59*(4), 377–389.
- Goto, Y., Hatakeyama, K., Kitama, T., Sato, Y., Kanemura, H., Aoyagi, K., ... Aihara, M. (2010). Saccade Eye Movements as a Quantitative Measure of Frontostriatal Network in Children with ADHD. *Brain and Development, 32*(5), 347–355.  
<https://doi.org/10.1016/j.braindev.2009.04.017>
- Gould, T. D., Bastain, T. M., Israel, M. E., Hommer, D. W., & Castellanos, F. X. (2001). Altered performance on an ocular fixation task in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry, 50*(8), 633–635.
- Grabe, W. (2009). *Reading in a second language: Moving from theory to practice* (1st ed.). New York: Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195384253.013.0006>
- Granet, D. B., Gomi, C. F., Ventura, R., & Miller-Scholte, A. (2005). The relationship between convergence insufficiency and ADHD. *Strabismus, 13*(4), 163–168.  
<https://doi.org/10.1080/09273970500455436>
- Greenhill, L. L. (2001). Clinical effects of stimulant medications. In *Stimulant drugs and ADHD: Basic and clinical neuroscience* (pp. 35–71).
- Greven, C. U., Rijdsdijk, F. V., Asherson, P., & Plomin, R. (2012). A Longitudinal Twin Study

on the Association Between ADHD Symptoms and Reading. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 53(3), 234–242. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02445.x>

Grönlund, M. A., Aring, E., Landgren, M., & Hellström, A. (2007). Visual function and ocular features in children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder, with and without treatment with stimulants. *Eye*, 21(4), 494–502.  
<https://doi.org/10.1038/sj.eye.6702240>

Groß, V., Lücke, C., Graf, E., Lam, A. P., Matthies, S., Borel, P., ... Jacob, C. (2019). Effectiveness of psychotherapy in adult ADHD: what do patients think? Results of the COMPAS study. *Journal of Attention Disorders*, 23(9), 1047–1058.

Guha, M. (2015). Encyclopedia of Psychopharmacology. *Reference Reviews*.

Halperin, J. M., Newcorn, J. H., Schwartz, S. T., Sharma, V., Siever, L. J., Koda, V. H., & Gabriel, S. (1997). Age-related changes in the association between serotonergic function and aggression in boys with ADHD. *Biological Psychiatry*, 41(6), 682–689.

Harenberg, S., McCaffrey, R., Butz, M., Post, D., Howlett, J., Dorsch, K. D., & Lyster, K. (2016). Can Multiple Object Tracking Predict Laparoscopic Surgical Skills? *Journal of Surgical Education*, 73(3), 386–390. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2015.11.013>

Harris, D. J., Wilson, M. R., Crowe, E. M., & Vine, S. J. (2020). Examining the roles of working memory and visual attention in multiple object tracking expertise. *Cognitive Processing*, 21(2), 209–222.

Hauck, T. S., Lau, C., Wing, L. L. F., Kurdyak, P., & Tu, K. (2017). ADHD treatment in primary care: demographic factors, medication trends, and treatment predictors. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 62(6), 393–402.

Hayhoe, M., & Ballard, D. (2005). Eye Movements in Natural Behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(4), 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.02.009>

Health, N. C. C. for M. (2009). Attention deficit hyperactivity disorder: The NICE guideline on diagnosis and management of ADHD in children, young people and adults. *Leicester: The British Psychological Society & The Royal College of Psychiatrists.*

Healy, J. M. (2011). *Different Learners: Identifying, Preventing, and Treating Your Child's Learning Problems.* Simon and Schuster.

Helveston, E. M., Weber, J. C., Miller, K., Robertson, K., Hohberger, G., Estes, R., ... Helveston, B. H. (1985). Visual function and academic performance. *American Journal of Ophthalmology, 99*(3), 346–355.

Hendren, R. L., Haft, S. L., Black, J. M., & White, N. C. (2018). Recognizing Psychiatric Comorbidity with Reading Disorders. *Frontiers in Psychiatry, 9*, 101.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyt.2018.00101>

Hennessey, D., Iosue, R. A., & Rouse, M. W. (1984). Relation of symptoms to accommodative infacility of school-aged children. *American Journal of Optometry and Physiological Optics, 61*(3), 177–183.

Henry, L. A. (2001). How does the severity of a learning disability affect working memory performance? *Memory, 9*(4–6), 233–247.

Hensch, T. K., & Quinlan, E. M. (2018). Critical periods in amblyopia. *Visual Neuroscience, 35*, E014.

Hesdorffer, D. C., Ludvigsson, P., Olafsson, E., Gudmundsson, G., Kjartansson, O., & Hauser, W. A. (2004). ADHD as a risk factor for incident unprovoked seizures and epilepsy in children. *Archives of General Psychiatry, 61*(7), 731–736.

Hesson, J., & Fowler, K. (2018). Prevalence and correlates of self-reported ADD/ADHD in a large national sample of Canadian adults. *Journal of Attention Disorders, 22*(2), 191–200.

Hirota, T., Schwartz, S., & Correll, C. U. (2014). Alpha-2 agonists for attention-

deficit/hyperactivity disorder in youth: a systematic review and meta-analysis of monotherapy and add-on trials to stimulant therapy. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 53(2), 153–173.

Hjern, A., Weitoft, G. R., & Lindblad, F. (2010). Social adversity predicts ADHD-medication in school children—a national cohort study. *Acta Paediatrica*, 99(6), 920–924.

Ho, J.-D., Sheu, J.-J., Kao, Y.-W., Shia, B.-C., & Lin, H.-C. (2020). Associations between Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder and Ocular Abnormalities in Children: A Population-based Study. *Ophthalmic Epidemiology*, 27(3), 194–199.

Hodgson, K., Hutchinson, A. D., & Denson, L. (2014). Nonpharmacological treatments for ADHD: a meta-analytic review. *Journal of Attention Disorders*, 18(4), 275–282.

Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, 57(6), 787–795.

<https://doi.org/10.3758/BF03206794>

Hofstetter, H. W. (1947). A useful age-amplitude formula. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 24(4), 202.

Holland, D. (2000). Peripheral dynamic visual acuity under randomized tracking task difficulty, target velocities, and direction of target presentation. Virginia Tech.

Hoogman, M., Bralten, J., Hibar, D. P., Mennes, M., Zwiers, M. P., Schweren, L. S. J. J., ... Franke, B. (2017). Subcortical brain volume differences in participants with attention deficit hyperactivity disorder in children and adults: a cross-sectional mega-analysis. *The Lancet Psychiatry*, 4(4), 310–319. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(17\)30049-4](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(17)30049-4)

Ishikawa, M., Yoshimura, M., Sato, H., & Itakura, S. (2019). Effects of attentional behaviours on infant visual preferences and object choice. *Cognitive Processing*, 20(3), 317–324.

Jaanus, S. D. (1992). Ocular side effects of selected systemic drugs. *Optometry Clinics: The*

*Official Publication of the Prentice Society*, 2(4), 73–96.

- Jarosz, A. F., & Wiley, J. (2014). Journal of Problem Solving Special iSSue What Are the Odds? A Practical Guide to Computing and Reporting Bayes Factors, 7, 2–9.  
<https://doi.org/10.7771/1932-6246.1167>
- Jenkins, J. R., Fuchs, L. S., Van den Broek, P., Espin, C., & Deno, S. L. (2003). Sources of Individual Differences in Reading Comprehension and Reading Fluency. *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 719–729. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.4.719>
- Jensen, C. M., & Steinhausen, H.-C. (2015). Comorbid mental disorders in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder in a large nationwide study. *ADHD Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 7(1), 27–38.
- Jensen, P. S., Hinshaw, S. P., Kraemer, H. C., Lenora, N., Newcorn, J. H., Abikoff, H. B., ... Conners, C. K. (2001). ADHD comorbidity findings from the MTA study: comparing comorbid subgroups. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 40(2), 147–158.
- Jensen, P. S., Martin, D., & Cantwell, D. P. (1997). Comorbidity in ADHD: implications for research, practice, and DSM-V. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 36(8), 1065–1079.
- Jiménez, E. C., Avella-García, C., Kustow, J., Cubbin, S., Corrales, M., Richarte, V., ... Varela, P. (2020). Eye vergence responses during an attention task in adults with ADHD and clinical controls. *Journal of Attention Disorders*, 1087054719897806.
- Johnson, K. A., Daibhis, A., Tobin, C. T., Acheson, R., Watchorn, A., Mulligan, A., ... Robertson, I. H. (2010). Right-sided spatial difficulties in ADHD demonstrated in continuous movement control. *Neuropsychologia*, 48(5), 1255–1264.
- Joseph, H., Nation, K., & Liversedge, S. P. (2013). Using Eye Movements to Investigate Word Frequency Effects in Children's Sentence Reading. *School Psychology Review*, 42(2),

207–222.

Joshi, S., Li, Y., Kalwani, R. M., & Gold, J. I. (2016). Relationships between pupil diameter and neuronal activity in the locus coeruleus, colliculi, and cingulate cortex. *Neuron*, *89*(1), 221–234.

Kalff, A. C., De Sonnevile, L. M. J., Hurks, P. P. M., Hendriksen, J. G. M., Kroes, M., Feron, F. J. M., ... Jolles, J. (2003). Low- and high-level controlled processing in executive motor control tasks in 5-6-year-old children at risk of ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *44*(7), 1049–1057. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00189>

Kang, O. E., Huffer, K. E., & Wheatley, T. P. (2014). Pupil Dilation Dynamics Track Attention to High-Level Information. *PLoS ONE*, *9*(8), e102463. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102463>

Karaca, I., Demirkilinc Biler, E., Palamar, M., Özbaran, B., & Üremeren, Ö. (2019). Stereoacuity , Fusional Vergence Amplitudes and Refractive Errors Prior to Treatment in Patients with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Turkish Journal of Ophthalmology*. <https://doi.org/10.4274/tjo.galenos.2019.17802>

Karayanidis, F., Robaey, P., Bourassa, M., de Koning, D., Geoffroy, G., & Pelletier, G. (2000). ERP differences in visual attention processing between attention-deficit hyperactivity disorder and control boys in the absence of performance differences. *Psychophysiology*, *37*(3), 319–333.

Kesner, R. P., & Churchwell, J. C. (2011). An analysis of rat prefrontal cortex in mediating executive function. *Neurobiology of Learning and Memory*, *96*(3), 417–431.

Kibby, M. Y., Dyer, S. M., Vadnais, S. A., Jagger, A. C., Casher, G. A., & Stacy, M. (2015). Visual processing in reading disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder and its contribution to basic reading ability. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1635.

- Kibby, M. Y., Vадnais, S. A., & Jagger-Rickels, A. C. (2019). Which components of processing speed are affected in ADHD subtypes? *Child Neuropsychology*, *25*(7), 964–979.
- Kim, S., Banaschewski, T., & Tannock, R. (2015). Color vision in attention-deficit/hyperactivity disorder: A pilot visual evoked potential study. *Journal of Optometry*, *8*(2), 116–130.
- Kim, S., Chen, S., & Tannock, R. (2014). Visual function and color vision in adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Optometry*, *7*(1), 22–36.
- Kim, Y.-S., Wagner, R. K., & Foster, E. (2011). Relations Among Oral Reading Fluency, Silent Reading Fluency, and Reading Comprehension: A Latent Variable Study of First-Grade Readers. *Scientific Studies of Reading*, *15*(4), 338–362.
- Klauda, S. L., & Guthrie, J. T. (2008). Relationships of Three Components of Reading Fluency to Reading Comprehension. *Journal of Educational Psychology*, *100*(2), 310–321.  
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.100.2.310>
- Klein, B., Damiani-Taraba, G., Koster, A., Campbell, J., & Scholz, C. (2015). Diagnosing attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) in children involved with child protection services: are current diagnostic guidelines acceptable for vulnerable populations? *Child: Care, Health and Development*, *41*(2), 178–185.
- Klein, C. H., Raschke, A., & Brandenbusch, A. (2003). Development of pro- and antisaccades in children with attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) and healthy controls. *Psychophysiology*, *40*(1), 17–28.
- Kovacs, M. (1992). *Children's Depression Inventory (CDI)* (1st ed.). Toronto, Canada: Multi-Health Systems Inc.
- Krain, A. L., & Castellanos, F. X. (2006). Brain Development and ADHD. *Clinical Psychology Review*, *26*(4), 433–444. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2006.01.005>



- Kramer, F., & Pollnow, H. (1932). Über eine hyperkinetische Erkrankung im Kindesalter. *European Neurology*, 82(1–2), 1–40.
- Krieber, M., Bartl-Pokorny, K. D., Pokorny, F. B., Einspieler, C., Langmann, A., Körner, C., ... Marschik, P. B. (2016). The Relation Between Reading Skills and Eye Movement Patterns in Adolescent Readers: Evidence from a Regular Orthography. *PLoS ONE*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145934>
- Krishnan, V. V, Phillips, S., & Stark, L. (1973). Frequency analysis of accommodation, accommodative vergence and disparity vergence. *Vision Research*, 13(8), 1545–1554.
- Krishnan, V. V, & Stark, L. (1977). A heuristic model for the human vergence eye movement system. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, (1), 44–49.
- Kulp, M. T., Ciner, E., Maguire, M., Moore, B., Pentimonti, J., Pistilli, M., ... Ying, G. (2016). Uncorrected hyperopia and preschool early literacy: results of the vision in preschoolers–hyperopia in preschoolers (VIP-HIP) study. *Ophthalmology*, 123(4), 681–689.
- Kurtz, L. A. (2006). *Visual perception problems in children with AD/HD, autism, and other learning disabilities: A guide for parents and professionals*. Jessica Kingsley Publishers.
- Laasonen, M., Salomaa, J., Cousineau, D., Leppämäki, S., Tani, P., Hokkanen, L., & Dye, M. (2012). Project DyAdd: Visual attention in adult dyslexia and ADHD. *Brain and Cognition*, 80(3), 311–327. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.08.002>
- Larrañaga-Fragoso, P., Noval, S., Rivero, J. C., & Boto-de-los-Bueis, A. (2015). The effects of methylphenidate on refraction and anterior segment parameters in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 19(4), 322–326. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2015.04.005>
- Larson, K., Russ, S. A., Kahn, R. S., & Halfon, N. (2011). Patterns of comorbidity, functioning, and service use for US children with ADHD, 2007. *Pediatrics*, 127(3), 462–470.

<https://doi.org/10.1542/peds.2010-0165>

- Leat, S. J., Yadav, N. K., & Irving, E. L. (2009). Development of visual acuity and contrast sensitivity in children. *Journal of Optometry*, 2(1), 19–26.
- Lee, J.-W., Cho, H. G., Moon, B.-Y., Kim, S.-Y., & Yu, D.-S. (2019). Effects of prolonged continuous computer gaming on physical and ocular symptoms and binocular vision functions in young healthy individuals. *PeerJ*, 7, e7050.
- Legault, I., Allard, R., & Faubert, J. (2013). Healthy Older Observers Show Equivalent Perceptual-Cognitive Training Benefits to Young Adults for Multiple Object Tracking. *Frontiers in Psychology*, 4, 323. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00323>
- Lenz, D., Krauel, K., Flechtner, H.-H., Schadow, J., Hinrichs, H., & Herrmann, C. S. (2010). Altered evoked gamma-band responses reveal impaired early visual processing in ADHD children. *Neuropsychologia*, 48(7), 1985–1993.
- Leroy, A., Petit, G., Zarka, D., Cebolla, A. M., Palmero-Soler, E., Strul, J., ... Chéron, G. (2018). EEG dynamics and neural generators in implicit navigational image processing in adults with ADHD. *Neuroscience*, 373, 92–105.
- Levantini, V., Muratori, P., Inguaggiato, E., Masi, G., Milone, A., Valente, E., ... Billeci, L. (2020). EYES are the window to the mind: Eye-tracking technology as a novel approach to study clinical characteristics of ADHD. *Psychiatry Research*, 290, 113135.
- Levin, H., Hanten, G., Max, J., Li, X., Swank, P., Ewing-Cobbs, L., ... Schachar, R. (2007). Symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder following traumatic brain injury in children. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 28(2), 108–118.
- Levine, S., Ciuffreda, K. J., Selenow, A., & Flax, N. (1985). Clinical assessment of accommodative facility in symptomatic and asymptomatic individuals. *Journal of the American Optometric Association*, 56(4), 286–290.

- Liang, J., Williams, D. R., & Miller, D. T. (1997). Supernormal vision and high-resolution retinal imaging through adaptive optics. *Journal of the Optical Society of America A*, *14*(11), 2884. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.14.002884>
- Linnet, K. M., Dalsgaard, S., Obel, C., Wisborg, K., Henriksen, T. B., Rodriguez, A., ... Olsen, J. (2003). Maternal lifestyle factors in pregnancy risk of attention deficit hyperactivity disorder and associated behaviors: review of the current evidence. *American Journal of Psychiatry*, *160*(6), 1028–1040.
- Long, G. M., & Penn, D. L. (1987). Dynamic visual acuity: Normative functions and practical implications. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *25*(4), 253–256.
- Ludvigh, E., & Miller, J. W. (1958). Study of visual acuity during the ocular pursuit of moving test objects. I. Introduction. *JOSA*, *48*(11), 799–802.
- Luoni, C., Balottin, U., Zaccagnino, M., Brembilla, L., Livetti, G., & Termine, C. (2015). Reading difficulties and attention-deficit/hyperactivity behaviours: evidence of an early association in a nonclinical sample. *Journal of Research in Reading*, *38*(1), 73–90.
- Magaz-Lago, A., & García-Pérez, M. (2011). *Escala Magallanes de Atención Visual: EMAV. (Magallanes Visual Attention Scale)* (1st ed.). Bizkaia, Spain: Grupo Albor-COHS.
- Mallett, R. F. J. (1964). The Investigation of Heterophoria at Near and a New Fixation Disparity Technique. *Optician*, *148*, 547–551.
- Marandi, R. Z., & Gazerani, P. (2019). Aging and eye tracking: in the quest for objective biomarkers. *Future Neurology*, *14*(4), FNL33. <https://doi.org/10.2217/fnl-2019-0012>
- Marran, L. F., De Land, P. N., & Nguyen, A. L. (2006). Accommodative insufficiency is the primary source of symptoms in children diagnosed with convergence insufficiency. *Optometry and Vision Science*, *83*(5), 281–289.
- Martin, L., Aring, E., Landgren, M., Hellström, A., & Andersson Grönlund, M. (2008). Visual

fields in children with attention-deficit / hyperactivity disorder before and after treatment with stimulants. *Acta Ophthalmologica*, 86(3), 259–264. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2008.01189.x>

Martin, N. (2006). Test of Visual Perceptual Skills, (TVPS-3). *Flórida: PAR*.

Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(4), 377–384.

Max, J. E., Schachar, R. J., Levin, H. S., Ewing-Cobbs, L., Chapman, S. B., Dennis, M., ... Landis, J. (2005a). Predictors of attention-deficit/hyperactivity disorder within 6 months after pediatric traumatic brain injury. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(10), 1032–1040.

Max, J. E., Schachar, R. J., Levin, H. S., Ewing-Cobbs, L., Chapman, S. B., Dennis, M., ... Landis, J. (2005b). Predictors of secondary attention-deficit/hyperactivity disorder in children and adolescents 6 to 24 months after traumatic brain injury. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(10), 1041–1049.

Mayes, S. D., & Calhoun, S. L. (2007). Learning, attention, writing, and processing speed in typical children and children with ADHD, autism, anxiety, depression, and oppositional-defiant disorder. *Child Neuropsychology*, 13(6), 469–493.  
<https://doi.org/10.1080/09297040601112773>

Mayr, S., Buchner, A., Erdfelder, E., & Faul, F. (2007). A short tutorial of GPower. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 3(2), 51–59. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.4.932>

Mazaheri, A., Coffey-Corina, S., Mangun, G. R., Bekker, E. M., Berry, A. S., & Corbett, B. A. (2010). Functional Disconnection of Frontal Cortex and Visual Cortex in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, 67(7), 617–623.

<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.11.022>

- McDougal, D. H., & Gamlin, P. D. (2011). Autonomic control of the eye. *Comprehensive Physiology*, 5(1), 439–473.
- McFall, S. A., & Crowe, T. K. (1993). Test-retest reliability of the test of visual perceptual skills with children with learning disabilities. *American Journal of Occupational Therapy*, 47(9), 819–824.
- McMillan, J. A., Land, M., & Leslie, L. K. (2017). Pediatric residency education and the behavioral and mental health crisis: a call to action. *Pediatrics*, 139(1).
- Metin, B., Sonuga-Barke, E., Wiersema, J. R., Roeyers, H., & Vermeir, S. (2017). The differential effect of event rate on pupil dilation patterns suggests effort dysregulation problems in ADHD. *European Psychiatry*, 41(S1), S635–S635.
- Mezer, E., & Wygnanski-Jaffe, T. (2012). Do children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder have ocular abnormalities? *European Journal of Ophthalmology*, 22(6), 931–935.
- Migrants, T., Kiyokawa, J. M., & Island, H. (2019). The Relationship Between Attention, Dyslexia, and Convergence Insufficiency. *International Journal of Undergraduate Research and Creative Activities*, 11(1).
- Miller, A. C., Keenan, J. M., Betjemann, R. S., Willcutt, E. G., Pennington, B. F., & Olson, R. K. (2013). Reading Comprehension in Children with ADHD: Cognitive Underpinnings of the Centrality Deficit. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 41(3), 473–483.  
<https://doi.org/10.1007/s10802-012-9686-8>
- Minschew, N. J., Sweeney, J., & Luna, B. (2002). Autism as a selective disorder of complex information processing and underdevelopment of neocortical systems. *Molecular Psychiatry*, 7(2), S14–S15.

- Mohammadi, M.-R., Zarafshan, H., Khaleghi, A., Ahmadi, N., Hooshyari, Z., Mostafavi, S.-A., ... Salmanian, M. (2019). Prevalence of ADHD and its comorbidities in a population-based sample. *Journal of Attention Disorders*, 1087054719886372.
- Molina-Carballo, A., Checa-Ros, A., & Muñoz-Hoyos, A. (2016). Treatments and compositions for attention deficit hyperactivity disorder: a patent review. *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 26(7), 799–814. <https://doi.org/10.1080/13543776.2016.1182989>
- Moll, K., Göbel, S. M., Gooch, D., Landerl, K., & Snowling, M. J. (2016). Cognitive risk factors for specific learning disorder: Processing speed, temporal processing, and working memory. *Journal of Learning Disabilities*, 49(3), 272–281.
- Momeni-Moghaddam, H., McAlinden, C., Azimi, A., Sobhani, M., & Skiadaresi, E. (2014). Comparing accommodative function between the dominant and non-dominant eye. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 252(3), 509–514. <https://doi.org/10.1007/s00417-013-2480-7>
- Morad, Y., Lederman, R., Avni, I., Atzmon, D., Azoulay, E., & Segal, O. (2002). Correlation between reading skills and different measurements of convergence amplitude. *Current Eye Research*, 25(2), 117–121. <https://doi.org/10.1076/ceyr.25.2.117.10155>
- Morales, B., Rozas, C., Pancetti, F., & Kirkwood, A. (2003). Critical period of cortical plasticity. *Revista de Neurologia*, 37(8), 739–743.
- Moreno-García, I., Meneres-Sancho, S., Camacho-Vara de Rey, C., & Servera, M. (2019). A randomized controlled trial to examine the posttreatment efficacy of neurofeedback, behavior therapy, and pharmacology on ADHD measures. *Journal of Attention Disorders*, 23(4), 374–383.
- Morrison, T. R. (1980). A Review of Dynamic Visual Acuity.
- Mostofsky, S. H., Lasker, A. G., Cutting, L. E., Denckla, M. B., & Zee, D. S. (2001). Oculomotor Abnormalities in Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Neurology*, 57(3),

423–420.

Munoz, D. P., Armstrong, I. T., Hampton, K. A., & Moore, K. D. (2003). Altered Control of Visual Fixation and Saccadic Eye Movements in Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Journal of Neurophysiology*, *90*(1), 503–514. <https://doi.org/10.1152/jn.00192.2003>

Muzaliha, M.-N., Nurhamiza, B., Hussein, A., Norabibas, A.-R., Mohd-Hisham-Basrun, J., Sarimah, A., ... Shatriah, I. (2012). Visual acuity and visual skills in Malaysian children with learning disabilities. *Clinical Ophthalmology (Auckland, NZ)*, *6*, 1527.

Nigg, J. T. (2006). *What causes ADHD?: Understanding what goes wrong and why*. Guilford Press.

O'Shea, T. M., Downey, L. C., & Kuban, K. K. C. (2013). Extreme Prematurity and Attention Deficit: Epidemiology and Prevention. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*(September), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00578>

Oner, O., Oner, P., Bozkurt, O. H., Odabas, E., Keser, N., Karadag, H., & Kızılgün, M. (2010). Effects of zinc and ferritin levels on parent and teacher reported symptom scores in attention deficit hyperactivity disorder. *Child Psychiatry & Human Development*, *41*(4), 441–447.

Orlansky, G., Scheiman, M., Hopkins, K. B., Frazier, M., Mitchell, G. L., Huang, K., & Heyman, C. (2011). Reliability of the Developmental Eye Movement Test. *Optometry and Vision Science*, *88*(12), 1507–1519. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318230f03a>

Ozlem, E. (2012). What causes ADHD. *AAP Grand Rounds*, *27*(6), 72.

Palmer, E. D., & Finger, S. (2001). An early description of ADHD (inattentive subtype): Dr Alexander Crichton and 'Mental Restlessness'(1798). *Child Psychology and Psychiatry Review*, *6*(2), 66–73.

Papageorgiou, K. A., Smith, T. J., Wu, R., Johnson, M. H., Kirkham, N. Z., & Ronald, A.

- (2014). Individual Differences in Infant Fixation Duration Relate to Attention and Behavioral Control in Childhood. *Psychological Science*, 25(7), 1371–1379.  
<https://doi.org/10.1177/0956797614531295>
- Papavasiliou, A. S., Nikaina, I., Rizou, I., & Alexandrou, S. (2007). Effects of psycho-educational training and stimulant medication on visual perceptual skills in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 3(6), 949.
- Paulson, E. J. (2005). Viewing Eye Movements During Reading through the Lens of Chaos Theory: How Reading is Like the Weather. *Reading Research Quarterly*, 40(3), 338–358.  
<https://doi.org/10.1598/RRQ.40.3.3>
- Peirce, J. W. (2008). Generating stimuli for neuroscience using PsychoPy. *Frontiers in Neuroinformatics*, 2(January), 1–8. <https://doi.org/10.3389/neuro.11.010.2008>
- Perea, J. (2008). *Estrabismos*. Diputación de Toledo.
- Perou, R., Bitsko, R. H., Blumberg, S. J., Pastor, P., Ghandour, R. M., Gfroerer, J. C., & Huang, L. N. (2013). Mental health surveillance among children—United States, 2005–2011. *MMWR Suppl*, 62(2), 1–35.
- Pfeiffer, B., Daly, B. P., Nicholls, E. G., & Gullo, D. F. (2015). Assessing sensory processing problems in children with and without attention deficit hyperactivity disorder. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 35(1), 1–12.
- Pliszka, S. R. (2005). The neuropsychopharmacology of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1385–1390.
- Polanczyk, G., De Lima, M. S., Horta, B. L., Biederman, J., & Rohde, L. A. (2007). The Worldwide Prevalence of ADHD: A Systematic Review and Meta-regression Analysis. *American Journal of Psychiatry*, 164(6), 942–948.  
<https://doi.org/10.1176/ajp.2007.164.6.942>



Poltavski, D. V., Biberdorf, D., & Petros, T. V. (2012). Accommodative response and cortical activity during sustained attention. *Vision Research*, *63*, 1–8.

<https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.04.017>

Polyzoi, M., Ahnemark, E., Medin, E., & Ginsberg, Y. (2018). Estimated prevalence and incidence of diagnosed ADHD and health care utilization in adults in Sweden—a longitudinal population-based register study. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, *14*, 1149.

Popovic, Z., & Sjöstrand, J. (2005). The relation between resolution measurements and numbers of retinal ganglion cells in the same human subjects. *Vision Research*, *45*(17), 2331–2338.

Puig, M. S., Zapata, L. P., Puigcerver, L., Iglesias, N. E., Garcia, C. S., Romeo, A., ... Supèr, H. (2015). Attention-related eye vergence measured in children with attention deficit hyperactivity disorder. *PLoS ONE*, *10*(12), e0145281.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145281>

Punja, S., Shamseer, L., Hartling, L., Urichuk, L., Vandermeer, B., Nikles, J., & Vohra, S. (2016). Amphetamines for attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) in children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2).

Pylyshyn, Z. W. (2006). Some puzzling findings in multiple object tracking (MOT): II. Inhibition of moving nontargets. *Visual Cognition*, *14*(2), 175–198.

<https://doi.org/10.1080/13506280544000200>

Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism\*. *Spatial Vision*, *3*(3), 179–197.

<https://doi.org/10.1163/156856888X00122>

Quaid, P., & Simpson, T. (2013). Association Between Reading Speed , Cycloplegic Refractive Error, and Oculomotor Function in Reading Disabled Children Versus Controls. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, *832–838.*, 169–187.

<https://doi.org/10.1007/s00417-012-2135-0>

- Quay, H. C. (1999). Classification of the disruptive behavior disorders. In *Handbook of disruptive behavior disorders* (pp. 3–21). Springer.
- Queirós, A., González-Méijome, J., & Jorge, J. (2008). Influence of Fogging Lenses and Cycloplegia on Open-Field Automatic Refraction. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 28(4), 387–392. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2008.00579.x>
- Quevedo, L., Aznar-Casanova, J. A., & Silva, J. A. da. (2018). Dynamic visual acuity. *Trends in Psychology*, 26(3), 1267–1281.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Rayner, Keith. (1978). Eye movements in reading and information processing. *Psychological Bulletin*, 85(3), 618.
- Rayner, Keith, Pollatsek, A., Ashby, J., & Clifton Jr, C. (2012). *Psychology of reading* (1st ed.). New York: Psychology Press.
- Reale, L., Bartoli, B., Cartabia, M., Zanetti, M., Costantino, M. A., Canevini, M. P., ... Bonati, M. (2017). Comorbidity Prevalence and Treatment Outcome in Children and Adolescents with ADHD. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 1443–1457. <https://doi.org/10.1007/s00787-017-1005-z>
- Redondo, B., Molina, R., Vera, J., Muñoz-Hoyos, A., Barrett, B. T., & Jiménez, R. (2020). Accommodative response in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): the influence of accommodation stimulus and medication. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 258(6), 1299–1307. <https://doi.org/10.1007/s00417-020-04645-4>
- Redondo, B., Vera, J., Molina, R., Davies, L. N., & Jiménez, R. (2020). Accommodative

dynamics and attention: the influence of manipulating attentional capacity on accommodative lag and variability. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 40(4), 510–518. <https://doi.org/10.1111/opo.12690>

Redondo, B., Vera, J., Molina, R., Garcia, J. A., Catena, A., Muñoz-Hoyos, A., & Jimenez, R. (2020). Accommodation and pupil dynamics as potential objective predictors of behavioural performance in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Vision Research*, 175, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2020.06.005>

Redondo, B., Vera, J., Molina, R., García, J. A., Ouadi, M., Muñoz-Hoyos, A., & Jiménez, R. (2018). Attention-deficit/hyperactivity disorder children exhibit an impaired accommodative response. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 256(5), 1023–1030. <https://doi.org/10.1007/s00417-018-3948-2>

Regan, D. M., Silver, R., & Murray, T. J. (1977). Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis--hidden visual loss: an auxiliary diagnostic test. *Brain: A Journal of Neurology*, 100(3), 563–579.

Reimelt, C., Wolff, N., Hölling, H., Mogwitz, S., Ehrlich, S., & Roessner, V. (2021). The underestimated role of refractive error (hyperopia, myopia, and astigmatism) and strabismus in children with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 25(2), 235–244. <https://doi.org/10.1177/1087054718808599>

Reimer, J., McGinley, M. J., Liu, Y., Rodenkirch, C., Wang, Q., McCormick, D. A., & Tolia, A. S. (2016). Pupil fluctuations track rapid changes in adrenergic and cholinergic activity in cortex. *Nature Communications*, 7(1), 1–7.

Roberts, T. L., Manny, R. E., Benoit, J. S., & Anderson, H. A. (2018). Impact of Cognitive Demand during Sustained Near Tasks in Children and Adults. *Optometry and Vision Science*, 95(3), 223–233. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001186>

Roessner, V., Banaschewski, T., Fillmer-Otte, A., Becker, A., Albrecht, B., Uebel, H., ...

- Rothenberger, A. (2008). Color perception deficits in co-existing attention-deficit/hyperactivity disorder and chronic tic disorders. *Journal of Neural Transmission*, *115*(2), 235–239.
- Rojas-Líbano, D., Wainstein, G., Carrasco, X., Aboitiz, F., Crossley, N., & Ossandón, T. (2019). A pupil size, eye-tracking and neuropsychological dataset from ADHD children during a cognitive task. *Scientific Data*, *6*(1), 1–6.
- Roman, M. W. (2010). Treatments for childhood ADHD part II: Non-pharmacological and novel treatments. *Issues in Mental Health Nursing*, *31*(9), 616–618.
- Rommelse, N. N. J., Stigchel, S. Van Der, & Sergeant, J. A. (2008). A Review on Eye Movement Studies in Childhood and Adolescent Psychiatry. *Brain and Cognition*, *68*(3), 391–414. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.025>
- Rouse, M., Borsting, E., Mitchell, G. L., Kulp, M. T., Scheiman, M., Amster, D., ... Group, C. S. (2009). Academic behaviors in children with convergence insufficiency with and without parent-reported ADHD. *Optometry and Vision Science : Official Publication of the American Academy of Optometry*, *86*(10), 1169–1177. <https://doi.org//dx.doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181baad13>
- Rouse, M. W., Borsting, E., Hyman, L., Hussein, M., Cotter, S. A., Flynn, M., ... De Land, P. N. (1999). Frequency of convergence insufficiency among fifth and sixth graders. The Convergence Insufficiency and Reading Study (CIRS) group. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, *76*(9), 643–649.
- Rouse, M. W., Borsting, E. J., Lynn Mitchell, G., Scheiman, M., Cotter, S. A., Cooper, J., ... Group, C. I. T. T. (2004). Validity and reliability of the revised convergence insufficiency symptom survey in adults. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *24*(5), 384–390.
- Rouse, M. W., Nestor, E. M., Parot, C. J., & DeLAND, P. N. (2004). A Reevaluation of the Developmental Eye Movement (DEM) Test's Repeatability. *Optometry and Vision*

*Science*, 81(12), 934–938.

Saad, J. F., Kohn, M. R., Clarke, S., Lagopoulos, J., & Hermens, D. F. (2018). Is the theta/beta EEG marker for ADHD inherently flawed? *Journal of Attention Disorders*, 22(9), 815–826.

Salehi, B., Mohammadbeigi, A., Sheykholeslam, H., Moshiri, E., & Dorreh, F. (2016). Omega-3 and Zinc supplementation as complementary therapies in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Research in Pharmacy Practice*, 5(1), 22.

Samuels, E. R., & Szabadi, E. (2008). Functional neuroanatomy of the noradrenergic locus coeruleus: its roles in the regulation of arousal and autonomic function part II: physiological and pharmacological manipulations and pathological alterations of locus coeruleus activity in humans. *Current Neuropharmacology*, 6(3), 254–285.

Saw, S.-M., Shankar, A., Tan, S.-B., Taylor, H., Tan, D. T. H., Stone, R. A., & Wong, T.-Y. (2006). A cohort study of incident myopia in Singaporean children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 47(5), 1839–1844.

Sayal, K., Prasad, V., Daley, D., Ford, T., & Coghill, D. (2018). ADHD in children and young people: prevalence, care pathways, and service provision. *The Lancet Psychiatry*, 5(2), 175–186.

Schatz, N. K., Fabiano, G. A., Cunningham, C. E., Waschbusch, D. A., Jerome, S., Lupas, K., & Morris, K. L. (2015). Systematic review of patients' and parents' preferences for ADHD treatment options and processes of care. *The Patient-Patient-Centered Outcomes Research*, 8(6), 483–497.

Scheiman, M., & Rouse, M. W. (2006). *Optometric management of learning-related vision problems* (2nd ed.). St Louis: Mosby Elsevier Health Sciences.

Scheiman, M., & Wick, B. (2008). *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders* (3rd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams

& Wilkins.

Schor, C. M. (1992). A dynamic model of cross-coupling between accommodation and convergence: Simulations of step and frequency responses. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 69(4), 258–269.

Schubert, I., Köster, I., & Lehmkuhl, G. (2010). The changing prevalence of attention-deficit/hyperactivity disorder and methylphenidate prescriptions: a study of data from a random sample of insurees of the AOK Health Insurance Company in the German State of Hesse, 2000–2007. *Deutsches Ärzteblatt International*, 107(36), 615.

Seassau, M., Gérard, C. L., Bui-Quoc, E., & Bucci, M. P. (2014). Binocular saccade coordination in reading and visual search: a developmental study in typical reader and dyslexic children. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8, 1–11.  
<https://doi.org/10.3389/fnint.2014.00085>

Seidman, L. J., Valera, E. M., & Makris, N. (2005). Structural brain imaging of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1263–1272.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.11.019>

Shang, C. Y., & Gau, S. S. (2011). Visual memory as a potential cognitive endophenotype of attention deficit hyperactivity disorder. *Psychological Medicine*, 41(12), 2603.

Shankar, S., Evans, M. A., & Bobier, W. R. (2007). Hyperopia and emergent literacy of young children: pilot study. *Optometry and Vision Science*, 84(11), 1031–1038.

Sharma, A., & Couture, J. (2014). A review of the pathophysiology, etiology, and treatment of attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Annals of Pharmacotherapy*, 48(2), 209–225.

Shaw, P., Eckstrand, K., Sharp, W., Blumenthal, J., Lerch, J. P., Greenstein, D., ... Rapoport, J. L. (2007). Attention-deficit/hyperactivity disorder is characterized by a delay in cortical maturation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(49), 19649–19654.

- Sheedy, J. E., & Saladin, J. J. (1977). Phoria, vergence, and fixation disparity in oculomotor problems. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, *54*(7), 474–478.
- Sheedy, J. E., & Saladin, J. J. (1978). Association of symptoms with measures of oculomotor deficiencies. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, *55*(10), 670–676.
- Shepherd, M., Findlay, J. M., & Hockey, R. J. (1986). The Relationship between Eye Movements and Spatial Attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *38*(3), 475–491. <https://doi.org/10.1080/14640748608401609>
- Sheppard, A. L., & Davies, L. N. (2010). Clinical evaluation of the Grand Seiko Auto Ref/Keratometer WAM-5500. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *30*(2), 143–151. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2009.00701.x>
- Sibley, M. H., Kuriyan, A. B., Evans, S. W., Waxmonsky, J. G., & Smith, B. H. (2014). Pharmacological and psychosocial treatments for adolescents with ADHD: An updated systematic review of the literature. *Clinical Psychology Review*, *34*(3), 218–232.
- Slee, V. N. (1978). The International classification of diseases: ninth revision (ICD-9). American College of Physicians.
- Slobodin, O., & Davidovitch, M. (2019). Gender differences in objective and subjective measures of ADHD among clinic-referred children. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*, 441.
- Sole Puig, M., Pallarés, J. M., Perez Zapata, L., Puigcerver, L., Cañete, J., & Supèr, H. (2016). Attentional selection accompanied by eye vergence as revealed by event-related brain potentials. *Plos One*, *11*(12), e0167646.
- Solé Puig, M., Pérez Zapata, L., Aznar-Casanova, J. A., & Supèr, H. (2013). A Role of Eye Vergence in Covert Attention. *PLoS ONE*, *8*(1), e52955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052955>

- Sparks, R. L., Patton, J., & Murdoch, A. (2014). Early Reading Success and its Relationship to Reading Achievement and Reading Volume: Replication of “10 Years Later.” *Reading and Writing*, 27(1), 189–211. <https://doi.org/10.1007/s11145-013-9439-2>
- Spence, S. . (1997). Structure of Anxiety Symptoms Among Children: A Confirmatory Factor-Analytic Study. *Journal of Abnormal Psychology*, 106(2), 280–297.
- Spencer, T. J., Biederman, J., & Mick, E. (2007). Attention-deficit/hyperactivity disorder: diagnosis, lifespan, comorbidities, and neurobiology. *Journal of Pediatric Psychology*, 32(6), 631–642.
- Sterner, B., Gellerstedt, M., & Sjöström, A. (2006). Accommodation and the relationship to subjective symptoms with near work for young school children. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 26(2), 148–155.
- Stevens, A. A., Maron, L., Nigg, J. T., Cheung, D., Ester, E. F., & Awh, E. (2012). Increased sensitivity to perceptual interference in adults with attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 18(3), 511.
- Still, G. F. (1902). Some abnormal psychological conditions in children. *Lancet*.
- Storebø, O. J., Pedersen, N., Ramstad, E., Kielsholm, M. L., Nielsen, S. S., Krogh, H. B., ... Gerner, T. (2018). Methylphenidate for attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) in children and adolescents—assessment of adverse events in non-randomised studies. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (5).
- Tannock, R., Banaschewski, T., & Gold, D. (2006). Color naming deficits and attention-deficit/hyperactivity disorder: A retinal dopaminergic hypothesis. *Behavioral and Brain Functions*, 2(1), 1–8.
- Tannock, R., & Brown, T. E. (2000). Attention-deficit disorders with learning disorders in children and adolescents.



Tannock, R., Martinussen, R., & Frijters, J. (2000). Naming Speed Performance and Stimulant Effects Indicate Effortful, Semantic Processing Deficits in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 28(3), 237–252.

Taylor, S. E. (2000). *Visagraph eye-movement recording system* (1st ed.). New York: Taylor Associates/Communications, Inc.

Thaler, V., Urton, K., Heine, A., Hawelka, S., Engl, V., & Jacobs, A. M. (2009). Neuropsychologia Different behavioral and eye movement patterns of dyslexic readers with and without attentional deficits during single word reading &. *Neuropsychologia*, 47(12), 2436–2445. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.04.006>

Thapar, A., Cooper, M., Eyre, O., & Langley, K. (2013). Practitioner review: what have we learnt about the causes of ADHD? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(1), 3–16.

Thiagarajan, P., & Ciuffreda, K. J. (2013). Visual fatigue and accommodative dynamics in asymptomatic individuals. *Optometry and Vision Science*, 90(1), 57–65. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e31827a233e>

Tiadi, A., Seassau, M., Gerard, C., & Bucci, M. P. (2016). Differences Between Dyslexic and Non-Dyslexic Children in the Performance of Phonological Visual-Auditory Recognition Tasks: An Eye-Tracking Study. *PloS One*, 11(7), e0159190. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159190>

Tosha, C., Borsting, E., Ridder, W. H., & Chase, C. (2009). Accommodation response and visual discomfort. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 29(6), 625–633. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2009.00687.x>

Treceño, C., Martín Arias, L. H., Sáinz, M., Salado, I., García Ortega, P., Velasco, V., ... Carvajal, A. (2012). Trends in the consumption of attention deficit hyperactivity disorder medications in Castilla y León (Spain): changes in the consumption pattern following the

introduction of extended release methylphenidate. *Pharmacoepidemiology and Drug Safety*, 21(4), 435–441.

Tripp, G., & Wickens, J. R. (2009). Neurobiology of ADHD. *Neuropharmacology*, 57(7–8), 579–589.

Unsworth, N., & Robison, M. K. (2016). Pupillary correlates of lapses of sustained attention. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 16(4), 601–615.

<https://doi.org/10.3758/s13415-016-0417-4>

Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2015). Verbal and visual-spatial working memory and mathematical ability in different domains throughout primary school. *Memory & Cognition*, 43(3), 367–378.

van der Heijden, A. H. C. (2003). *Selective attention in vision*. Routledge.

van der Wel, P., & van Steenbergen, H. (2018). Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(6), 2005–2015.

<https://doi.org/10.3758/s13423-018-1432-y>

Van Wijk, C. H. (2020). Adult ADHD in the South African workplace: the usefulness of a self-report screening measure and preliminary prevalence estimates. *South African Journal of Psychology*, 50(2), 262–273.

Varela Casal, P., Lorena Esposito, F., Morata Martínez, I., Capdevila, A., Solé Puig, M., de la Osa, N., ... Cañete, J. (2019). Clinical Validation of Eye Vergence as an Objective Marker for Diagnosis of ADHD in Children. *Journal of Attention Disorders*, 23(6), 599–614.

<https://doi.org/10.1177/1087054717749931>

Vasiliadis, H.-M., Diallo, F. B., Rochette, L., Smith, M., Langille, D., Lin, E., ... Renaud, J. (2017). Temporal trends in the prevalence and incidence of diagnosed ADHD in children and young adults between 1999 and 2012 in Canada: a data linkage study. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 62(12), 818–826.

- Verret, C., Guay, M., Berthiaume, C., Gardiner, P., & Béliveau, L. (2012). A Physical Activity Program Improves Behavior and Cognitive Functions in Children With ADHD: An Exploratory Study. *Journal of Attention Disorders, 16*, 71–80.  
<https://doi.org/10.1177/1087054710379735>
- Vicario, M. I. H., & Esperón, C. S. (2008). Trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). *Pediatría Integral, 177*–197.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(2), 57–63.
- Vision Vector. (1991). CSV-1000 Product Manual. *Greenville, Ohio: Vector Vision.*
- Wahn, B., Ferris, D. P., Hairston, W. D., & König, P. (2016). Pupil Sizes Scale with Attentional Load and Task Experience in a Multiple Object Tracking Task. *PLOS ONE, 11*(12), e0168087. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168087>
- Wainstein, G., Rojas-Líbano, D., Crossley, N. A., Carrasco, X., Aboitiz, F., & Ossandón, T. (2017). Pupil size tracks attentional performance in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Scientific Reports, 7*(1), 1–9.
- Wallis, D. (2010). The search for biomarkers for attention deficit/hyperactivity disorder. *Drug News & Perspectives, 23*(7), 438–449.
- Walter, E., & Dassonville, P. (2008). Visuospatial contextual processing in the parietal cortex: an fMRI investigation of the induced Roelofs effect. *Neuroimage, 42*(4), 1686–1697.
- Wang, B., & Ciuffreda, K. (2006). Depth-of-focus of the human eye: Theory and clinical implications. *Survey of Ophthalmology, 51*(1), 75–85.  
<https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2005.11.003>
- Wang, Y., Ali, Z., Subramani, S., Biswas, S., Fenerty, C., Henson, D. B., & Aslam, T. (2017). Normal Threshold Size of Stimuli in Children Using a Game-Based Visual Field Test.

- Ophthalmology and Therapy*, 6(1), 115–122. <https://doi.org/10.1007/s40123-016-0071-5>
- Ward, P., & Charman, W. (1985). Effect of pupil size on steady state accommodation. *Vision Research*, 25(9), 1317–1326. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(85\)90047-1](https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90047-1)
- Webber, A., Wood, J., Gole, G., & Brown, B. (2011). DEM Test, Visagraph Eye Movement Recordings, and Reading Ability in Children. *Optometry and Vision Science*, 88(2), 295–302.
- Wechsler, D. (2005). *Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants: WISC-IV (Wechsler Intelligence Scale for infants)* (4th ed.). Paris: ECPA, les Éditions du centre de psychologie appliquée.
- Weil, R. S., Schrag, A. E., Warren, J. D., Crutch, S. J., Lees, A. J., & Morris, H. R. (2016). Visual dysfunction in Parkinson's disease. *Brain*, 139(11), 2827–2843.
- Weiss, M., & Weiss, G. (2002). Attention deficit hyperactivity disorder Child and Adolescent Psychiatry, A Comprehensive Textbook. Philadelphia: Lippincott William and Wilkins.
- Wetzels, R., Matzke, D., Lee, M. D., Rouder, J. N., Iverson, G. J., & Wagenmakers, E. J. (2011). Statistical Evidence in Experimental Psychology: An Empirical Comparison Using 855 t Tests. *Perspectives on Psychological Science*, 6(3), 291–298. <https://doi.org/10.1177/1745691611406923>
- Whitman, B. Y., Lindsay, R. L., Cruz, O., & Accardo, P. J. (1997). The effect of ritalin (methylphenidate) on visual acuity of children treated for attention-deficit/hyperactivity disorder. 587. *Pediatric Research*, 41(4), 100.
- Wilens, T. E., Biederman, J., & Spencer, T. J. (2002). Attention deficit/hyperactivity disorder across the lifespan. *Annual Review of Medicine*, 53(1), 113–131.
- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., McGrath, L. M., Chhabildas, N. A., Olson, R. K., DeFries, J. C., & Pennington, B. F. (2010). Etiology and Neuropsychology of Comorbidity Between

RD and ADHD: The Case for Multiple-Deficit Models. *Cortex*, 46(10), 1345–1361.

<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.06.009>

Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Olson, R. K., Chhabildas, N., & Hulslander, J. (2005).

Neuropsychological Analyses of Comorbidity Between Reading Disability and Attention Deficit Hyperactivity Disorder: In Search of the Common Deficit. *Developmental Neuropsychology*, 27(1), 35–78. [https://doi.org/10.1207/s15326942dn2701\\_3](https://doi.org/10.1207/s15326942dn2701_3)

Williams, W. R., Latif, A. H. A., Hannington, L., & Watkins, D. R. (2005). Hyperopia and educational attainment in a primary school cohort. *Archives of Disease in Childhood*, 90(2), 150–153.

Wilmer, J. B., & Buchanan, G. M. (2009). Nearpoint phorias after nearwork predict ADHD symptoms in college students. *Optometry and Vision Science : Official Publication of the American Academy of Optometry*, 86(8), 971. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19593239>

Witkovsky, P. (2004). Dopamine and retinal function. *Documenta Ophthalmologica*, 108(1), 17–39.

Wojciechowski, R., & Hysi, P. G. (2013). Focusing in on the complex genetics of myopia. *PLoS Genetics*, 9(4), e1003442. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003442>

Wolraich, M. L., Bard, D. E., Neas, B., Doffing, M., & Beck, L. (2013). The Psychometric Properties of the Vanderbilt Attention-Deficit Hyperactivity Disorder Diagnostic teacher Rating Scale in a Community Population. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 34(2), 83–93.

Wolraich, M. L., Chan, E., Froehlich, T., Lynch, R. L., Bax, A., Redwine, S. T., ... Hagan, J. F. (2019). ADHD diagnosis and treatment guidelines: a historical perspective. *Pediatrics*, 144(4).

Wolraich, M. L., Lambert, W., Doffing, M. A., Bickman, L., Simmons, T., & Worley, K.

- (2003). Psychometric Properties of the Vanderbilt ADHD Diagnostic Parent Rating Scale in a Referred Population. *Journal of Pediatric Psychology*, 28(8), 559–567.  
<https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsg046>
- World Health Organization. (1992). *The ICD-10 classification of mental and behavioural disorders: clinical descriptions and diagnostic guidelines. Weekly Epidemiological Record= Relevé épidémiologique hebdomadaire* (Vol. 67).
- World Health Organization. (2018). International classification of diseases for mortality and morbidity statistics (11th Revision).
- Xiang, F., He, M., & Morgan, I. G. (2012). The impact of parental myopia on myopia in Chinese children: population-based evidence. *Optometry and Vision Science*, 89(10), 1487–1496.
- Yallop, L., Brownell, M., Chateau, D., Walker, J., Warren, M., Bailis, D., & LeBow, M. (2015). Lifetime prevalence of attention-deficit hyperactivity disorder in young adults: examining variations in the socioeconomic gradient. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 60(10), 432–440.
- Yarbus, A. L. (2013). *Eye movements and vision*. Springer.
- Yeshurun, Y., & Carrasco, M. (1998). Attention improves or impairs visual performance by enhancing spatial resolution. *Nature*, 396(6706), 72–75.
- Yorbik, O., Ozdag, M. F., Olgun, A., Senol, M. G., Bek, S., & Akman, S. (2008). Potential effects of zinc on information processing in boys with attention deficit hyperactivity disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 32(3), 662–667.
- Young, S. (2002). A model of psychotherapy for adults with ADHD.
- Zargari Marandi, R., Madeleine, P., Omland, Ø., Vuillerme, N., & Samani, A. (2019). An

oculometrics-based biofeedback system to impede fatigue development during computer work: A proof-of-concept study. *PLOS ONE*, *14*(5), e0213704.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213704>

Zhu, Y., Liu, W., Li, Y., Wang, X., & Winterstein, A. G. (2018). Prevalence of ADHD in publicly insured adults. *Journal of Attention Disorders*, *22*(2), 182–190.

Ziereis, S., & Jansen, P. (2015). Effects of physical activity on executive function and motor performance in children with ADHD. *Research in Developmental Disabilities*, *38*, 181–191.

Zimmer, L. (2009). Positron emission tomography neuroimaging for a better understanding of the biology of ADHD. *Neuropharmacology*, *57*(7–8), 601–607.

Zito, J. M., Safer, D. J., Gardner, J. F., Boles, M., & Lynch, F. (2000). Trends in the prescribing of psychotropic medications to preschoolers. *Jama*, *283*(8), 1025–1030.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Sintomatología según DSM-V y CIE 11.

#### *Sintomatología según DSM-V.*

##### ***Inatención:***

- a. *Con frecuencia falla en prestar la debida atención a los detalles o por descuido se cometen errores en las tareas escolares, en el trabajo o durante otras actividades (por ejemplo, se pasan por alto o se pierden detalles, el trabajo no se lleva a cabo con precisión).*
- b. *Con frecuencia tiene dificultades para mantener la atención en tareas o actividades recreativas (por ejemplo, tiene dificultad para mantener la atención en clases, conversaciones o lectura prolongada).*
- c. *Con frecuencia parece no escuchar cuando se le habla directamente (por ejemplo, parece tener la mente en otras cosas, incluso en ausencia de cualquier distracción aparente).*
- d. *Con frecuencia no sigue las instrucciones y no termina las tareas escolares, los quehaceres o los deberes laborales (por ejemplo, inicia tareas pero se distrae rápidamente y se evade con facilidad).*
- e. *Con frecuencia tiene dificultad para organizar tareas y actividades (por ejemplo, dificultad para gestionar tareas secuenciales; dificultad para poner los materiales y pertenencias en orden; descuido y desorganización en el trabajo; mala gestión del tiempo; no cumple los plazos).*
- f. *Con frecuencia evita, le disgusta o se muestra poco entusiasta en iniciar tareas que requieren un esfuerzo mental sostenido (por ejemplo tareas escolares o quehaceres domésticos; en adolescentes mayores y adultos, preparación de informes, completar formularios, revisar artículos largos).*
- g. *Con frecuencia pierde cosas necesarias para tareas o actividades (por ejemplo, materiales escolares, lápices, libros, instrumentos, billetero, llaves, papeles de trabajo, gafas, móvil).*
- h. *Con frecuencia se distrae con facilidad por estímulos externos (para adolescentes mayores y adultos, puede incluir pensamientos no relacionados).*



- i. *Con frecuencia olvida las actividades cotidianas (por ejemplo, hacer las tareas, hacer las diligencias; en adolescentes mayores y adultos, devolver las llamadas, pagar las facturas, acudir a las citas).*

### ***Hiperactividad e impulsividad***

- a. *Con frecuencia juguetea o golpea con las manos o los pies o se retuerce en el asiento.*
- b. *Con frecuencia se levanta en situaciones en que se espera que permanezca sentado (por ejemplo, se levanta en clase, en la oficina o en otro lugar de trabajo, en situaciones que requieren mantenerse en su lugar.*
- c. *Con frecuencia corretea o trepa en situaciones en las que no resulta apropiado. (Nota: En adolescentes o adultos, puede limitarse a estar inquieto.)*
- d. *Con frecuencia es incapaz de jugar o de ocuparse tranquilamente en actividades recreativas.*
- e. *Con frecuencia está “ocupado”, actuando como si “lo impulsara un motor” (por ejemplo, es incapaz de estar o se siente incómodo estando quieto durante un tiempo prolongado, como en restaurantes, reuniones; los otros pueden pensar que está intranquilo o que le resulta difícil seguirlos).*
- f. *Con frecuencia habla excesivamente.*
- g. *Con frecuencia responde inesperadamente o antes de que se haya concluido una pregunta (por ejemplo, termina las frases de otros; no respeta el turno de conversación).*
- h. *Con frecuencia le es difícil esperar su turno (por ejemplo, mientras espera una cola).*
- i. *Con frecuencia interrumpe o se inmiscuye con otros (por ejemplo, se mete en las conversaciones, juegos o actividades; puede empezar a utilizar las cosas de otras personas sin esperar o recibir permiso; en adolescentes y adultos, puede inmiscuirse o adelantarse a lo que hacen los otros).*

### ***Sintomatología según CIE-11.***

#### ***Déficit de atención***

- a. *Frecuente incapacidad para prestar atención a los detalles junto a errores por descuido en las labores escolares y en otras actividades.*
- b. *Frecuente incapacidad para mantener la atención en las tareas o en el juego.*
- c. *A menudo aparenta no escuchar lo que se le dice.*

- d. *Imposibilidad persistente para cumplimentar las tareas escolares asignadas u otras misiones.*
- e. *Disminución de la capacidad para organizar tareas y actividades.*
- f. *A menudo evita o se siente marcadamente incómodo ante tareas como los deberes escolares, que requieren un esfuerzo mental mantenido.*
- g. *A menudo pierde objetos necesarios para unas tareas o actividades, como material escolar, libros, etc.*
- h. *Fácilmente se distrae ante estímulos externos.*
- i. *Con frecuencia es olvidadizo en el curso de las actividades diarias.*

### ***Hiperactividad***

- a. *Con frecuencia muestra inquietud con movimientos de manos o pies, o removiéndose en su asiento.*
- b. *Abandona el asiento en el aula o en otras situaciones en las que se espera que permanezca sentado.*
- c. *A menudo corretea o trepa en exceso en situaciones inapropiadas.*
- d. *Inadecuadamente ruidoso en el juego o tiene dificultades para entretenerse tranquilamente en actividades lúdicas.*
- e. *Persistentemente exhibe un patrón de actividad excesiva que no es modificable sustancialmente por los requerimientos del entorno social.*

### ***Impulsividad***

- a. *Con frecuencia hace exclamaciones o responde antes de que se le hagan las preguntas completas.*
- b. *A menudo es incapaz de guardar turno en las colas o en otras situaciones en grupo.*
- c. *A menudo interrumpe o se entromete en los asuntos de otros.*
- d. *Con frecuencia habla en exceso sin contenerse ante las situaciones sociales.*

**ANEXO 2.** Cuestionario: Convergence Insufficiency Symptom Survey (CISS) que evalúa la presencia de sintomatología de insuficiencia de convergencia. (Borsting et al., 2003)

## Cuestionario de Sintomatología asociada a Insuficiencia de Convergencia. CISS

**Instrucciones:** Este cuestionario deberá ser completado por padre/madre/tutor del niño/a, el cual puede estar presente durante su realización si lo cree necesario. Conteste de forma sincera las siguientes cuestiones con motivo de conocer la sintomatología del niño/a. Para ello, **marque con una cruz** la casilla que refleje la frecuencia con la que ocurren los siguientes síntomas.

Su hijo/a:		Nunca	Casi Nunca	A veces	Bastante a menudo	Siempre
1	¿Siente los ojos cansados cuando lee o trabaja de cerca?					
2	¿Siente incomodidad cuando lee o trabaja de cerca?					
3	¿Le duele la cabeza cuando lee o trabaja de cerca?					
4	¿Siente sueño cuando lee o trabaja de cerca?					
5	¿Pierde la concentración cuando lee o trabaja de cerca?					
6	¿Tiene dificultad para recordar algo que ha leído?					
7	¿Ve doble cuando lee o trabaja de cerca?					
8	¿Las palabras se mueven, nadan o flotan cuando lee o trabaja de cerca?					
9	¿Cree que lee despacio?					
10	¿Le duele los ojos cuando lee o trabaja de cerca?					
11	¿Siente los ojos irritados cuando lee o trabaja de cerca?					
12	¿Siente tirantez alrededor de los ojos cuando lee o trabaja de cerca?					
13	¿Nota que las palabras se emborronan cuando lee o trabaja de cerca?					
14	¿Se pierde mientras lee o hace trabajos de cerca?					
15	¿Tiene que releer el mismo renglón?					

Se asignan valores entre 0 al 4 a cada ítem, siendo 0 nunca, 1 casi nunca, 2 a veces, 3 bastante a menudo y 4 siempre y cuyo criterio de normalidad lo sitúa en una puntuación total < 16, que se obtiene al sumar los valores indicados en cada uno de los ítems (Borsting et al., 2003).

**ANEXO 3.** Cuestionario Conlon que evalúa la presencia de sintomatología por disconfort visual por alteraciones binoculares o acomodativas (Conlon et al., 1999)

A continuación, le pedimos que rellene el siguiente cuestionario de sintomatología visual, responda a las 23 preguntas señalando con una X en la casilla que corresponda.

“Conlon questionnaire” realizado por (Conlon et al., 1999)

<b>Nombre:</b> <b>Edad:</b>	Nunca sucede	Ocasionalmente (un par de veces al año)	A menudo (cada pocas semanas)	Casi siempre
1 Cuando lee, ¿Las palabras o las letras aparecen difuminadas o esparcidas?				
2 ¿Tiene dificultad leyendo las palabras en una página porque empiezan a parpadear o brillar?				
3 ¿El fondo blanco detrás del texto parece moverse, parpadear o brillar haciendo difícil leer las letras?				
4 ¿Tiene dificultad para ver más de una o dos palabras en una misma línea enfocadas?				
5 Cuando lee, ¿Las palabras en la página empiezan a moverse o flotar?				
6 Cuando lee una página impresa en negro con el fondo blanco, ¿el fondo parece sobreponerse a las letras haciendo difícil leerlas?				
7 Cuando lee, ¿Las palabras en una página de texto claro parecen desvanecerse en el fondo y luego reaparecen?				
8 ¿Las letras en una página aparecen como dobles cuando está leyendo?				
9 Cuando lee letras negras sobre un fondo blanco, ¿Tiene que mover la página o parpadear continuamente para evitar deslumbramientos que parecen venir del fondo?				
10 ¿Sufre dolor de cabeza al leer un periódico o revista con buena impresión?				
11 ¿Tiene que mover tus ojos alrededor de la página, o continuamente parpadear o frotarse los ojos para seguir viendo fácilmente el texto cuando estás leyendo?				
12 ¿Cuándo está leyendo tiene que “poner bizcos” los ojos para conseguir ver claramente las palabras borrosas o desenfocadas?				
13 ¿Las letras en una página de texto nítido se hacen borrosas cuando está leyendo?				
14 Cuando lee ¿Tiene dificultad para mantener las palabras de un texto nítido enfocadas?				
15 ¿Siente los ojos acuosos, rojos, doloridos, tensos, cansados, secos o con sensación de arenilla después de haber estado leyendo un periódico o revista con buena impresión?				
16 ¿Siente los ojos acuosos, rojos, doloridos, tensos, cansados, secos, con sensación de arenilla o se los frota mucho cuando ve un objeto con patrón de rayas (tablero de ajedrez)?				
17 ¿Tiene que usar una lápiz o el dedo para no perderse cuando está leyendo una novela o revista?				
18 Como resultado de las dificultades anteriores, ¿Le parece que lee despacio?				
19 ¿Con que frecuencia tiene dolor de cabeza cuando trabaja bajo luces fluorescentes?				
20 ¿Siente sus ojos acuosos, rojos, doloridos, tensos, cansados, secos o con sensación de arenilla cuando trabaja bajo luces fluorescentes?				
21 Cuando lee bajo luces fluorescentes o luz solar brillante, ¿el deslumbramiento por las páginas con intensa luz blanca provocan que mueva la página para que pueda ver las palabras claramente?				
22 Cuando lee, ¿Sin intención, re-lee la misma palabra en una línea de texto?				
23 Cuando lee ¿Sin intención re-lee la misma línea?				

Este test consta de 23 ítems y evalúa la presencia de sintomatología por disconfort visual por alteraciones binoculares o acomodativas (Conlon et al., 1999). Cada ítem es puntuado del 0 al 3, siendo 0 nunca sucede, 1 ocasionalmente (un par de veces al año), 2 a menudo (cada pocas semanas) y 3 casi siempre, y cuyo criterio de clasificación de sintomatología también es obtenida al sumar la puntuación concedida a cada ítem, considerándose de 0 a 24 (bajo disconfort visual), de 25 a 48 (disconfort visual moderado) y de 49 a 69 (alta incomodidad visual) (Borsting, Chase, & Ridder III, 2007).

## AGRADECIMIENTOS

Son ya casi 4 años desde que inicié esta andadura que es la tesis doctoral, y en este periodo de tiempo no son pocas las personas a las que tengo que dar mi más sincero agradecimiento por su ayuda y compromiso. De hecho, sin su granito de arena en algunos casos y montañas enteras en otros, el proceso de este camino se hubiese hecho realmente complicado.

En primer lugar, agradecer a todos los padres y niños que han sido partícipes de este estudio, sin ellos, este sueño nunca se hubiese hecho realidad. En segundo lugar, he de mostrar mi mas sentida gratitud al apoyo y dedicación recibida por parte de mis dos directores de tesis, sin ellos, este estudio, no es que hubiese sido más complicado, es que directamente hubiese sido imposible realizarlo. Mil gracias a mi director de Tesis Raimundo Jiménez, por su apoyo incondicional en todos los aspectos, por su tiempo dedicado a mi persona de manera desinteresada, por tratarme desde un principio como un profesional más sin subestimar que era un recién llegado en la materia, y por convertirse, desde un principio, en mi referente en el campo que me ha enseñado a amar como es el de la optometría, sin ti este proyecto nunca hubiese sido posible. De igual manera, gracias a mi director de Tesis Antonio Muñoz, por la ayuda incondicional desde un principio para llevar a buen puerto este proyecto, enseñándome a valorar el sentido que tiene el ayudar a un niño; por no poner ninguna queja a la hora de ser mi director de referencia y poder optar, para más tarde conseguir una beca FPU, que sin su colaboración nunca hubiese sido posible, aunque eso repercutiera en tener que posponer 2 años más su jubilación. Gracias por todas esas reuniones que se convertían en un chorro de ánimo para seguir adelante en este proyecto, y por todas esas mañanas de jueves en las que veía una llamada con su nombre en la pantalla del teléfono y me decía: “un niño más para ver...”, y una oportunidad más para seguir aprendiendo.

Gracias tanto al departamento de Pediatría como al departamento de Óptica de la Universidad de Granada, por ayudarme a llevar a buen puerto este trabajo. El primero, porque sin la colaboración de todo el equipo de pediatría hubiese sido imposible alcanzar la eficacia diagnóstica en este grupo de niños, hecho que hubiese repercutido en la calidad del estudio presentado. Y el segundo,

ya que ha sido en el departamento de óptica donde, además de ser el lugar donde se ha realizado el bruto de esta investigación, se ha convertido en mi “segunda casa”, en el buen sentido de la palabra; recibiendo todo tipo de apoyo por parte del equipo del departamento, pero con especial mención a ciertas personas que sin ellos este viaje en el campo de la investigación hubiese sido algo más tedioso. Dar las gracias a Carolina, quien fue la primera persona que apostó por mí para iniciarme en los devenires de la investigación allá por los inicios del TFG. Gracias a José Antonio García, quien me ayudó y compartió mi propuesta de seguir por este camino de la investigación, y al que a día de hoy debo agradecerle que pertenezca al grupo de investigación de cuyos integrantes considero más que amigos. Mil gracias a Jesús Vera, a quien considero el alma del equipo por su actitud, carisma y trabajo incondicional, por estar siempre dispuesto a ayudar o aconsejar, facilitando en todo momento el buen desarrollo de los estudios y sin pedir nada a cambio. Si hay alguien que ha contribuido a mi desarrollo investigador y a que esta tesis salga adelante, a parte de mis dos directores, ese es él y siempre le estaré agradecido. Y a esa gran investigadora que es Beatriz Redondo, compañera de fatigas desde mis primeras andadas en el campo de la optometría, quien se ha convertido en apoyo incondicional tanto en los buenos como, sobre todo, en los malos momentos de esta andadura. Gracias por ponerme las pilas al ver en ti como ejemplo, que si trabajas, crees y disfrutas con tu trabajo los resultados salen más pronto que tarde. Agradecer también a todos los doctorandos del departamento de óptica, algunos ya doctores, que me han acompañado en este viaje, empezando por Sonia, Miriam, Javi, María y acabando por Ana Belén con quienes he aprendido, compartido y disfrutado cada uno de esos momentos libres que quedan entre trabajo y trabajo. Y Finalmente, como no, acordarme de Peter Macko, que pasó de forma casi esporádica por el departamento de óptica, pero con su trabajo incondicional y altruista ha logrado ser artífice de que algunos de estos estudios hayan podido salir adelante. Muchas gracias a todos.

Pero si a alguien tengo que agradecer estar hoy aquí depositando mi Tesis Doctoral, es sin lugar a duda a mi familia, tanto de sangre como política. Porque siempre he recogido vuestro apoyo en cada una de las decisiones que la vida me ha hecho tomar y me han llevado a que a día de hoy

vaya a presentar esta tesis doctoral. Gracias a mis padres, mi hermana, mi cuñado y esa preciosidad de sobrina llamada Vera, gracias por ser como sois y creer siempre en mí y estar siempre ahí en todo momento, aunque la cosa se torciese de tal forma que nos hicieran cambiar radicalmente de aires. Gracias a mi familia política, Paco, María Jesús y Celia, por acogerme como a un hijo más y ayudarnos en el día a día a que todo este camino que ha pasado desde que inicié esta andadura de la óptica y la optometría haya sido mucho más fácil de llevar. Gracias a esas niñas, mi Diana y mi Silvia, mis dos tesoros, que cada noche me alegran el día pidiéndome un besito de buenas noches. Y gracias y mil veces gracias a ti, Soco, podría escribir un millón de páginas agradeciéndote cosas y me quedaría corto. Sin ti, hoy no estaría escribiendo estas palabras, has sido, eres y seguirás siendo mi pilar, mi amiga y mi compañera. Como decimos siempre, somos un equipo y mis logros son tus logros y es por eso que si a alguien quiero dedicar este doctorado es a ti y siempre a ti.

## FINANCIACIÓN

La investigación de esta Tesis Doctoral fue apoyada por el programa de becas del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España para la Formación del Profesorado Universitario (FPU-2017/00820).



## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Valores descriptivos (media± DE) de los cuestionarios CISS y Colon.

**Tabla 2.** Valores descriptivos (media ± DE) de agudeza visual, error refractivo y sensibilidad al contraste binocular.

**Tabla 3.** Valores descriptivos (media ± DE) de parámetros acomodativos y binoculares.

**Tabla 4.** Subpruebas y puntuaciones compuestas escaladas y los cocientes perceptivos de la prueba TVPS-3 para control, TDAH total, TDAH puro y TDAH con comorbilidades.

**Tabla 5.** Características descriptivas y promedios clínicos optométricos para los grupos TDAH y control.

**Tabla 6.** Valores descriptivos (Promedio ± desviación estándar) y estadísticos de los parámetros relacionados con la lectura para los grupos de TDAH y control.

**Tabla 7.** Valores descriptivos (media ± desviación estándar) de las variables visuales para todos los grupos y condiciones MOT.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Diferentes subtipos predominantes y su sintomatología preferencial. Figura modificada de Fernández López, 2020.

**Figura 2.** Integración sináptica de catecolaminas como la DA en el TDAH: DA (círculos amarillos) actúa sobre 5 receptores de DA (etiquetados como D1-D5) que pueden estar presentes en las neuronas postsinápticas (mostradas en azul). Los receptores D2 y D3 también están localizados en las neuronas presinápticas (mostradas en rojo oscuro). En ausencia de un potencial de acción, la terminal presináptica (A) libera una pequeña cantidad de DA vesicular en la sinapsis. Este actúa sobre los receptores presinápticos D2 / D3, que proporcionan una retroinhibición para inhibir la liberación de DA (B). Tras la llegada de un potencial de acción a la terminal presináptica (C), se libera una gran cantidad de DA vesicular en la sinapsis (D), que actúa sobre los receptores postsinápticos. La cantidad de DA liberada depende de la inhibición por retroalimentación proporcionada por la estimulación del receptor D2 / D3. La acción de DA sobre los receptores postsinápticos finaliza tras su recaptación en el terminal presináptico por el transportador de DA-1 (DAT-1) (E). Nota: TDAH = trastorno por déficit de atención con hiperactividad; DA = dopamina; DAT = transportador de dopamina. Figura modificada de Sharma & Couture, 2014.

**Figura 3.** Principales funciones de la dopamina, serotonina y norepinefrina. Figura modificada de Fernández López, 2020.

**Figura 4.** Patrón general del algoritmo seguido para la evaluación del trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Figura modificada de Vicario & Esperón, 2008

**Figura 5.** Patrón de algoritmo de opciones de tratamiento del TDAH (en España). a = Suele ser necesario en TDAH grave o moderado. En España va a ser metilfenidato. b = En niños muy pequeños (menores de 5-6 años) con TDAH leve a leve-moderado, o cuando hay factores psicosociales significativos, puede probarse primero tratamiento conductual. Debe acordarse con los padres un tiempo suficiente, pero limitado (2-3 meses), para decidir (si no mejora) pasar a añadir tratamiento con medicación. c = Valorar/derivar al especialista. d = En TDAH grave con comorbilidad. e = Podrá empezarse también con atomoxetina cuando esté disponible, según las características del paciente y la familia. Figura modificada de Vicario & Esperón, 2008.

**Figura 6.** Esquema de los movimientos sacádicos en la lectura. Nota: c = representa la comprensión del texto; s = corresponde a una microsácada; S = es el salto del cambio de línea. Imagen modificada de Perea, 2008

**Figura 7:** Tamaño de efecto con sus correspondientes intervalos de confianza del 90% para A) el grupo control frente al grupo de TDAH total; B) control vs. TDAH puro C) control vs TDAH con comorbilidades y D) TDAH puro vs. TDAH con comorbilidades del Test de habilidades perceptivas visuales (tercera edición). Los círculos negros colocados por encima de la línea discontinua indican valores más altos para el grupo control. DIS = discriminación visual; MEM = memoria visual; SPA = orientación espacial visual; FORM = constancia de la forma visual; SEQ = memoria secuencial visual; FG = figura-fondo; CLO = cierre visual; TDAH =Trastorno por déficit de atención e hiperactividad.

**Figura 8:** Rango percentil del Test de habilidades perceptivas visuales (tercera edición) en cada una de las subpruebas, habilidades perceptivas compuestas y estado general de percepción visual para los grupos control, TDAH total, TDAH puro y TDAH con comorbilidades. Las barras de errores representan la DE. ADHD = Trastorno por déficit de atención e hiperactividad.

**Figura 9:** Diferencias (en años) entre puntuaciones equivalente según la edad y la edad actual en cada una de las subpruebas, las habilidades perceptivas compuestas y el estado general de la percepción visual del Test de habilidades perceptivas visuales (Tercera edición) para los diferentes grupos de trastorno por déficit de atención e hiperactividad (ADHD) y los niños del grupo control. Los valores negativos denotan que la edad actual es más alta que la puntuación equivalente a la edad y viceversa. Las barras de error representan el error estándar. DIS = discriminación visual; MEM = memoria visual; SPA = orientaciones espaciales visuales; FORM = constancia de forma visual; SEQ = memoria secuencial visual; FG = figura-fondo; CLO = cierre visual.

**Figura 11.** Ilustración del seguimiento de objetos múltiples (MOT). Panel A, los círculos objetivo que se deben rastrear (dos en este ejemplo) se resaltan en color verde durante 3 segundos. Panel B, los círculos objetivo vuelven al color de inicio (negro), y todos los círculos comienzan a moverse siguiendo una trayectoria lineal aleatoria durante 30 segundos. Panel C, todos los círculos se detienen y se identifican con

un número que va del 0 al 5. En este punto, se pide a los participantes que identifiquen los círculos objetivo. Panel D, los objetivos vuelven a presentarse en color verde para comprobar la respuesta de los participantes.

**Figura 12.** Retraso acomodativo (panel A), variabilidad de la respuesta acomodativa (panel B) para cada grupo (niños no medicados con TDAH [nmADHD], niños medicados con TDAH [mADHD] y control) mientras se realizan las diferentes tareas MOT de complejidad (sin seguimiento o cero objetivos, seguimiento de un objetivo, dos objetivos y tres objetivos). \* Denota diferencias estadísticamente significativas con la condición de "cero objetivos" (valor de  $p$  corregido  $<0,05$ ). Las barras de error representan el intervalo de confianza del 95%.

## CURRICULUM VITAE

### *INFORMACIÓN PERSONAL*

**Nombre:** Rubén

**Apellidos:** Molina Romero

**DNI:** 74648877P

**E-mail** [rubenm@ugr.es](mailto:rubenm@ugr.es) ; [ruben80@correo.ugr.es](mailto:ruben80@correo.ugr.es)

**Fecha de nacimiento** 07/04/1980

**Nacionalidad** Española

### *FORMACIÓN ACADÉMICA*

**Título de Arquitectura Técnica Plan de 1977 (B.O.E. 07/02/77) (1999-2006).**  
Universidad de Granada. España

**Grado en Óptica y Optometría (2012-2016).** Universidad de Granada, España.

**Máster de Optometría Clínica y Óptica Avanzada (2016-2017).** Universidad de Granada, España.

### *PREMIOS Y AYUDAS*

Premio Extraordinario Fin de Grado en Óptica y Optometría, correspondiente al curso académico 2015/2016.

Beneficiario de la Ayuda para la Formación del Profesorado Universitario (FPU) en 2017 con referencia: FPU17/00820.

### *EXPERIENCIA DOCENTE*

**Curso 2018-2019:**

Asignatura de Optometría II (Prácticas) en el Departamento de Óptica de la Universidad de Granada. 60 horas.

**Curso 2019-2020:**

Asignatura de Tecnología de Lentes Oftálmicas II (Prácticas) en el Departamento de Óptica de la Universidad de Granada. 32 horas.

Asignatura de Optometría IV (Prácticas) en el Departamento de Óptica de la Universidad de Granada. 28 horas.

**Curso 2020-2021:**

Asignatura de Tecnología de Lentes Oftálmicas II (Prácticas) en el Departamento de Óptica de la Universidad de Granada. 32 horas.

Asignatura de Optometría IV (Prácticas) en el Departamento de Óptica de la Universidad de Granada. 28 horas.

*PUBLICACIONES CIENTÍFICAS*

1. Vera, J., Redondo, B., Molina, R., & Jiménez, R. (2021). Effects of wearing swimming goggles on non-invasive tear break-up time in a laboratory setting. *Journal of Optometry*. In Press. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2020.09.003>
2. Redondo, B., Vera, J., Ortega-Sánchez, A., Molina, R., & Jiménez, R. (2020). Effects of a blue-blocking screen filter on accommodative accuracy and visual discomfort. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 40(6), 790-800. <https://doi.org/10.1111/opo.12738>
3. Molina, R., Redondo, B., Di Stasi, L. L., Anera, R. G., Vera, J., & Jiménez, R. (2021). The short-term effects of artificially-impaired binocular vision on driving performance. *Ergonomics*, 64(2), 212-224. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1814427>
4. Jiménez, R., Molina, R., Redondo, B., & Vera, J. (2020). Effects of caffeine intake on the biomechanical properties of the cornea: a placebo-controlled, double-blind, crossover pilot study in low caffeine consumers. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 258(11), 2449-2458. <https://doi.org/10.1007/s00417-020-04835-0>
5. Redondo, B., Vera, J., Molina, R., Garcia, J. A., Catena, A., Muñoz-Hoyos, A., & Jimenez, R. (2020). Accommodation and pupil dynamics as potential objective predictors of behavioural performance in children with attention-

- deficit/hyperactivity disorder. *Vision Research*, 175, 32-40.  
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2020.06.005>
6. Vera, J., Redondo, B., Alvarez-Rodriguez, M., Molina, R., & Jimenez, R. (2020). The intraocular pressure responses to oral academic examination: The influence of perceived levels of public speaking anxiety. *Applied Ergonomics*, 88, 103158. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103158>
  7. Redondo, B., Vera, J., Molina, R., Davies, L. N., & Jiménez, R. (2020). Accommodative dynamics and attention: the influence of manipulating attentional capacity on accommodative lag and variability. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 40(4), 510-518. <https://doi.org/10.1111/opo.12690>
  8. Vera, J., Redondo, B., Molina, R., Cárdenas, D., & Jiménez, R. (2020). Acute Intraocular pressure responses to reading: the influence of body position. *Journal of glaucoma*, 29(7), 581-586.  
<https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001510>
  9. Redondo, B., Molina, R., Vera, J., Muñoz-Hoyos, A., Barrett, B. T., & Jiménez, R. (2020). Accommodative response in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): the influence of accommodation stimulus and medication. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 258(6), 1299-1307. <https://doi.org/10.1007/s00417-020-04645-4>
  10. Redondo, B., Vera, J., Carreño--Rodríguez, C., Molina-Romero, R., & Jiménez, R. (2020). Acute effects of caffeine on dynamic accommodative response and pupil size: a placebo-controlled, double-blind, balanced crossover study. *Current eye research*, 45(9), 1074-1081.  
<https://doi.org/10.1080/02713683.2020.1725060>
  11. Jiménez, R., Redondo, B., Molina, R., Martínez-Domingo, M. Á., Hernández-Andrés, J., & Vera, J. (2020). Short-term effects of text-background color combinations on the dynamics of the accommodative response. *Vision research*, 166, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.11.006>
  12. Redondo, B., Vera, J., Molina, R., & Jiménez, R. (2020). Short-term effects of caffeine intake on anterior chamber angle and intraocular pressure in low caffeine consumers. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 258(3), 613-619. <https://doi.org/10.1007/s00417-019-04556-z>

13. Vera, J., Redondo, B., Molina, R., Koulieris, G. A., & Jiménez, R. (2020). Validation of an Objective Method for the Qualitative and Quantitative Assessment of Binocular Accommodative Facility. *Current eye research*, 45(5), 636-644. <https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1688837>
14. Jiménez, R., Molina, R., García, J. A., Redondo, B., & Vera, J. (2020). Wearing Swimming Goggles Reduces Central Corneal Thickness and Anterior Chamber Angle, and Increases Intraocular Pressure. *Current eye research*, 45(5), 535-541. <https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1662056>
15. Vera, J., Redondo, B., Molina, R., Bermúdez, J., & Jiménez, R. (2019). Effects of caffeine on intraocular pressure are subject to tolerance: a comparative study between low and high caffeine consumers. *Psychopharmacology*, 236(2), 811-819. <https://doi.org/10.1007/s00213-018-5114-2>
16. Redondo, B., Vera, J., Molina, R., Luque-Casado, A., & Jiménez, R. (2019). Caffeine alters the dynamics of ocular accommodation depending on the habitual caffeine intake. *Experimental eye research*, 185, 107663-107663. doi: 10.1016/j.exer.2019.05.003
17. Jiménez, R., Molina, R., Jiménez, C., Jiménez, J. R., Redondo, B., & Vera, J. (2019). Dynamics of the accommodative response under artificially-induced aniseikonia. *Experimental eye research*, 185, 107674. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2019.05.014>
18. Vera, J., Molina, R., Cárdenas, D., Redondo, B., & Jiménez, R. (2020). Basketball free-throws performance depends on the integrity of binocular vision. *European journal of sport science*, 20(3), 407-414. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1632385>
19. Vera, J., Redondo, B., Molina, R., Garcia-Ramos, A., & Jiménez, R. (2019). Influence of holding weights of different magnitudes on intraocular pressure and anterior eye biometrics. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 257(10), 2233-2238. <https://doi.org/10.1007/s00417-019-04406-y>
20. Redondo, B., Vera, J., Molina, R., García, J. A., Ouadi, M., Muñoz-Hoyos, A., & Jiménez, R. (2018). Attention-deficit/hyperactivity disorder children exhibit an impaired accommodative response. *Graefe's Archive for Clinical*

and Experimental Ophthalmology, 256(5), 1023-1030.

<https://doi.org/10.1007/s00417-018-3948-2>

#### PUBLICACIONES CIENTÍFICAS RELACIONADAS CON ESTA TESIS DOCTORAL

1. Redondo, B., Molina, R., Cano-Rodríguez, A., Vera, J., García, J. A., Muñoz-Hoyos, A., & Jiménez, R. (2019). Visual perceptual skills in attention-deficit/hyperactivity disorder children: The mediating role of comorbidities. *Optometry and Vision Science*, 96(9), 655-663. doi: 10.1097/OPX.0000000000001416
2. Molina, R., Redondo, B., Vera, J., García, J. A., Muñoz-Hoyos, A., & Jiménez, R. (2020). Children with Attention-deficit/Hyperactivity Disorder Show an Altered Eye Movement Pattern during Reading. *Optometry and Vision Science*, 97(4), 265-274. doi: 10.1097/OPX.0000000000001498
3. Molina, R., Redondo, B., Molina-Carballo, A., García, G.A., Muñoz-Hoyos, A. Vera, J., Jiménez, R. (2021). Capturing attention improves accommodation: An experimental study in children with ADHD using multiple objects tracking. *Vision Research*. 186, 52-58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2021.05.002>

#### *CONTRIBUCIONES A CONGRESOS CIENTÍFICOS.*

1. Función binocular en escolares diagnosticados de TDAH con y sin medicación: resultados preliminares. Rubén Molina, Beatriz Redondo, Jesús Vera , Elisa Martín Cano, José Antonio García , Antonio Muñoz , Raimundo Jiménez. 26 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. Consejo General de Colegios de Ópticos-Optometristas. Online, 8-28 de Mayo de 2021.Comunicación oral.
2. Efectos a corto plazo de la visión binocular alterada artificialmente con lentes isecónicas en la conducción: Resultados preliminares. Rubén Molina Romero, Beatriz Redondo Cabrera, Jesús Vera Vílchez, Raimundo Jiménez Rodríguez. Congreso Internacional Online de Jóvenes Optometristas (SIYO). Consejo General de Ópticos y Optometristas Comunidad de Valencia. Online, noviembre 2020.Comunicación oral



3. Estudio Preliminar de la Función Binocular en Escolares Diagnosticados de Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad Rubén Molina, Beatriz Redondo, Jesús Vera , José Antonio García , Miriam Ouadi, Antonio Muñoz , Raimundo Jiménez. 25 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. Consejo General de Colegios de Ópticos-Optometristas. Madrid, 13-15 de Abril de 2018. Comunicación oral.
4. El Efecto del Entrenamiento Físico a Intervalos a Diferentes Intensidades en la Presión Intraocular. Raimundo Jiménez , Beatriz Redondo , Rubén Molina , Daniel Marcos , David Cárdenas , Amador García , Jesús Vera. 25 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. Consejo General de Colegios de Ópticos-Optometristas. Madrid, 13-15 de Abril de 2018. Comunicación oral.
5. Habilidades Visuo-Perceptivas en Niños con Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad Respecto a un Grupo Control: un estudio preliminar. Beatriz Redondo , Rubén Molina , Jesús Vera , Jose Antonio García , Miriam Ouadih , Antonio Muñoz , Raimundo Jiménez. 25 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. Consejo General de Colegios de Ópticos-Optometristas. Madrid, 13-15 de Abril de 2018. Comunicación oral.
6. Oculomotricidad Lectora en Niños con Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad Respecto a un Grupo Control: un estudio preliminar. Rubén Molina, Beatriz Redondo, Jesús Vera , José Antonio García , Miriam Ouadi, Antonio Muñoz , Raimundo Jiménez. 25 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. Consejo General de Colegios de Ópticos-Optometristas. Madrid, 13-15 de abril de 2018. Comunicación oral.
7. La Influencia del Esfuerzo Físico en la Respuesta Acomodativa Binocular. Jesús Vera, Amador García, Beatriz Redondo, Rubén Molina, Antonio Luque-Casado, Raimundo Jiménez. 25 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. Consejo General de Colegios de Ópticos-Optometristas. Madrid, 13-15 de abril de 2018. Comunicación oral.
8. Influencia de la Atención en la respuesta acomodativa binocular. Beatriz Redondo, Rubén Molina , Jesús Vera , Jose Antonio García, Antonio Muñoz ,

- Raimundo Jiménez. III Jornadas de Investigadores en Formación: Fomentando la Interdisciplinariedad (JIFFI). Universidad de Granada. Granada, junio 2018. Comunicación oral.
9. Tiempo de reacción y coordinación ojo-mano en jugadores de balonmano frente a personas no deportistas. Rubén Molina Romero, Beatriz Redondo Cabrera, Laura Lozano Gazcón, Jesús Vera Vílchez, Raimundo Jiménez Rodríguez. Congreso Internacional Online de Jóvenes Optometristas (SIYO). Consejo General de Ópticos y Optometristas Comunidad de Valencia. Online, noviembre 2018. Comunicación oral.
  10. Aberraciones Oculares de Alto Orden En Niños: Una Comparación entre Grupos Refractivos. Beatriz Redondo Cabrera, Rubén Molina, Laura Lozano Gazcón, Jesús Vera Vílchez, Raimundo Jiménez Rodríguez. Congreso Internacional Online de Jóvenes Optometristas (SIYO). Consejo General de Ópticos y Optometristas Comunidad de Valencia. Online, noviembre 2018. Comunicación oral.
  11. Motilidad lectora en jugadores de balonmano frente a personas no deportistas. Rubén Molina Romero, Beatriz Redondo Cabrera, Laura Lozano, Gazcón, Jesús Vera Vílchez, Raimundo Jiménez Rodríguez. Congreso Internacional Online de Jóvenes Optometristas (SIYO). Consejo General de Ópticos y Optometristas Comunidad de Valencia. Online, noviembre 2018. Comunicación oral.
  12. Habilidades viso-perceptivas en jugadores de voleibol frente a sedentarios. Beatriz Redondo Cabrera, Rubén Molina Romero, Laura Lozano Gascón, Jesús Vera Vílchez, Raimundo Jiménez Rodríguez. Congreso Internacional Online de Jóvenes Optometristas (SIYO). Consejo General de Ópticos y Optometristas Comunidad de Valencia. Online, noviembre 2018. Poster.
  13. La influencia del nivel de condición física en el impacto agudo del ejercicio de fuerza en la presión intraocular. Jesús Vera, Raimundo Jiménez, Beatriz Redondo, Rubén Molina, David Cárdenas, Amador García. I International symposium in strenght training. 15, 16 diciembre 2017, Madrid. Poster.