

Valores normales de la amplitud de acomodación subjetiva entre los 5 y los 19 años de edad

Normal Values of Amplitude of Subjective Accommodation between the Ages of 5 and 19

ALEJANDRO LEÓN ÁLVAREZ*
JORGE MARIO ESTRADA ÁLVAREZ**
SANDRA MILENA MEDRANO***

RESUMEN

Objetivo: determinar los valores normativos de la amplitud de acomodación (AA) con cuatro procedimientos subjetivos. **Materiales y métodos:** fueron incluidos 586 estudiantes entre 5 y 19 años de edad, pertenecientes a los colegios públicos de Pereira, a los cuales se les midió la AA a través de los métodos de Donders (*push up* [PU], *push down* [PD] y *modified push down* [MPD]) y de Sheard (*minus lens* [ML]). **Resultados:** la mediana por técnica de todo el grupo etario fue: PU: 14,58 D; PD: 9,55 D; MPD: 12,01 D; ML: 11,00 D; adicionalmente, mediante una regresión lineal, se estimó el cambio de la AA respecto a la edad: PU: 0,25 D; PD: 0,03 D; MPD: 0,10 D; ML: 0,09 D. **Conclusiones:** la AA con cada técnica es diferente, así como al ser comparada con estudios realizados fuera de Colombia; además, la disminución de la AA no es similar en estas pruebas.

Palabras clave: amplitud de acomodación, *push up*, *push down*, *modified push down*, *minus lens*, Donders, Sheard, valores normales.

ABSTRACT

Objective: To determine the normative values of the amplitude of accommodation (AA) with four subjective procedures. **Materials and methods:** 586 students between the ages of 5 and 19 from public schools in Pereira were included. AA was measured by means of the Donders (*push up* [PU], *push down* [PD] and *modified push down* [MPD]) and Sheard (*minus lens* [ML]) methods. **Results:** The average for the entire age group was: PU: 14.58 D; PD: 9.55 D; MPD: 12.01 D; ML: 11.00 D; in addition, the change of the AA for age was estimated through linear regression: PU: 0.25 D; PD: 0.03 D; MPD: 0.10 D; ML: 0.09 D. **Conclusions:** AA is different with each technique, and when compared to studies conducted outside of Colombia; furthermore, AA decrease is not similar in these tests.

Keywords: Amplitude of Accommodation, *Push Up*, *Push Down*, *Modified Push Down*, *Minus Lens*, Donders, Sheard, Normal Values.

* Optómetra y magíster en Ciencias de la Visión, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Docente y director del grupo de investigación Salud Visual, Fundación Universitaria del Área Andina, seccional Pereira, Colombia.

** Licenciado en Matemáticas. Magíster en Epidemiología Clínica, Universidad de la Frontera, Chile. Docente e investigador del grupo de investigación Salud Visual, Fundación Universitaria del Área Andina, seccional Pereira, Colombia.

*** Optómetra. Magíster en Ciencias de la Visión, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Cómo citar este artículo: León Álvarez, A., Estrada Álvarez, J. M. y Medrano, S. M. (2014). Valores normales de la amplitud de acomodación subjetiva entre los 5 y los 19 años de edad. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 12(2), 11-25.

INTRODUCCIÓN

La amplitud de acomodación (AA) es la diferencia entre el estado de reposo del cristalino y su enfoque de refracción máximo (Sterner *et al.*, 2004) dado por la capacidad para modificar su potencia, lo cual le permite al sistema visual realizar el enfoque de objetos a diferentes distancias de la retina. Esta es una medida valiosa en el examen clínico cuando se quieren estudiar anomalías de la acomodación, refractivas, binoculares o con fines investigativos.

Hay diferentes técnicas para medir la AA; entre ellas, las preferidas por los optómetras se basan comúnmente en métodos subjetivos. La primera que se conoció fue la empleada por Donders, quien puso lanas verticales frente a la cara de cada sujeto hasta que este indicara el momento en que no pudiera definirla claramente, y luego hizo la conversión de la distancia para obtener el valor dióptrico. Incluyó en su estudio una muestra de 130 personas entre los 10 y 80 años de edad (Taub *et al.*, 2012), con base en la cual pudo concluir que la AA disminuía progresivamente hasta prácticamente desaparecer a los 60 años. Actualmente, esta técnica se conoce como *push up* (PU) y en los países de habla hispana, principalmente, como *técnica de Donders*.

Años más tarde, en 1900, Duane corrigió el trabajo realizado por Donders: adaptó la fórmula refractiva con base en la cicloplejía e incluyó sujetos de 8 a 72 años de edad. En su estudio midió 4200 ojos mediante una modificación de la técnica de Donders: empleó, en lugar de la lana, una línea vertical negra de 0,2 mm de ancho por 3 mm de largo, dibujada en una tarjeta blanca (Taub *et al.*, 2012). Duane determinó unos valores mínimos que lo llevaron a plantear que cualquier sujeto con una AA por debajo de estos debía ser considerado con una insuficiencia acomodativa. Sin embargo, en general, los hallazgos son similares a los reportados anteriormente, con lo cual se confirman las conclusiones dadas por Donders.

Por otro lado, Sheard empleó letras pequeñas sobre una tarjeta y lentes cóncavas para hallar la medida de la AA en personas de 10 a 40 años. Halló en sus resultados que, aunque son similares a los reportados por Donders y Duane, los valores en general tienden a ser ligeramente inferiores en todas las edades, debido a la minificación del tamaño de la imagen retiniana como efecto del lente negativo. Esta técnica también es conocida como *minus lens* (ML).

Posteriormente, Hofstetter, en 1944, recopiló los datos obtenidos por los estudios de Donders y Duane, a partir de lo cual construyó una gráfica de los datos de la AA con respecto a la edad: correspondió a una representación lineal en una recta que se extiende a partir del valor de 0,50 D, a los 60 años, y hasta 18,5 D, a los 0 años. Luego, realizó un cálculo con base en ello y propuso tres fórmulas para la determinación de valor de referencia de la AA: una máxima, una esperada y otra mínima. Para ello, aplicó un regla matemática como valores probables de AA: desde los 0 años, con valor equivalente de 18,5 D de AA, esta comenzaba a disminuir 0,3 D, hasta alcanzar un valor de 0,50 D a los 60 años (Taub *et al.*, 2012).

Respecto a estas fórmulas, autores como Anderson *et al.* (2008) recomiendan emplearlas con especial cuidado, al tener en cuenta que su cálculo tiene limitación en niños de 8 a 12 años, debido a que solamente fueron evaluados 33 de esos grupos etarios (Benzoni *et al.*, 2012) y, adicionalmente, tampoco se incluyeron niños menores de 8 años. No obstante, este referente es el más empleado actualmente en la clínica para la determinación de estados acomodativos anormales en cuanto a la amplitud.

Por su parte, Turner, en 1958, empleó tres párrafos cortos en lugar de una línea vertical como lo había planteado Duane. Adicionalmente, usó lentes negativos (-3,00 D o -4,00 D) para distancias mayores de 12 cm, y en casos en los que la

distancia superaba los 30 cm, dispuso lentes positivos de 2,00 D o 3,00 D. Ello, con la finalidad de mejorar la precisión en el valor obtenido de la AA empleando PU test (Kragha, 1986). Así surgió una prueba alternativa al PU, denominada *Donders modificada* y conocida como *modifiet push up* (MPU), en la cual se adiciona un lente negativo a la fórmula de visión lejana.

Los hallazgos en las técnicas subjetivas muestran que la AA se reduce de manera lineal con respecto a la edad hasta casi desaparecer a los 60 años; mientras tanto, las técnicas objetivas muestran un decremento sigmoideal de la AA, que prácticamente desaparece a la edad de 55 años, hecho comprobado por estudios recientes (Anderson *et al.*, 2008). Ello se debe a la sobreestimación de las técnicas subjetivas con PU (Win-Hall y Glasser, 2008) o que también emplean ML (Wold *et al.*, 2003).

En Colombia, los métodos más empleados para medir la AA son los de Donders y Sheard. De igual manera, la fórmula de Hofstetter es la más comúnmente utilizada para determinar el valor normal de AA para cada edad. León y Medrano (2008) citaron los resultados hallados por Torres y Montejo al medir la AA con el procedimiento de Sheard, en una muestra de 701 pacientes en Bogotá, entre los 5 y 39 años. Aquí se destaca que la AA es menor en comparación con lo predicho en la ecuación media de Hofstetter, y es ligeramente mayor que lo encontrado por Duane y Kragha. Por esta misma época, Buitrago, Flórez y Merchán (2008) muestran los resultados promedio, por quinquenios, hallados por Burgos y Lara (2001), quienes midieron la AA en personas entre los 10 y 39 años; sin embargo, no es posible determinar cómo realizaron los procedimientos ni cuál fue la metodología empleada.

Además, Buitrago, Flórez y Merchán (2008) mostraron que la AA concluida con Donders era mayor a la hallada con Sheard (límites de acuerdo con el $95\% \pm 5,00$ D). Esto está en la misma línea de lo hallado por León *et al.* (2010), Antona *et al.* (2009), entre otros, quienes encontraron que

existen diferencias significativas entre las pruebas empleadas para medir la AA y recomiendan no extrapolar a un procedimiento los valores normales hallados en otro.

Según lo anterior, y frente a la escasez de valores de referencia propios, se requieren estudios que incluyan todas las técnicas subjetivas y abarquen un grupo etario más amplio, partiendo desde los 5 años, que sirvan de soporte para la realización de diagnósticos acertados del estado acomodativo. Estos diagnósticos pueden generar sintomatología sobre todo en tareas de visión próxima, lo cual afectaría el desempeño de actividades de la vida cotidiana de las personas, como en lo laboral, el aprendizaje o el ocio. Por tanto, el propósito de este trabajo es determinar los valores normativos de AA a través de cuatro métodos subjetivos empleados usualmente en la práctica diaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo-transversal que permitió estimar los intervalos de referencia para los valores normales de la AA en grupos de edad quinquenales, entre 5 y 19 años. La muestra se estimó según lo sugerido por Silva (2000): se seleccionó como parámetro primario una media poblacional, según datos de variabilidad de los distintos grupos de edad estimados en estudios previos, y, además, se tomó una precisión de 0,25 D (tabla 1).

TABLA 1. Tamaño de la muestra y desviación estándar

RANGO DE EDAD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (LEÓN Y MEDRANO, 2008)	NÚMERO
5-9	1,23	93
10-14	1,48	135
15-19	1,51	141
Muestra total		369

En la selección de la muestra se tuvieron en cuenta, para la escogencia de unidades de análisis (individuos), a los matriculados en colegios públicos

de la zona urbana registrados en la Secretaría de Educación del municipio de Pereira. Es importante señalar que en esta ciudad hay una cobertura en educación básica y media por encima del 97 %, lo cual asegura un adecuado espacio muestral. Para la selección de individuos, se realizó un muestreo aleatorio simple y bietápico, definido así: 1) unidad de muestro en la primera etapa: instituciones educativas, y 2) unidad de muestro en la segunda etapa: salones de clase.

Por razones prácticas y éticas, se incluyeron todos aquellos individuos que conformaban el salón de clase seleccionado aleatoriamente en el interior de cada colegio. Según información de la Secretaría de Educación Municipal, los salones estaban conformados por aproximadamente 35 alumnos; de acuerdo con este dato, la cantidad de salones seleccionados por colegio y la cantidad de instituciones educativas se estipularon según la siguiente fórmula:

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i$$

i = grupo de edad específico

$$n_i = \bar{n} \times IE$$

Donde:

\bar{n} es el número de estudiantes en cada curso, seleccionado según el grupo de edad.

IE es el número de instituciones educativas seleccionadas, de las cuales se extrajo el grupo para estudio.

Las personas fueron incluidas según si pertenecían y estaban matriculadas a la fecha en el colegio donde se llevó a cabo la evaluación, y si los padres, tutores y estudiantes estaban de acuerdo. A continuación se realizó una valoración visual completa: anamnesis, agudeza visual (Elliot *et al.*, 1995) en visión lejana (VL) y visión próxima (VP) con cartas tipo logMAR, sensibilidad al contraste con los tests CSV 1000E y Mars, medición de la refracción (queratometría, retinoscopía estática y

subjetivo: emborronamiento más dial astigmático o refracción meridional [Benjamin y Borish, 2006]), exploración del segmento anterior con lámpara de hendidura y del segmento posterior con oftalmoscopia directa, reflejos pupilares (fotomotor, consensual y acomodativo), valoración del estado motor y sensorial (reflejo de Hirschberg, ángulo Kappa, cover test, prueba de Thorington [a 4 y 0,4 m]), punto próximo de convergencia (PPC) con objeto real y filtro rojo, reservas fusionales positivas y negativas (a 4 y 0,4 m [Lyon *et al.*, 2007; Maple y Hoenes, 2007; Pang *et al.*, 2010]) y estereopsis (test de la mariposa con símbolos Lea). El estado acomodativo fue evaluado con la retinoscopia de Nott (LAG [Cacho *et al.*, 1999; McClelland y Saunders, 2004]), la flexibilidad de acomodación (*flipper* de $\pm 2,00$ D; Rouse *et al.*, 1989) y la amplitud de acomodación según cuatro técnicas subjetivas que se describen a continuación.

Los procedimientos fueron realizados monocularmente dos veces por cada ojo, con un intervalo de un minuto entre mediciones. En la montura de pruebas se colocó la corrección habitual de la persona o la encontrada con la refracción subjetiva para visión lejana. El punto de fijación fue un conjunto de letras, números o figuras (optotipos) adheridos a un cubo, el cual estuvo puesto sobre una regla de medición. La altura de los optotipos fue de 0,9 mm, equivalente a una agudeza visual de 20/30 a 40 cm.

1) *Amplitud de acomodación con la técnica de Donders modificada*. Codificación: León, Estrada y Medrano, *modified push down* (LEM-MPD) (Chen y O'Leary, 1998; León *et al.*, 2010). Se adicionó un lente de $-4,00$ D, o en caso de niños que tuviesen un punto próximo muy cercano al ojo aún con este lente, se utilizó uno de $-6,00$ D. Se le pidió al paciente que sostuviera el punto de fijación lo más cerca posible al ojo y que a continuación lo empezara a alejar (4 cm/s aproximadamente), hasta el momento en que pudiera observar las figuras de forma clara y sostenida. La AA fue el inverso de la distancia desde el plano frontal

de la montura hasta el punto de fijación, más 4,00 D o 6,00 D, según el lente empleado.

- 2) *Amplitud de acomodación con la técnica de Donders, al primer emborronamiento.* Codificación: León, Estrada y Medrano, *push up* (LEM-PU) (Rosenfield *et al.*, 2009). Se le pidió al paciente que acercara lentamente (4 cm/s) el objeto de fijación hasta el momento en que la imagen se tornara ligeramente borrosa, es decir, cuando los bordes de esta se vieran difusos. La medida de la AA correspondió al inverso de la distancia desde el ápice corneal hasta el punto de fijación.
- 3) *Amplitud de acomodación con la técnica de Donders, al aclarar después de emborronar.* Codificación: León, Estrada y Medrano, *push down* (LEM-PD) (Rosenfield *et al.*, 2009). Se le solicitó al sujeto que acercara lentamente (4 cm/s) el objeto de fijación hasta el momento en que aquel indicara que la imagen se tornara ligeramente borrosa. En ese momento, el objeto de fijación debía ser acercado dos o tres centímetros más hacia el ojo para hacer aún más borrosa la imagen; luego, a partir de ese punto, el cubo se alejaba del ojo del paciente hasta el momento en que este reportara que la imagen se “veía” perfectamente clara. La AA fue el inverso de la distancia (expresado en dioptrías) desde el plano frontal del ojo hasta el objeto.
- 4) *Amplitud de acomodación con la técnica de Sheard.* Codificación: León, Estrada y Medrano, *minus lens* (LEM-ML) (León *et al.*, 2010). Se ubicó a 40 cm una cartilla de letras o figuras (similar a la carta de Hart) del mismo tamaño empleado para los otros procedimientos. Se adicionaron lentes negativos en pasos de 0,50 D hasta el momento en que el paciente reportó ver las imágenes borrosas. A partir de este momento, se adicionaron lentes positivos en pasos de 0,25 D hasta el momento en que el sujeto indicó que las figuras se observaban nítidas. La AA fue la suma del lente negativo

y positivo más un valor de 2,50 D, correspondiente a la distancia de trabajo.

Fueron excluidas aquellas personas con defecto refractivo mayor a 2,00 D o anisometropía superior a 1,00 D en el componente esférico o cilíndrico, disfunción acomodativa o de la visión binocular (estrabismo, ambliopía, disfunciones binoculares no estrábicas), alteraciones patológicas del segmento anterior o posterior del ojo, antecedentes de cirugía o trauma ocular, enfermedades sistémicas generales o pacientes que no completasen todas las pruebas.

El proyecto cumplió con los requerimientos establecidos en la Declaración de Helsinki (1964), que hacen referencia a la protección de la vida, la salud, la dignidad, la integridad, el derecho a la autodeterminación, la intimidad y la confidencialidad de la información de las personas que participaron. También cumplió con las exigencias de la Resolución 8430 de 1993, por la cual se dictan disposiciones en materia de investigación en Colombia. Según su capítulo 1, artículo 11, este proyecto es catalogado como *investigación de riesgo mínimo*, pues los procedimientos por realizar sobre el participante consistían en unas pruebas diagnósticas visuales que no eran invasivas ni perjudiciales para su sistema ocular o visual.

En primera instancia, se pidió la aprobación de las directivas del colegio, y luego, en reunión con los padres o tutores legales de las personas evaluadas (o por vía telefónica), se solicitó el consentimiento informado, previa explicación de los objetivos, riesgos y beneficios para el paciente. En cuanto a los beneficios para los participantes, se les realizó una valoración optométrica completa, donde se pudo determinar si el estado de su visión estaba dentro de los parámetros normales; en caso de que se presentasen ametropías o patologías del segmento anterior que fuesen manejo del optómetra, se les entregó la prescripción óptica o farmacológica necesaria para la solución del problema; si mostraban alteraciones de la visión binocular, fueron remitidos y atendidos sin costo alguno en la Clínica

de Optometría de la Fundación Universitaria del Área Andina, seccional Pereira; finalmente, aquellos que presentaron alteraciones o patologías del sistema visual que no eran de manejo optométrico, fueron orientados y remitidos para ser atendidos por parte del profesional pertinente.

Para el análisis de resultados, se utilizó el test de Kolmorov-Smirnov para la identificación de normalidad en los datos; de acuerdo con esto, fueron presentados los rangos mediante medidas de posición como mediana, percentiles 5 y 95 y el rango intercuartílico (RIQ). Los ajustes de curvas de amplitud de acomodación según edad se hicieron mediante modelos de regresión lineal, verificando supuestos básicos: 1) *calculabilidad*, es decir, que el valor promedio de amplitud de acomodación es calculable para cada edad; 2) *independencia*, que expresa que la amplitud de acomodación de un escolar en particular es independiente de cualquier otro en la muestra; 3) *linealidad*, que indica que en el aumento en una unidad de edad, el incremento promedio de amplitud de acomodación es constante; 4) *homocedasticidad*, que señala que la variabilidad en la amplitud de acomodación es igual para cada edad, y 5) *normalidad* de la amplitud de acomodación para cada valor de edad.

La verificación del cumplimiento de supuestos se hizo mediante el análisis de residuos “estudentizados” (Jacknife) y la identificación de *outliers* (valores extremos) para su estudio o eliminación. Mediante el procedimiento de regresión lineal, se asumió el siguiente modelo:

$$\text{Amplitud de acomodación} = \alpha + \beta (\text{edad})$$

Donde:

α es el intercepto o valor inicial de AA cuando se inicia el rango de edad.

β es el cambio promedio de la AA por años de incremento en la edad.

Los contrastes de hipótesis frente a los coeficientes del modelo se tomaron como significativos cuando dieron un valor de p inferior a 0,05.

RESULTADOS

Fueron incluidos 585 sujetos (336 mujeres: 57,4%, y 249 hombres: 42,6%) entre los 5 y 19 años, organizados en grupos etarios quinquenales (grupo 1: 5 a 9 años, 201 sujetos; grupo 2: 10 a 14 años, 187 sujetos; grupo 3: 15 a 19 años, 197 sujetos), pertenecientes a los colegios públicos de la ciudad de Pereira (tabla 2). La distribución de la AA no fue normal (Kolmogorov-Smirnov) con los métodos de *modified push down* ($p = 0,002$), *push up* ($p < 0,001$) y *push down* ($p = 0,004$), pero sí con el de Sheard ($p = 0,059$). Solo se tuvieron en cuenta

TABLA 2. Valores descriptivos para la amplitud de acomodación con cuatro procedimientos subjetivos

GRUPO	VALORES	LEM-MPD	LEM-PU	LEM-PD	LEM-ML
5 a 9	Mediana	12,39	16,67	10,00	11,25
	RIQ	2,86	6,67	2,78	2,50
	5 %	9,56	10,10	5,90	8,25
	95 %	16,50	25,00	14,29	14,00
10 a 14	Mediana	12,51	15,48	10,00	11,00
	RIQ	2,86	4,64	2,78	3,00
	5 %	9,88	9,09	6,25	8,00
	95 %	15,11	22,50	13,39	14,00
15 a 19	Mediana	11,69	13,39	9,09	10,50
	RIQ	2,05	3,67	2,54	2,25
	5 %	9,00	9,17	6,67	7,50
	95 %	14,00	20,00	13,39	13,13
Total	Mediana	12,01	14,58	9,55	11,00
	RIQ	2,38	4,17	2,78	2,25
	5 %	9,41	9,55	6,25	8,00
	95 %	15,81	22,50	14,29	13,75

Nota: se muestran la mediana, el rango intercuartílico (RIQ) y los percentiles 5 y 95. LEM indica los apellidos de los autores del presente trabajo, para más adelante diferenciar nuestros resultados de los métodos empleados por otras personas al trabajar en la AA.

los datos del ojo derecho, pues no hay diferencia significativa entre ojos para cada técnica (Wilcoxon, $p \geq 0,05$).

En general, la AA es diferente con cada método (tabla 2). Con LEM-PU, la AA es más alta, a la vez que el rango intercuartílico es más amplio en los tres grupos de edad. También se hallaron valores extremos en los cuatro procedimientos, pero con LEM-MPD, LEM-PD y LEM-ML no son tan grandes como los descubiertos con PU. Esto indica que con este último método, la variabilidad de las mediciones es mayor (figura 1). Los hallazgos más bajos se encuentran con LEM-PD. Además, la variación de las medianas y los RIQ conlleva que existan diferencias significativas entre los cuatro procedimientos (tabla 3): hay mayor discrepancia entre LEM-PU y LEM-PD, y menor entre este último y LEM-ML.

En la estimación de la línea recta y las ecuaciones de regresión (tabla 4), el análisis de los residuos obtenidos en la mediciones de AA no mostraron distribución normal, y se observó heterogeneidad a través de la variable independiente. Ello hizo necesario el uso de transformación logarítmica sobre la variable dependiente e ingresarla de esa manera en los modelos lineales elaborados y mostrados en las figuras 2 a 5.

Tabla 3. Diferencia en dioptrías entre las diferentes técnicas con las que fue evaluada la amplitud de acomodación

	LEM-PU	LEM-PD	LEM-ML
LEM-MPD	-2,91	2,52	1,38
LEM-PU		5,43	4,29
LEM-PD			-1,14

Nota: en prueba de Kruskal Wallis, $p < 0,001$.

Tabla 4. Ecuaciones de regresión que predicen la amplitud de acomodación

TÉCNICA	ECUACIÓN
(LEM-MPD)	$e^{(2,5 - [0,0090 \times (\text{edad} - 11,6)])}$
(LEM-PU)	$e^{(2,7 - [0,0016 \times (\text{edad} - 11,6)])}$
(LEM-PD)	$e^{(2,3 - [0,0027 \times (\text{edad} - 11,6)])}$
(LEM-ML)	$e^{(2,4 - [0,0008 \times (\text{edad} - 11,6)])}$

Nota: la tabla muestra las fórmulas para predecir las ecuaciones de regresión a través de las cuatro técnicas subjetivas empleadas, en edades entre los 5 y 19 años.

Al comparar los hallazgos de los procedimientos que consideramos como *Donders clásicos* y lo reportado por otros autores (figura 2), es evidente la discrepancia entre todos; sin embargo, las mediciones hechas con PU son las que más se asimilan a lo que predice la ecuación (media) de Hofstetter. Los resultados registrados por Ovenseri-Ogbomo *et al.* (2012) son más altos, aunque la acomodación disminuye más rápido entre los 8 y 11 años. Los valores vaticinados por Iyamu *et al.* (2012) son

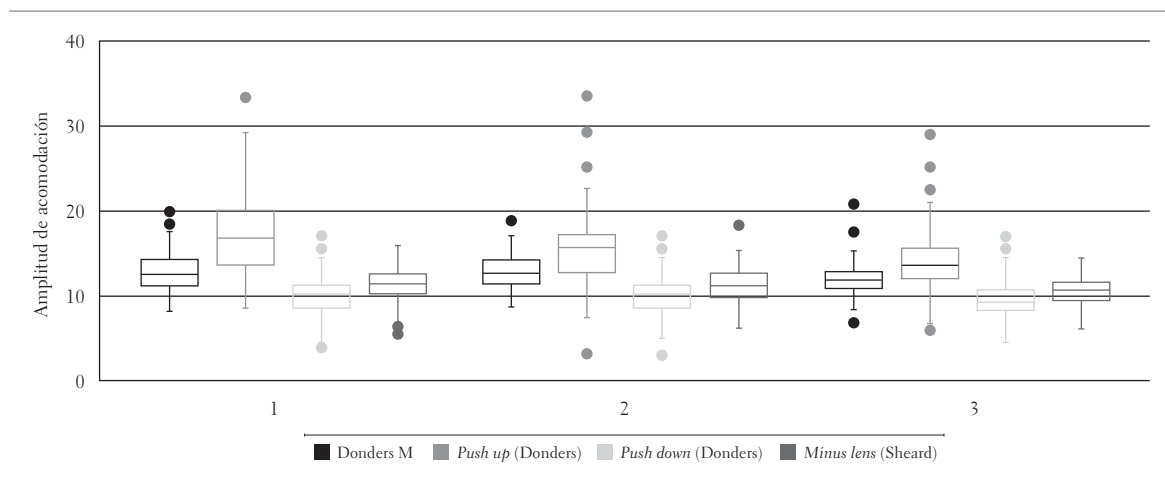


Figura 1. Distribución de la amplitud de acomodación con cuatro técnicas subjetivas y por grupos de edad

Nota: grupo 1: 5 a 9 años; grupo 2: 10 a 14 años, grupo 3: 15 a 19 años.

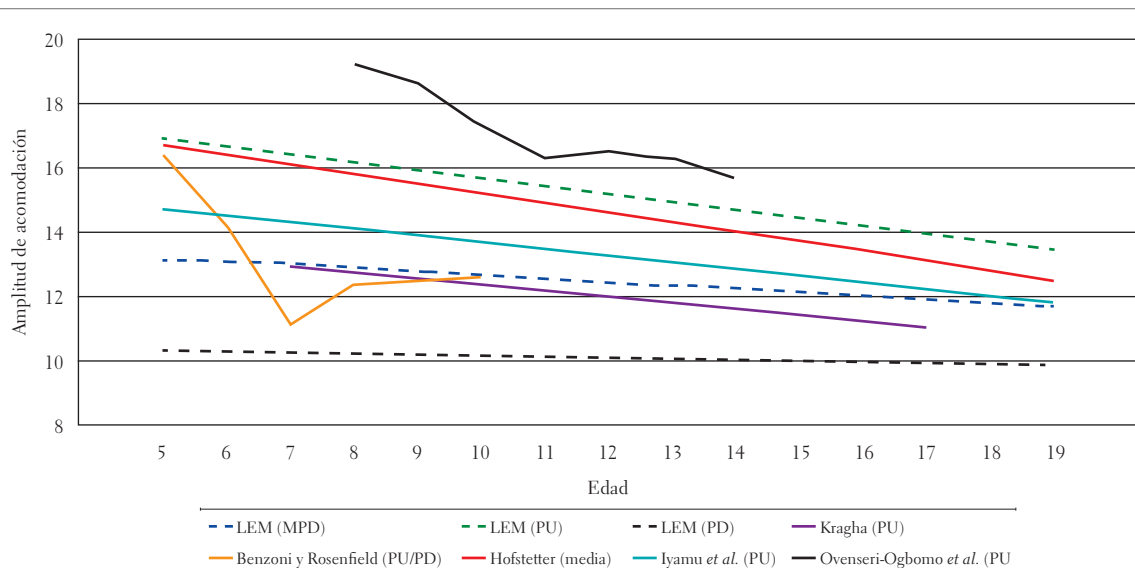


FIGURA 2. Comparación de la amplitud de acomodación entre diferentes autores, medida con técnicas de Donders

Nota: en negro y de forma discontinua se muestran los resultados hallados en el presente trabajo, y en rojo están representados los valores por obtener según la ecuación promedio de Hofstetter (1944): $18 - (0,3 \cdot \text{edad})$. Los resultados de Iyamu *et al.* (2012) son derivados de esta ecuación: $AA = 15,6 - (0,21 \cdot \text{edad})$.

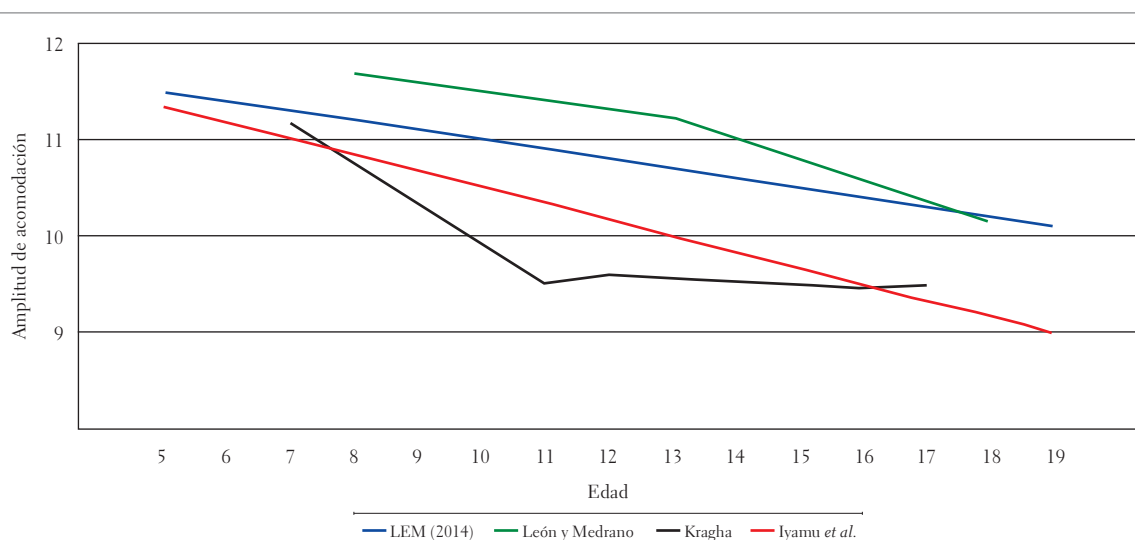


FIGURA 3. Comparación de la amplitud de acomodación entre diferentes autores, medida con técnicas de Sheard (ML)

Nota: en negro y de forma discontinua se muestran los resultados hallados en el presente trabajo. Los resultados graficados para Iyamu *et al.* (2012) son derivados de la fórmula: $AA = 12,2 - (0,169 \cdot \text{edad})$.

menores al PU, aunque con un cambio por edad similar; no obstante, son superiores a LEM-PD y LEM-MPD, en tanto a una edad cercana a los 20 años tienden a ser iguales con este último. La AA descrita por Kragha (1986) es comparable a lo que se halló con LEM-MPD; sin embargo, el decrecimiento de la AA es menor respecto a lo citado por este autor. Por último, lo encontrado por Benzoni y Rosenfield (2012) tiene en un principio similitud

al PU, pero luego cae bruscamente y, finalmente, se torna equivalente a LEM-MPD.

Los valores hallados en este trabajo con la técnica ML tienen similitud, aunque son ligeramente inferiores en la infancia, a los reportados por León y Medrano (2008); sin embargo, en la adolescencia son iguales. Kragha (1986) mostró unos hallazgos mucho más bajos principalmente a los 10

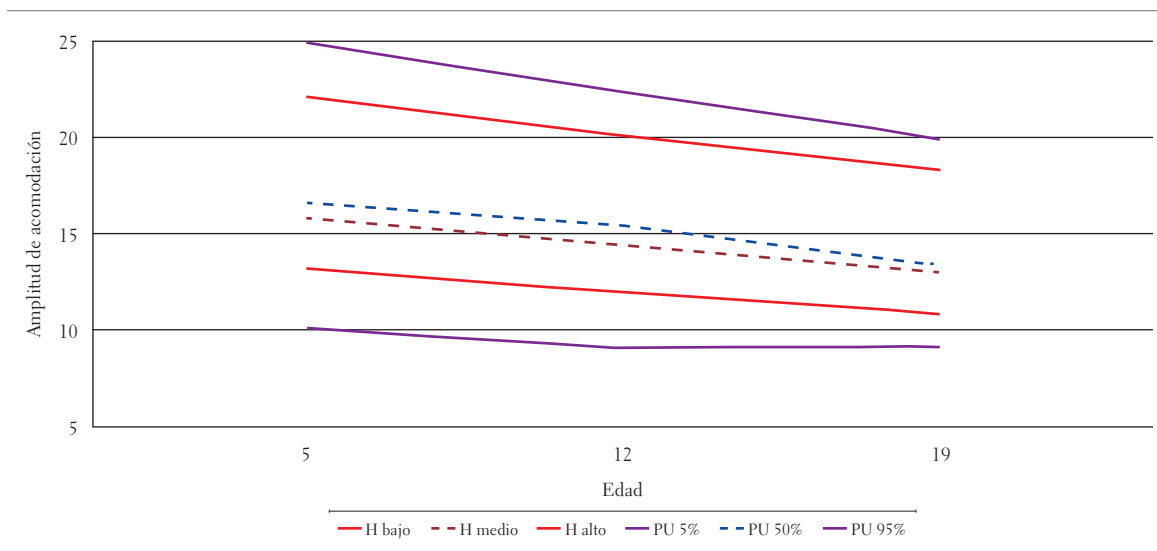


FIGURA 4A. Rangos de normalidad de la amplitud de acomodación (técnica *push up*)

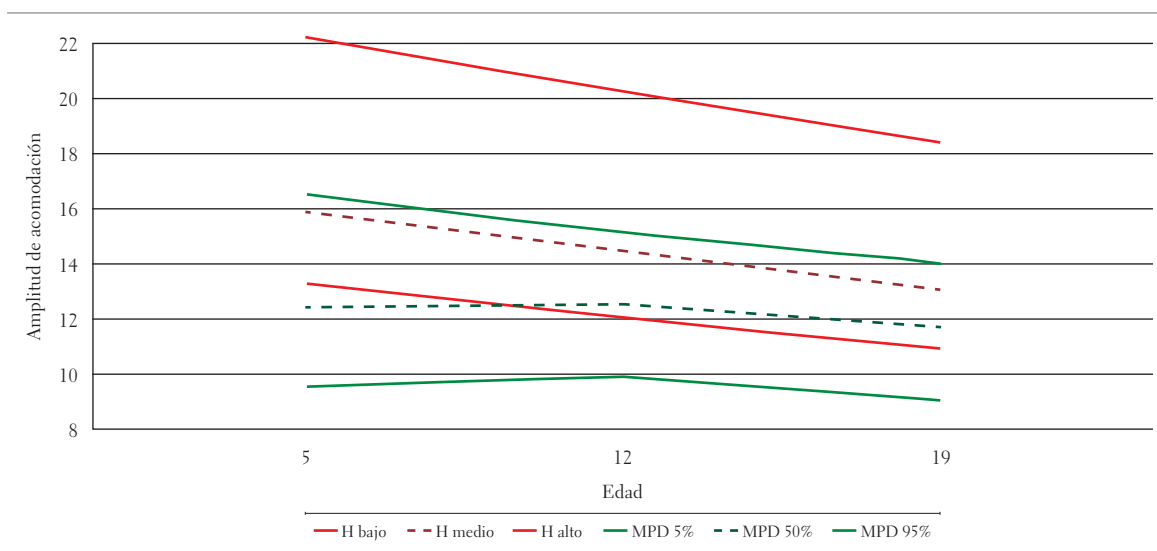


FIGURA 4B. Rangos de normalidad de la amplitud de acomodación (técnica *modified push down*)

años, mientras que los valores predichos por Iyamu *et al.* (2012) tienen una tendencia a ser menores y a disminuir más rápidamente (figura 4).

Las ecuaciones de Hofstetter son ampliamente empleadas para determinar si la AA está dentro de lo normal; por tanto, se compararon estas con los procedimientos efectuados en el presente trabajo. Para ello, se calculó el promedio de los percentiles 5% (que expresó el límite más bajo), 50% (valor medio o mediana) y 95% (límite más alto de la AA). Como se ve en la figura 4a, los valores medios son casi idénticos, pero los límites superior

e inferior tienen un rango más amplio, lo que indica una mayor variabilidad de esta técnica. Con LEM-MPD (figura 4b), los percentiles 50% y 95% tienen similitud con la predicción baja y media de Hofstetter, en tanto la amplitud del rango superior e inferior estaría entre unas 5 y 6 D.

Por otra parte, al analizar LEM-PD, se ve que el percentil 95% tiene una similitud en la infancia con el límite bajo de Hofstetter; pero en la adolescencia, los valores se hacen parecidos a los de la ecuación media. Asimismo, se ve que LEM-PD se mantiene constante entre los 5 y los 19 años, y

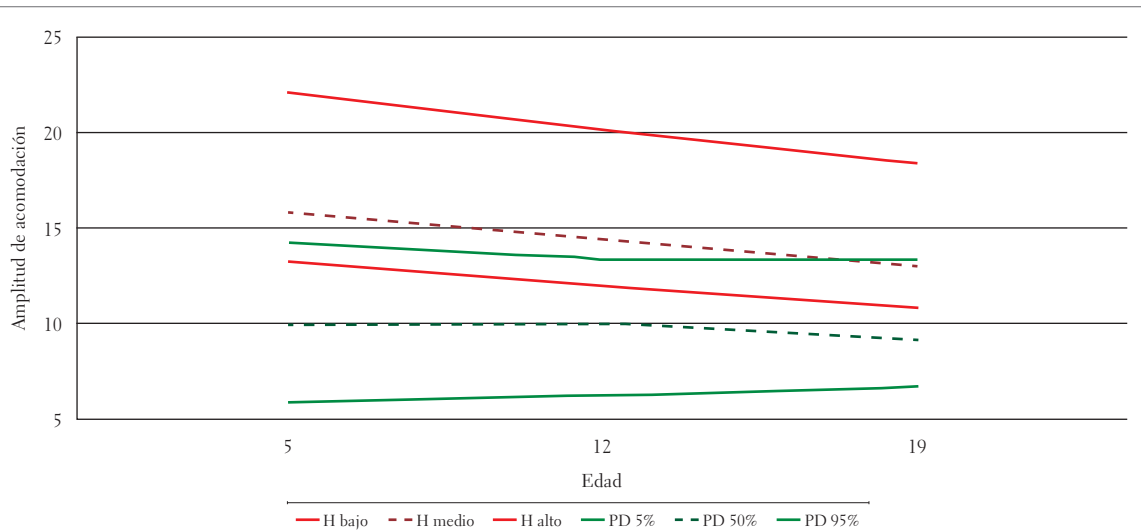


FIGURA 4C. Rangos de normalidad de la amplitud de acomodación (técnica *push down*)

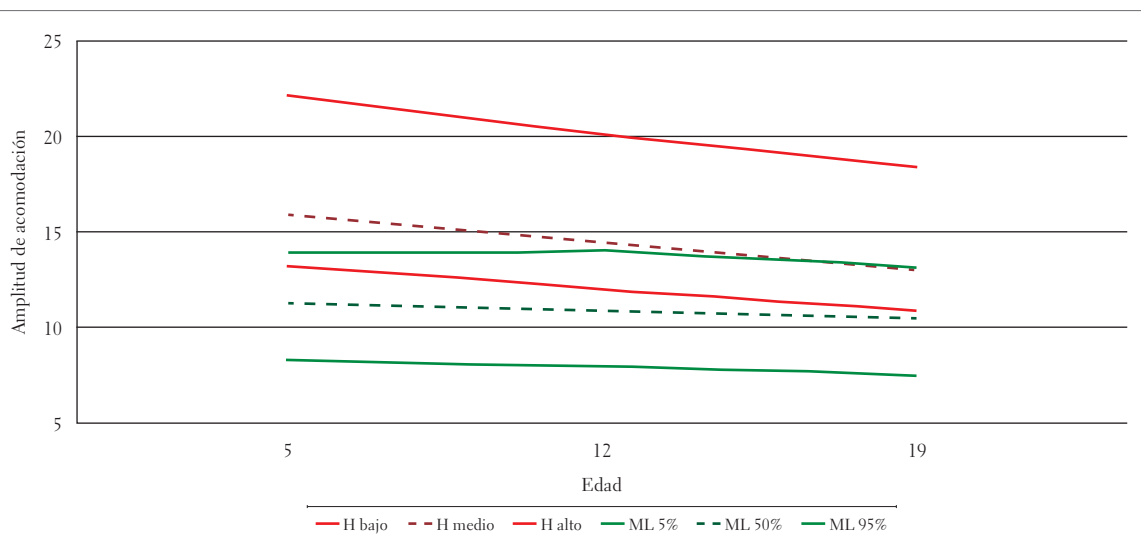


FIGURA 4D. Rangos de normalidad de la amplitud de acomodación (técnica *minus lens*)

Nota: la figura 4 (a, b c y d) calcula los percentiles 5%, 50% y 95%; consiste en la comparación entre el presente trabajo, a través de cuatro procedimientos subjetivos, y lo que se puede predecir con las fórmulas de Hofstetter, que aparecen en rojo y líneas discontinuas. *H bajo*: Hofstetter predicción baja; *H medio*: Hofstetter predicción media; *H alto*: Hofstetter predicción alta. En el cateto adyacente se registra la edad.

el rango promedio (percentiles 5% y 95%) es de unas 8 D. Por último, los resultados con LEM-ML tienen semejanza a lo descrito anteriormente para LEM-PD; sin embargo, se nota que el rango entre los percentiles 5% y 95% es menor (unas 6 D).

Ahora bien, lo hallado y descrito en la figura 5 en relación con la AA, a través de las diferentes técnicas, indica que los valores “promedio” son diferentes para cada una; también son diferentes respecto a cómo y cuánto cambia esta caracterís-

tica visual en relación con la edad (figura 5). Para determinar la progresión de la AA, se llevó a cabo una regresión lineal; no obstante, fue necesario hacer una transformación logarítmica de los resultados para poder aplicar esta prueba (figura 4). Así, la AA con LEM-PU descende aproximadamente 0,25 D por año, mientras que con el LEM-PD no se evidencia un cambio (0,03 D por año), es decir, es constante en este tiempo. LEM-MPD y LEM-ML muestran un decrecimiento similar (0,1 D por año) (tabla 4).

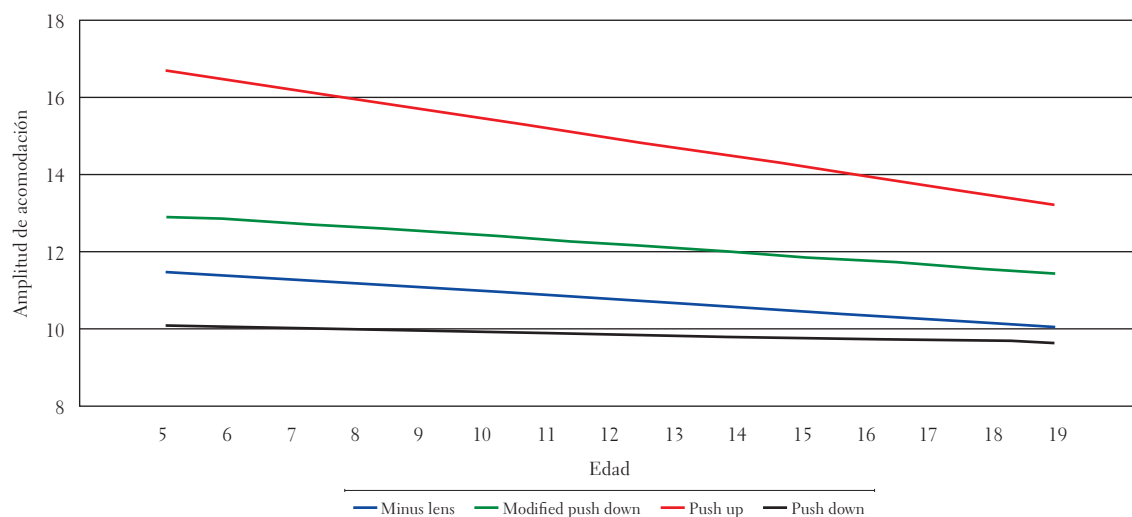


FIGURA 5. Cambio de la amplitud de acomodación respecto a la edad, a través de las cuatro técnicas empleadas

DISCUSIÓN

La AA con LEM-PU resultó ser mayor a la hallada con los otros procedimientos subjetivos (LEM-MPD, LEM-PD y LEM-ML). Ello es concordante con lo reportado anteriormente por Kragha (1986), Antona *et al.*, (2009), León, Medrano y Rosenfield (2012), Iyamu *et al.* (2012), entre otros. Esto se debe a que el procedimiento no tiene un control sobre el aumento del tamaño de la imagen retinal (Somers y Ford, 1983), de la profundidad de foco y de la disminución en la sensibilidad al emborronamiento (Rosenfield y Cohen, 1996).

Las diferencias encontradas entre LEM-PU y LEM-ML se pueden explicar de la siguiente manera: ML es evaluado con el punto de fijación a una distancia fija, lo que hace que disminuya el aporte de la acomodación proximal; por otro lado, la adición de lentes negativos hace que el sistema visual deba concentrarse más en el procesamiento de frecuencias espaciales altas, lo que deriva en una sensibilidad mayor al emborronamiento (Ward, 1987).

Aunque MPD y PD son procedimientos similares a PU, la menor cantidad de acomodación reportada por estos se debe quizás a que con MPD se antepone un lente negativo de $-4,00$ D (en algunos casos

se recomienda de $-6,00$ D), lo que lleva a que el punto próximo esté más alejado y, por tanto, haya un menor aporte de la acomodación proximal y de la profundidad de foco; adicionalmente, el factor de magnificación negativa en la imagen (por el lente negativo) contrarresta en cierto grado el aumento de su tamaño (León, Medrano y Rosenfield, 2012).

Respecto al PD, se diferencia en que el punto tomado como de máximo esfuerzo acomodativo es el dado por el reenfoque de la imagen luego de percibirse borrosa. Rosenfield y Cohen (1996) hallaron que la AA con PU era más alta entre más grande fuera el estímulo de fijación, con lo cual indican que al ser más grande el objeto, existía un retraso en la percepción de borrosidad de la imagen, lo que llevaba a sobreestimar el punto próximo; por el contrario, cuando este objeto era alejado, como sucede en el *push away/pull away* (PA, “Donders de alejamiento”) y en el PD, podría existir una sensibilidad diferente a percibirlo claro, lo que haría que el punto próximo se situara más alejado.

Woerhle (citado en Rosenfield *et al.*, 2009) halló que las diferencias entre PU y PA no eran significativas, lo que lleva a Rosenfield a sugerir que una solución de compromiso sería obtener la AA como el promedio del valor encontrado con cada técnica.

Sin embargo, Koslowe *et al.* (2010) reportaron una conclusión diferente: descubrieron que las discrepancias entre PU y PD sí fueron significativas en todas las edades (7 a 35 años); en promedio, las diferencias fueron superiores a 2,00 D ($p < 0,001$), con lo cual aducen razones similares a las que ya han sido comentadas en este trabajo.

El planteamiento expresado por Rosenfield sería válido si el cambio de la AA respecto a la edad fuese similar entre las técnicas; no obstante, en el presente trabajo se halló que la AA con LEM-PU disminuye 0,25 D por año (Kruskal-Wallis, $p < 0,001$), mientras que el LEM-PD se modifica solo 0,03 D anualmente (Kruskal-Wallis, $p = 0,3802$) y LEM-MPD, 0,11 D (Kruskal-Wallis, $p < 0,001$). Por tanto, las discrepancias entre los dos serán diferentes respecto a esta variable. En la tabla 4 se muestran las ecuaciones que predicen la AA a una edad determinada, enfatizando que estas solo pueden ser aplicadas en el rango de edad evaluado (5 a 19 años).

Los hallazgos evidencian no solo que la AA es diferente según el procedimiento empleado, sino también en cuanto al cambio respecto a la edad (figura 5 y tabla 4). El porqué de esta variación quizás pueda deberse a la respuesta acomodativa. Anderson *et al.* (2009) hallaron que la medición de respuesta de acomodación, medida con diferentes estímulos (producidos con lentes negativos), disminuía respecto a la edad; es decir, la respuesta acomodativa era más exacta.

Adicionalmente, cuando el estímulo fue dado por el cambio en la distancia (estímulo por acomodación proximal), este era aún más preciso que con los lentes; pero esta explicación no deja de ser un tanto paradójica, ya que se esperaba, entonces, que la AA con PU fuese menos variable y menor comparada con ML y MPD. Sin embargo, se deben tener en cuenta algunas cosas ya mencionadas. En este trabajo se emplearon figuras y letras de 0,9 mm de altura (una equivalencia de 20/30 a 40 cm) para todas las pruebas, lo que lleva a que

a la cuarta parte de la distancia subtienda una AV equivalente de 20/120. Y como Rosenfield y Cohen (1996) reportaron, la AA con PU sería mayor si el objeto de fijación era grande; además, aumentaría el retraso en percibir la borrosidad de la imagen y, por tanto, habría una mayor variabilidad en los resultados, cosa que se observa en los hallazgos aquí presentados.

Al comparar los hallazgos de las técnicas de Donders con otros trabajos, se encuentra una alta variabilidad entre ellos. Oveneri-Ogbomo *et al.* (2012) mostraron amplitudes de acomodación con PU superiores a los vistos en el presente trabajo (en todas las técnicas empleadas) y hasta en el valor medio de Hofstetter. Estos autores argumentan que quizás factores del medioambiente (como la temperatura) o raciales pudiesen influir en los resultados. De hecho, Edwards *et al.* (1993) mostraron que en 121 sujetos chinos (en Hong Kong) entre los 11 a 65 años, la AA era entre 1 a 2 D inferior a la considerado *normal* en la población caucásica; sin embargo, la raza como factor de sesgo en la AA es controvertido, y diversos estudios han mostrado hallazgos opuestos (Rabbets, 2007).

Por su parte, Iyamu *et al.* (2012) han mostrado valores mayores a LEM-PD y LEM-MPD, pero inferiores a LEM-PU, debido quizás a que estos autores evaluaron sujetos entre los 18 y 70 años, y en estas edades la AA desciende más rápidamente; por tanto, asumen que existe una linealidad en el decrecimiento de la acomodación. No obstante, la AA permanece casi constante entre la infancia y la adolescencia (3 a 20 años) (Anderson *et al.*, 2008). Por otro lado, los datos indicados por Kragha (1986) con PU son similares en la infancia a LEM-MPD, pero diferentes en la adolescencia, debido a que la tasa de decrecimiento citada en el presente trabajo es inferior a lo que se puede observar con este autor.

El trabajo de Benzoni y Rosenfield (2012) es particularmente llamativo, puesto que la AA decrece abruptamente entre los 5 a 7 años, para luego

incrementarse gradualmente hacia los 10 años. Ellos muestran que la AA con PU y PD sigue un curso similar, es decir, tiene la misma caída en la edad reportada anteriormente, a diferencia de lo indicado aquí, que señala que LEM-PU y LEM-PD tienen tasas de cambio diferentes para la AA. No obstante, según lo tratado en su discusión, no es posible dilucidar el porqué de esta variación tan abrupta; tan solo queda especular en que quizás una muestra pequeña y la alta variabilidad que se da en las mediciones hechas en infantes producirían valores extremos que llevan a sobre- o subestimar esta función visual.

Las observaciones hechas al cotejar los hallazgos presentes respecto a los procedimientos de Donders son aplicables a los resultados encontrados con LEM-ML. Así, Iyamu *et al.* (2012) y Kragha (1986) muestran resultados inferiores con ML; como se ha comentado previamente, el primer autor predice una AA en una población no evaluada, en tanto Kragha muestra una tasa de disminución variable de la acomodación respecto a la edad. Por otro lado, León y Medrano (2008) citan una AA mayor y con el mismo decrecimiento en la infancia; pero en la adolescencia, la acomodación decrece más rápidamente hasta igualarse en promedio casi finalizando esta etapa. Un par de diferencias se hallan en ese estudio respecto al presente: primero, la distancia de trabajo fue de 33 centímetros, lo que lleva a un mayor aporte de la acomodación proximal; y segundo, el cambio de poder se hizo en pasos de 0,25 D, pero aquí se hizo en incrementos de 0,50 D, lo que podría llevar a una variación más significativa en la percepción tanto del emborronamiento como del tamaño de la imagen. Ello deriva como resultado, principalmente en los niños, una mayor variabilidad en las respuestas.

Todos los argumentos expuestos previamente llevan a que cuando es evaluada la AA y es comparada con lo previsto por las ecuaciones de Hofstetter, se puedan llegar a conclusiones erróneas en el diagnóstico de la insuficiencia de acomodación (IA). Algunos estudios han mostrado que basarse

en el valor inferior de Hofstetter menos 2 D conlleva “falsos positivos” en IA. Benzoni y Rosenfield (2012) indican que, siguiendo este criterio, un 36 % de niños asintomáticos serían referenciados con una IA. En el mismo sentido, Sterner *et al.* (2004) hallan que la AA en niños entre los 6 y 10 años no es concordante con lo citado por Duane y resumido por Hofstetter, lo que lleva a que se clasifiquen como *anormales* sujetos sanos. Como se aprecia en las figuras 4a, 4b, 4c y 4d, los límites inferiores hallados en este trabajo (representados por el percentil 5 %) son siempre inferiores a lo que se considera *normal* en términos clínicos; por tanto, se puede sustentar que una IA podría ser diagnosticada con PU o MPD solo si la AA es inferior a 10 D, mientras que con PD debería ser menor a 6-7 D y con ML, a 8 D.

En conclusión, entre los 5 y 19 años, la AA es diferente según el método empleado, el cambio de esta respecto a la edad y lo citado por otros autores, lo que lleva a que se pueda diagnosticar de forma errónea una disfunción acomodativa en un sujeto sano; por tanto, sugerimos emplear las ecuaciones y los resultados mostrados en este trabajo como referentes de normalidad en nuestra población.

REFERENCIAS

- Anderson, H. A., Glasser, A., Stuebing, K. K. y Manny, R. E. (2009). Minus lens stimulated accommodative lag as a function of age. *Optom. Vis. Sci.*, 86(6), 685-694.
- Anderson, H. A., Hentz, G., Glasser, A., Stuebing, K. K. y Manny, R. E. (2008). Minus-lens-stimulated accommodative amplitude decreases sigmoidally with age: a study of objectively measured accommodative amplitudes from age 3. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 49(7), 2919-2926.
- Antona, B., Sánchez, I., Barrio, A. Barra, F. y González, E. (2009). Intra-examiner repeatability and agreement in accommodative response measurements. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 29(6), 606-614.
- Asamblea Médica Mundial (1964). Human experimentation: code of ethics of the world medical association (Declaration of Helsinki) (1964). *Can. Med. Assoc. J.*, 91(11), 619.

- Benjamin, W. J. y Borish, I. M. (2006). *Borish's clinical refraction* (2.^a ed.). San Luis, Estados Unidos: Butterworth Heinemann y Elsevier.
- Benzoni, J. A. y Rosenfield, M. (2012). Clinical amplitude of accommodation in children between 5 and 10 years of age. *Optom. Vis. Dev.*, 43(3), 109-114.
- Buitrago, D., Flórez, A. y Merchán, L. (2008). Evaluación de la reproducibilidad de los métodos de Sheard y Donders para determinar la amplitud de acomodación en personas de 10 a 39 años de edad en el departamento de Quindío. *Ustasalud Optometría*, 7, 5-9. Recuperado de http://200.21.227.151/inicio/publicaciones/div_salud/pdf/ustaopto_7.pdf
- Chen, A.-H. y O'Leary, A. (1998). Validity and repeatability of the modified push-up method for measuring the amplitude of accommodation. *Clinical and Experimental Optometry*, 81(2), 63-71. Doi:10.1111/j.1444-0938.1998.tb06628.x
- Edwards, M. H., Law, L. F., Lee, C. M., Leung, K. M. y Lui, W. O. (1993). Clinical norms for amplitude of accommodation in Chinese. *Ophthalmic Physiol Opt*, 13(2), 199-204.
- Elliott, D. B., Yang, K. C. y Whitaker, D. (1995). Visual acuity changes throughout adulthood in normal, healthy eyes: seeing beyond 6/6. *Optom. Vis. Sci.*, 72(3), 186-191.
- Hofstetter, H. W. (1944). A comparison of Duane's and Donders' tables of the amplitude of accommodation. *Am. J. Optom. and Arch. Am. Acad. Optom.*, 21(9), 345-363.
- Iyamu, E., Iyamu, J. E. y Oghoverwa, L. (2012). Anthropometry, amplitude of accommodation, and spherical equivalent refractive error in a nigerian population. *ISRN Ophthalmol*, 2012, 295613.
- Kragha, I. K. (1986). Amplitude of accommodation: population and methodological differences. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 6(1), 75-80.
- Koslowe, K., Glassman, T., Tzanani-Levi, C. y Shneur, E. (2010). Accommodative amplitude determination: pull-away versus push-up method. *Optom. Vis. Dev.*, 41(1), 28-32.
- León, A. A. y Medrano, S. (2008). Amplitud de acomodación en la población de Santa Fe de Bogotá, D.C. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 11, 9-14.
- León, A. A., Álvarez, J. M., Lizcano, K. C. y Guzmán, J. L. (2010). Concordancia de las técnicas subjetivas que miden la amplitud de acomodación. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 8(1), 41-52.
- León, A. A., Medrano, S. M. y Rosenfield, M. (2012). A comparison of the reliability of dynamic retinoscopy and subjective measurements of amplitude of accommodation. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 32(2), 133-141.
- Lyon, D. W., Goss, D. A., Horner, D., Downey, J. P. y Rainey, B. (2005). Normative data for modified Thorington phorias and prism bar vergences from the Benton-IU study. *Optometry*, 76(10), 593-599.
- Maples, W. C. y Hoenes, R. (2007). Near point of convergence norms measured in elementary school children. *Optom. Vis. Sci.*, 84(3), 224-228.
- McClelland, J. F. y Saunders, K. J. (2004). Accommodative lag using dynamic retinoscopy: age norms for school-age children. *Optom. Vis. Sci.*, 81(12), 929-933.
- Ministerio de Salud de Colombia (1993). Resolución 008430 de 1993, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Bogotá: Autor.
- Ovenseri-Ogbomo, G. O., Kudjawu, E. P., Kio, F. E. y Abu, E. K. (2010). Investigation of amplitude of accommodation among Ghanaian school children. *Clin. Exp. Optom.*, 95(2), 187-191.
- Pagano, M. y Gauvreau, K. (2000). *Principles of biostatistics* (2.^a ed.). Pacific Grove, Estados Unidos: Duxbury.
- Pang, Y., Gabriel, H., Frantz, K. A. y Saeed, F. (2010). A prospective study of different test targets for the near point of convergence. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 30(3), 298-303.
- Pilar Cacho, M. et al. (1999). Comparison between MEM and nont dynamic retinoscopy. *Optometry & Vision Science*, 76(9), 650-655.
- Rabbetts, R., B. (2007). *Bennett & Rabbett's Clinical Visual Optics* (3.^a ed.). Edimburgo: Butterworth Heinemann Elsevier.
- Rosenfield, M. y Cohen, A. S. (1996). Repeatability of clinical measurements of the amplitude of accommodation. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 16(3), 247-249.
- Rosenfield, M., Logan, N. y Edwards, K. H. (2009). *Optometry: science, techniques and clinical management*. Londres: Elsevier Health Sciences.
- Rouse, M. W., Deland, P. N., Chous, R. y Determan, T. F. (1989). Monocular accommodative facility testing reliability. *Optom. Vis. Sci.*, 66(2), 72-77.
- Silva, L., C. (2000). *Diseño razonado de muestras y captación de datos en investigación sanitaria*. Madrid: Díaz de Santos.
- Somers, B., Gellerstedt, M. y Sjortrom, A. (2004) The Amplitude of of ocular amplitude of accommodation. *Am. J. Optm. Physiol. Opt.*, 60(11), 920-924.
- Somers, W. y Ford, C. (1983). Effect of relative distance magnification on the monocular amplitude of accommodation. *Am J Optom Physiol Opt*, 60(11), 920-924.
- Stern, B., Gellerstedt, M. y Sjostrom, A. (2004). The amplitude of accommodation in 6-10-year-old children - not as good as expected. *Ophthalmic Physiol Opt*, 24(3), 246-251.
- Tassinari, J. (2000). Comparison between MEM and Nott dynamic retinoscopy. *Optom. Vis. Sci.*, 77(3), 119-120.
- Taub, M., Shallo-Hoffmann, J. (2012). Comparison of three clinical tests of accommodation amplitude to

- hofstetter's norms to guide diagnosis and treatment. *Optom Vis Dev*, 43(4), 180-190.
- Ward, P. A. (1987). The effect of spatial frequency on steady-state accommodation. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 7(3), 211-217.
- Win-Hall, D. M. y Glasser, A. (2008). Objective accommodation measurements in presbyopic eyes using an autorefractor and an aberrometer. *J Cataract Refract Surg*, 34(5), 774-784.
- Wold, J. E., Hu, A., Chen, S. y Glasser, A. (2003). Subjective and objective measurement of human accommodative amplitude. *J Cataract Refract Surg*, 29(10), 1878-1888.

Recibido: 2 de mayo del 2014
Aprobado: 14 de septiembre del 2014

CORRESPONDENCIA
Alejandro León Álvarez
aleon@funandi.edu.co