

# Fundamentos de agudeza visual aplicados en la construcción de estímulos visuales concéntricos. Estímulo Arorradial de Guerrero (EAG)

Fundamentals of visual acuity applied to construction of concentric visual Stimuli. Guerrero's Arorradial Stimulus (GAS)

JOSÉ JOAQUÍN GUERRERO VARGAS\*

## RESUMEN

**Objetivo:** comparar los parámetros fisiológicos y geométricos de los optotipos E de Snellen y C de Landolt, mediante cálculos y argumentos conceptuales, para formular el Estímulo Arorradial de Guerrero (EAG), basado en el principio angular de los primeros y la disposición concéntrica de Landolt. **Metodología:** se fundamentó en una revisión bibliográfica de la agudeza visual, fundamentos fisiológicos, cálculo geométrico-trigonométrico y principios anatómicos aplicables al diseño de estímulos. Dicho análisis reveló elementos comunes y diferencias del área impresa y el área perimetral de los estímulos comparados y permitió formular una matriz EAG con patrones homogéneos de estimulación foveolar. **Resultados:** se hallaron elementos comunes de configuración angular de los estímulos y diferencias en sus parámetros morfológicos, perimetrales y geométricos. Esto sugiere la confiabilidad de la matriz concéntrica, que estimula de forma coherente con la distribución anatómica de los fotorreceptores y, presumiblemente, brinda mayor confiabilidad de las respuestas visuales. **Conclusiones:** las diferencias perimetrales y geométricas halladas entre los estímulos alfanuméricos de una misma prueba sugieren que las pruebas concéntricas direccionales reúnen las condiciones de estimulación de áreas retinales homogéneas para favorecer respuestas basadas en discriminación óptica y no en legibilidad. El EAG podría constituirse en una alternativa modificada de los estímulos Landolt que, al incorporar elementos radiales que confieren direccionalidad al estímulo y distractores, permitirían estudiar cualitativamente el astigmatismo refractivo y la simulación.

**Palabras clave:** ángulo visual, agudeza visual, Mínimo Ángulo de Resolución (MAR), campo receptor, interacción de contornos, estímulo retinal, estímulo radial, mosaico de fotorreceptores.

## ABSTRACT

**Objective:** To compare the physiological and geometrical parameters of the Snellen E and Landolt C optotypes, through calculations and conceptual arguments, to formulate the Guerrero's Arorradial Stimulus (GAS), based on the angular principle of the former and Landolt's concentric arrangement. **Methodology:** It was based on a literature review of visual acuity, physiological basis, geometric-trigonometric calculation and anatomical principles applicable to the design of stimuli. The analysis revealed common elements and differences of the *printed area* and the *perimeter area* of the compared stimuli and made it possible to formulate a EAG matrix with homogeneous patterns of foveolar stimulation. **Results:** Common elements of angular configuration of the stimuli and differences in their morphological perimeter and geometric parameters were found. This suggests the reliability of the concentric matrix, which stimulates in a manner consistent with the anatomical distribution of photoreceptors and presumably provides greater reliability of visual responses. **Conclusions:** Perimeter and geometric differences found between alphanumeric stimuli of the same trial suggest that directional concentric tests gather the conditions of stimulation of homogeneous retinal areas to promote answers based on optical discrimination rather than readability. The GAS could become a modified alternative of the Landolt stimuli, which, by including radial elements that confer directionality to the stimulus and distractors, make it possible to conduct a qualitative study of refractive astigmatism and simulation.

**Keywords:** visual angle, visual acuity, Minimum Angle of Resolution (MAR), receptive field, contour interaction, retinal stimulus, radial stimulus, photoreceptor mosaic.

\*Optómetra, Universidad de La Salle. Investigador asociado del grupo Charles Prentice, Facultad de Optometría, Fundación Universitaria del Área Andina. Especialista en Pedagogía Informática y Software Pedagógico, Universidad Industrial de Santander.

## INTRODUCCIÓN

La agudeza visual (AV) es una función visual cuantificable, empleada para determinar la capacidad resolutive de detalles o estímulos por parte del sistema visual (Guerrero, 2005). Además, su utilidad clínica es el seguimiento funcional cuantitativo de los casos refractivos, posquirúrgicos, pleópticos y patológicos, entre otros.

La AV depende de factores anatómo-funcionales de desarrollo funcional basados en la integridad ocular y de la vía óptica, factores relativos al aprendizaje e interpretación de estímulos por parte del paciente y, por otra parte, de la validez de las pruebas de AV. En cuanto a los procesos funcionales complejos, la AV depende de la fisiología de la vía óptica profunda y sus procesos neurofuncionales.

Por otra parte, depende de los *campos receptores* como unidades funcionales dependientes de la superficie excitable del fotorreceptor, sus espacios de separación, la relación fotorreceptor-célula ganglionar y la calidad de focalización retinal. Snellen determinó un minuto de arco como capacidad de resolución angular, mientras que otras investigaciones como la de Furlán (2009), revelaron cifras de 30 s con separaciones entre el centro de dos campos receptores foveolares de 2,5  $\mu\text{m}$ .

Swartz (2003) reveló que la estimulación de matrices lineales de fotorreceptores con una banda luminosa de espesor similar al diámetro de estimulación de aquellos origina respuestas eficientes, mientras que si el estímulo es inferior a la superficie diametral de fotorreceptor, puede darse una respuesta inapropiada; en nuestro caso teórico, los estímulos con separación inferior a 2,5  $\mu\text{m}$  pueden originar el fenómeno de "Aliasing", consistente en una inversión parcial de la señal recibida, que supone una percepción nula o equivocada del estímulo, caso en el cual, por ejemplo, una "F" se verá como una "P".

Los estímulos visuales deben adoptar detalles distribuidos coherentemente con la distribución

de los fotorreceptores foveolares y sus campos receptores; para lograr esto, deben aplicarse los principios angulares de Snellen, a efectos de que los detalles del estímulo se correspondan con el área excitable del fotorreceptor y se distribuyan en matriz concéntrica de cinco detalles diametrales, a fin de estimular uniformemente la retina a partir de su punto fijacional.

La heterogeneidad de la forma y distribución de los detalles puede relegar la validez de algunas cartas de AV debido a que la morfología, la distribución y el espaciado entre estímulos y niveles de visión generan fenómenos ópticos indeseables que afectan la validez y reproducibilidad de las respuestas.

Aunque los optotipos de Snellen fueron la prueba estandarizada durante poco más de un siglo, su validez ha sido revaluada en las últimas décadas por varios investigadores, como León et ál. (2011), quienes basados en sus hallazgos aseguran que:

La carta Snellen presenta una serie de inconvenientes que le restan habilidad en el momento de determinar la visión de un sujeto [...] el número de figuras en cada nivel es diferente, por lo que en unas serán más fáciles de reconocer que en otras; las distancias entre optotipos tanto horizontal como vertical no son iguales, lo cual hace que la interacción de contorno (facilidad o dificultad para percibir separadas las letras) sea disímil y por tanto influye la facilidad o dificultad de determinar...

Según esto, los diseños de Snellen exceden el número mínimo de detalles necesarios para asegurar la morfología básica de los caracteres que les permita ser reconocidos; dichos detalles aparecen como apéndices, que sumados al número irregular de estímulos por nivel visual y a los espacios irregulares y aleatorios entre los estímulos y los niveles visuales, confieren a la prueba una naturaleza de diseño que no sigue un patrón regular y, por ende, reduce su validez clínica.

Obviando los errores de diseño de Snellen, Bailey y Lovie (1976), introdujeron modificaciones como los caracteres tipo *no serif*, con espaciado y niveles de visión controlados, y el uso de la escala de progresión logarítmica del mínimo ángulo resoluble (logMAR), para conferir mayor validez a la prueba. En este orden de ideas, recobra importancia el concepto de campo receptor, estimulación foveolar concéntrica y el cálculo de ángulos y matrices, como argumentos contundentes para proponer la morfología, tamaño de detalles y componentes de un nuevo estímulo visual (Guerrero, 2006).

## METODOLOGÍA

La formulación de los EAG como nueva alternativa de medición de la AV plantea la construcción de estímulos con detalles radiales direccionales, basados en un estudio documental y un análisis fisiológico de los diseños existentes de pruebas de AV como la E de Snellen y los estímulos concéntricos de Landolt. El estudio documental involucra referentes técnicos de la AV, MAR, ángulo visual, relación geométrica entre estímulos, mosaico retinal y las pruebas de AV de Snellen y logMAR. La carta logMAR (ETDRS o carta Bailey y Lovie, 1973) es el *gold estándar* de medición clínica de la AV y del desarrollo de estudios clínicos e investigaciones (León y Estrada, 2011).

La fase documental se basó en la consulta de textos, revistas especializadas y fuentes virtuales, para configurar un estado del arte y la propuesta de EAG, mediante la argumentación de los principios de cálculo y matemáticos de la matriz Snellen y la concéntrica (Becker et ál., 2002). En la fase de cálculo, se desarrolló una comparación geométrica, perimetral y de áreas *impresas* de los estímulos Snellen y de EAG, para demostrar sus diferencias configurativas y plantear un modelo definitivo de construcción de estímulos EAG, con la obtención del tamaño de los detalles y los estímulos de acuerdo con la distancia de aplicación de la prueba.

## MARCO REFERENCIAL

Para mayor entendimiento de los principios aplicados al diseño y utilidad de los EAG, es necesario desarrollar algunos conceptos inherentes a los conceptos históricos, los principios fisiológicos aplicados al diseño de las pruebas existentes, los cálculos y los elementos retino-funcionales alusivos al campo receptor y el ángulo visual, como se contempla a continuación.

### HISTORIA DEL CONCEPTO DE AGUDEZA VISUAL

El concepto de AV ha adoptado diversas connotaciones a lo largo de la historia, desde los abordajes filosóficos o paradigmáticos hasta explicaciones espirituales. A finales del siglo XIX se postularon los primeros modelos para cuantificar la visión, mediante el estudio de los principios fisiológicos, aún aceptados, de AV, diseño y construcción de estímulos.

Los métodos de determinación de AV de Daza de Valdés de 1623, establecieron protocolos independientes para medir esta función en miopes e hipermétropes, y en 1854 Jaeger diseñó cartillas de textos con niveles de lectura de dificultad creciente para evaluar la visión funcional. En 1861 Donders postuló la AV como función de rendimiento visual, y poco después Snellen creó los optotipos sobre la matriz cuadrículada de 5 min de arco como un referente basado en el mínimo ángulo resoluble (MAR) del ojo promedio. John Green (1868) normalizó estas pruebas mediante el desarrollo de estímulos que eliminaron el sesgo de memorización de respuestas como una primitiva forma del Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS).

Estos trabajos fueron enriquecidos por Monoyer (1875) con la notación decimal, y en 1888 se emplearon optotipos anulares “C de Landolt”. Casi cien años después, en 1976, Green propuso el modelo posteriormente modificado por Bailey y Lovie para crear las cartas logMAR empleadas en pacientes de baja visión. En las décadas recientes

estas pruebas se combinaron con el diseño Sloan para originar las tablas ETDRS, consideradas actualmente como el *gold* estándar de evaluación de AV.

Posteriores adaptaciones de la prueba originaron cartas con caracteres pertenecientes a todas las tipografías mundiales y la consecuente universalización geométrico-trigonométrica de la matriz de estímulos. El cálculo de detalles basado en el MAR proporcionó una matriz válida de construcción de estímulos con una cantidad y la disposición heterogénea de detalles con respuestas de percepción, alineamiento, reconocimiento o legibilidad, y no de homogeneidad morfológica ni direccionalidad (agudeza visual Vernier) (Furlán, 2009, p. 153). La necesidad de universalizar los estímulos está documentada por varios estudios comparativos entre estímulos visuales, como el realizado por Zhang (2009) con caracteres romanos y chinos, en el cual demostró que:

La mayoría de los estudios de legibilidad con cartas de letras romanas son estímulos visuales simples, hechos con un número reducido de trazos, no tienen partes discernibles y son relativamente uniformes en su complejidad espacial y en su conjunto de estímulos. No es claro si los hallazgos obtenidos del estudio de dichos estímulos, puede aplicarse a la legibilidad de los caracteres chinos (CC) que contienen hasta 52 formas de trazo y consecuentemente una amplia gama de complejidades espaciales.

La heterogeneidad de los caracteres adoptados por diversas culturas del mundo en sus pruebas

de visión bajo la matriz Snellen, ha sido cuestionada por diversos investigadores que aluden a la dificultad de homologar estudios similares con el uso de estos caracteres. En la figura 1 se aprecian caracteres empleados en diversas partes del mundo, cuya construcción se realiza con números de entre uno y cuatro trazos, como en el caso de los romanos, y hasta más de cincuenta posibles trazos en el caso de un carácter chino. Estas diferencias son el principal argumento de propuesta de los caracteres universales, para acercar la validez de las respuestas.

En atención a esto se desarrollaron pruebas direccionales como la E direccional o la C de Landolt, como alternativas para medir la AV direccional y posteriores modificaciones como las cartas logMAR, HOTV y Lea, entre otras, que atienden la configuración del número de estímulos, espaciado y escala de medición. Algunos autores reseñan que la carta logMAR proporciona mayor confiabilidad para determinar la AV debido a la corrección de los errores de Snellen (Brown y Lovie, 1993, citados por Slade, 2002; McGraw et ál., 2000).

## DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

En esta sección se profundizan algunos elementos concernientes a la función visual y a los parámetros inherentes a las propiedades físicas y funcionales de los estímulos visuales, para integrarlos y establecer los niveles de correlación entre la fisiología de la visión y la construcción de estímulos coherentes con los principios estudiados y sustentados por el autor.



FIGURA 1. Caracteres empleados en diversas partes del mundo

Fuente: elaboración propia.

## ÁNGULO VISUAL

Corresponde al valor angular del triángulo rectángulo formado por un cateto opuesto (diámetro del estímulo) y un cateto adyacente (distancia de trabajo). Las pruebas de AV conocidas son diseñadas con un ángulo visual de 1 min de arco, debido a que este valor corresponde a la equivalencia angular del 20/20 (MAR 0,0).

En la práctica clínica, muchos emétopes e hipermetropes facultativos superan la AV logMAR 0,0 (20/20) clasificada por la literatura como valor estandarizado; estos hallazgos sugieren que los detalles inferiores a 1 min de arco reevalúan los principios angulares de estimulación retinal aceptados hasta ahora como “dogmáticos” y plantean un panorama fisiológico de que cada retina contiene fotorreceptores con características variables de superficie diametral. La trigonometría señala que un detalle de 1 min ubicado a 6 m subtiende un espesor de 1,74 mm y que este valor corresponde angularmente con la superficie diametral de un fotorreceptor de 4,9  $\mu\text{m}$  si la arista angular se posiciona detrás del punto nodal del ojo, ubicado a 7 mm detrás del ápice corneal.

## FUNCIÓN VISUAL

La función visual agrupa diversas percepciones subjetivas de imágenes, detalles, sensibilidad al contraste, visión cromática y campo visual en tres etapas denominadas óptica, electrofisiológica y perceptual.

## AGUDEZA VISUAL

Es una variable de cuantificación de la visión cuyo principio fisiológico se basa en los umbrales visible, separable y de alineamiento (*AV Vernier*), los cuales proporcionan la capacidad de identificar formas (*mínimo reconocible*) o caracteres (*mínimo legible*). La AV depende de condiciones intrínsecas como la integridad ocular, el estado refractivo y la acomodación y extrínsecas como la iluminación, el contraste y la calidad de los estímulos; la mayoría de

autores relaciona esta función con la capacidad del ojo y del sistema visual para percibir detalles finos (Lorente, 2007, p. 2), obedeciendo a la capacidad retinal de diferenciar varias situaciones descritas por los umbrales anteriormente enunciados (Borish, 1970, citado por Merchán, 2010).

## VARIABLES CONDICIONANTES DE LA AGUDEZA VISUAL

Son factores que limitan o generan variaciones de la AV y que se clasifican de acuerdo con su etiología, como la difracción, las aberraciones esféricas y los defectos refractivos, que constituyen la causa más frecuente de reducción de la AV; también existen aspectos inherentes a los estímulos que condicionan la respuesta del paciente, como lo determinó Sloan (1974) al describir que caracteres como la “S”, u otros con contornos curvilíneos como la “D”, la “C” y la “O”, resultan más difíciles de reconocer. La American Journal of Ophthalmology en 1993 estableció que la letra con mayor dificultad para ser apreciada es la “C”, mientras que Bailey y Lovie (1980) demostraron que “las letras dentro de las palabras son, individualmente más difíciles de reconocer debido a la interacción con las letras vecinas”.

## ESTÍMULO

Corresponde a un caracter alfanumérico o una figura conformada por varios detalles pertenecientes a una matriz con un ángulo visual común y con una distribución espacial variada que les permiten ser reconocidos como caracteres o ser asociados con una secuencia de direccionalidad; los estímulos más ampliamente usados adoptan forma de letras y figuras con orientación como la E direccional, la C de Landolt creada en 1888, o la variante de figuras, empleada en pacientes no escolarizados y pediátricos.

## DETALLE

Es la unidad funcional de la matriz de construcción de los estímulos y corresponde a cada uno de sus componentes impresos; su amplitud subtiende

1 min en la distancia de observación correspondiente a cada nivel de visión de la prueba impresa.

### ÁREA IMPRESA

Corresponde al área ocupada por los detalles impresos del estímulo. Aunque la matriz origina la totalidad de los estímulos de una prueba de visión, la impresión selectiva de algunos de sus detalles configura caracteres alfanuméricos, direccionales o figuras identificables por el paciente para generar su respuesta valorativa de AV.

### ESTIMULACIÓN CONCÉNTRICA

La fisiología retinal establece que cualquier punto equidistante de la foveola sobre una línea anular común subtiende un potencial de discriminación similar, un potencial de excitación común, una arquitectura coherente y una concentración de conos que se reduce gradualmente hacia la periferia retinal, manteniendo sus umbrales excitatorios comunes (Luna et ál., 2001).

### NIVEL DE VISIÓN (NIVEL VISUAL)

Corresponde al conjunto de estímulos alineados horizontal o verticalmente en la carta de prueba, cuyos detalles y dimensiones adoptan iguales características de tamaño y de valor representativo de AV. En las cartas de Snellen cada nivel visual tiene un número diferente de estímulos, mientras que en el ETDRS cada nivel visual tiene 5 estímulos constantes.

### ESCALAS DE MEDICIÓN

Según Leat et ál. (1999), la conversión de la AV por resolución a la AV Snellen, por legibilidad (reconocimiento de caracteres compuestos por varios detalles), tiene un significado limitado que puede ser inconveniente para comparar los datos de AV; no obstante, la comparación entre los estímulos Snellen y los EAG en el plano del diseño, son una forma válida de diferenciar las áreas impresas de estimulación. Para efectos comparativos de los

estímulos se emplearon unidades de medición comunes logMAR, basadas en la resolución del MAR y relacionando siempre la aproximación referencial de la AV Snellen.

### MÍNIMO ÁNGULO RESOLUBLE (MAR)

Se define como el mínimo ángulo visual, expresado en minutos de arco ( $'$ ), que puede resolver el sistema visual (Kaufman, 2004), y su valor es inversamente proporcional a la cantidad efectiva de AV expresada en valor fraccionario, como se indica en el siguiente ejemplo.

Un paciente con AV = 20/80, (MAR = 80/20) equivalente a (MAR 4'), reconoce a 20 pies un estímulo diseñado para ser visto a 80 pies, lo que supone una reducción de cuatro veces la distancia requerida para reconocer el estímulo, o un aumento del tamaño del estímulo este mismo número de veces para lograr su reconocimiento.

### LOGARITMO MAR (LOGMAR)

Corresponde a la expresión del MAR en logaritmo de base 10; según esto, el MAR = 10 (20/200) equivale a logMAR = 1,0, valor inversamente proporcional a la AV, como se representa en la tabla 1 (Bailey y Lovie, 1991).

A diferencia de los optotipos Snellen, cuya progresión geométrica y validez han sido cuestionadas, la tabla logMAR (Bailey y Lovie, 1976), constituye una variante que controla la proyección angular y los espacios circundantes de los estímulos para aumentar la confiabilidad.

### CARTAS LOGMAR (ETDRS - BAILEY Y LOVIE)

Es una carta de medición de AV conformada por estímulos negros tipo *no serif* de alto contraste, elaborados con la matriz Snellen e impresos en poliestireno blanco mate, cuya progresión logarítmica mantiene constante el cociente entre la diferencia del tamaño de los estímulos de dos líneas consecutivas (Peláez, 2007).

El diseño inicial de la carta logMAR se basó en los postulados de Green de 1872, de mantener una separación entre estímulos igual a su anchura, un espacio interlineado igual a la altura del estímulo del siguiente nivel, un número constante de estímulos con la misma legibilidad (Grosvenor, 2007), y un puntaje adicional por cada letra leída de acuerdo con los niveles evaluados (Carlson et al., 2004).

En la práctica, cada una de las cinco letras (estímulos) que conforman un nivel visual representa una constante  $K=0,02$  unidades logarítmicas para un valor conjunto de  $0,1$  unidades logarítmicas por cada nivel visual; el  $\log\text{MAR}^*$  corresponde al último nivel visual con reconocimiento pleno de todos los estímulos; no obstante, cuando se registran estímulos adicionales del siguiente nivel, el cálculo de la AV neta se determina de la siguiente forma:

Ejemplo: si un paciente reconoce los 5 estímulos del nivel  $\log\text{MAR}^* 0,7$  (20/100) y uno (1) del siguiente nivel ( $\log\text{MAR} 0,6$ ), su AV  $\log\text{MAR}$  neta será la siguiente:

$AV_{\log\text{MAR}} = \text{LogMAR}^* - (K \times N^{\circ} \text{ de estímulos adicionales reconocidos})$

$AV_{\log\text{MAR}} = 0,7^* - (0,02 \times 1)$

$AV_{\log\text{MAR}} = 0,7^* - (0,02)$

$AV_{\log\text{MAR}} = -0,68$

## CARTAS LANDOLT

Los estímulos Landolt y EAG (figura 2) adoptan una forma anular con detalles concéntricos de 1 min de arco, dispuestos en forma coherente con

los fotorreceptores foveales y sus campos receptores. En la práctica, dichos estímulos han sido validados frente a sus homólogos para crear cartas logMAR con estímulos Landolt. Tanto estos como los EAG generan una estimulación concéntrica, con detalles radiales y anulares, estos últimos equidistantes al punto fijacional; la corresponsabilidad anatómica entre los fotorreceptores y los detalles del EAG fundamentan el análisis geométrico de su diseño. Describiremos este fenómeno como *estimulación coherente de campos receptores (ECCR)*, como principio aplicable a los optotipos concéntricos con la justificación fisiológica de Landolt (1888, citado por Colenbrander, 2001), al afirmar que “algunos de los optotipos de Snellen no eran reconocibles”. La especialización de los campos receptores foveolares se fundamenta en el desarrollo de áreas campimétricas ínfimas con umbral angular reducido y sinapsis pareadas ante una célula ganglionar por cada fotorreceptor. Esto sugiere, al menos desde el plano fisiológico, que el estímulo correspondiente al MAR del paciente estimula tantos fotorreceptores como detalles posee, es decir, que subtiende un umbral perceptual del estímulo entero.

Se observa que los tres estímulos presentados en la figura 2 subtienden el mismo ángulo visual pero diferentes matrices de construcción. Los estímulos a y b se basan en una matriz Snellen mientras que el último lo hace en una matriz concéntrica que genera una diferencia aparente de tamaño angular, cuando en realidad los tres estímulos poseen la misma cantidad de detalles sobre el eje vertical y horizontal.

TABLA 1. Tabla de equivalencia AV Snellen y logMAR

SNELLEN	LOGMAR	SNELLEN	LOGMAR	SNELLEN	LOGMAR	SNELLEN	LOGMAR
20/200	1,00	20/70	0,54	20/30	0,18	20/13	-0,29
20/140	0,85	20/60	0,48	20/25	0,10	20/10	-0,30
20/100	0,70	20/50	0,40	20/20	0,00	20/8	-0,40
20/80	0,60	20/40	0,30	20/15	-0,12	20/5	-0,60

Fuente: elaboración propia.



FIGURA 2. Evolución conceptual de los estímulos y propuesta de EAG

Fuente: imagen adaptada de León et al. (2011).

## CONSIDERACIONES ANATOMOFUNCIONALES

Es indispensable encontrar puntos de acuerdo entre la anatomía ocular y la forma de construir estímulos totalmente coherentes con las características microanatómicas y la distribución de los fotorreceptores, en aras de establecer una coherencia funcional entre estas variables. En este orden de ideas, el entendimiento de los conceptos teóricos reseñados a continuación es necesario para entender la naturaleza y configuración de los EAG como estímulos que priorizan la correlación espacial de sus detalles con la disposición anatómica de los fotorreceptores retinales.

### RETINA

Como lo revela la microfotografía retinal (ver figura 6), los fotorreceptores adoptan una superficie de estimulación hexagonal con concentraciones de células que se reducen gradualmente hacia la periferia; en la fovea existen 199 000 conos  $\times$   $\text{mm}^2$ , mientras que en la periferia hay 4000 a 5000 conos  $\times$   $\text{mm}^2$  (Urtubia, 1996). Cada fotorreceptor foveolar

adopta un diámetro que oscila entre 2 y 5  $\mu\text{m}$  y se rodea aproximadamente por 6 fotorreceptores en un mosaico concéntrico alrededor del cono fijador. Las zonas responsables del mejor nivel de AV están circunscritas a la retina central y se clasifican en la tabla 2.

En la retina central, los conos se concentran en mayor número, tienen una superficie diametral menor y mantienen menores espacios intercelulares, mientras que en la retina periférica los mosaicos de fotorreceptores incluyen conos y bastones con mayor espacio intercelular (figura 3).

### CAMPO RECEPTOR (CR)

Es una unidad funcional de percepción visual conformada por una zona retinal estimulada que activa el disparo de una célula ganglionar (en fisiología el “disparo” neuronal corresponde a la hiperpolarización de la célula y su consecuente generación de un pulso eléctrico). Desde el plano retinal, corresponde a la zona variable de influencia o percepción de una célula ganglionar, de acuerdo con la zona retinal considerada. Este fenómeno

TABLA 2. Zonas responsables del mejor nivel de AV

ZONA RETINAL	POSICIONAMIENTO	DIÁMETRO	FOTORRECEPTORES
Mácula	Centro retinal	5,0 mm	6 millones de conos y algunos bastones
Fóvea	Centro macular	1,5 mm	Conos con conexiones sinápticas ganglionares en proporción de 1:1. (Polyak, 1941)
Foveola	Centro foveal	0,3 mm	25 000 conos especializados de entre 2 y 5 $\mu\text{m}$ de diámetro
Punto de fijación	Microdepresión cóncava centro foveolar	0,1 mm	2000 conos, en líneas de 50 dispuestos a lo largo de su diámetro

Fuente: elaboración propia.



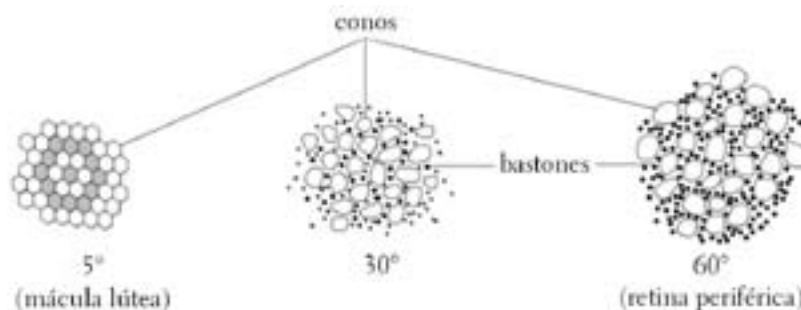


FIGURA 3. Mosaico anatómico de los fotorreceptores de acuerdo con la zona retinal

Fuente: elaboración propia.

se origina a partir de estímulos lo suficientemente intensos para generar un umbral de excitación. El CR de una célula ganglionar conectada con un fotorreceptor foveolar es reducido, pero representa mayor AV, mientras que una célula ganglionar en la cual convergen las sinapsis de varios bastones periféricos posee un CR más amplio, con menor AV.

En la figura 4a se destaca el menor número de fotorreceptores excitados con el EAG (14) para lograr el 1,0 MAR; b y c representan casos de errores refractivos en los cuales la reducción de la capacidad de discriminación ocular hace necesario incrementar el ángulo visual para estimular más fotorreceptores y percibir los detalle del objeto (Bruce et ál., 1996), especialmente con estímulos Snellen, cuyas aristas aumentan el área de estimulación.

#### FOTORRECEPTOR

Es la célula retinal responsable de la generación de pulsos eléctricos visuales mediante el desarrollo

del mecanismo de fototransducción. En la retina humana existen alrededor de 120 millones de bastones y 6 millones de conos, de los cuales, para efecto de la presente reflexión, solo se considera su parámetro anatómico de superficie diametral del segmento externo, debido a su estrecha relación con las matrices de construcción de estímulos para evaluar la AV.

#### SUPERFICIE DIAMETRAL DEL FOTORRECEPTOR ( $\emptyset F$ )

Es la porción distal y excitable del segmento externo del fotorreceptor que se adosa al epitelio pigmentario retinal. Esta superficie hexagonal ha sido objeto de especulación por parte de la literatura científica, la cual regularmente afirma que alcanza entre 2,5 y 5  $\mu\text{m}$ .

Un ojo emétrope teórico subtende una longitud axial de 24 mm con un punto nodal ubicado 7 mm detrás de la córnea y una distancia focal de 17 mm ( $1,70 \times 10^{-2}$  m) desde este punto hasta la retina;

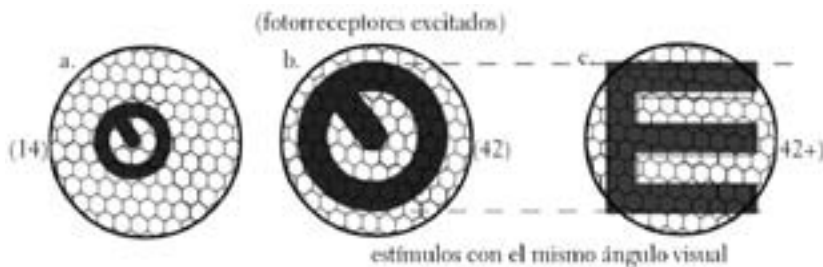


FIGURA 4. Relación entre la estimulación con EAG y el mosaico retinal

Fuente: elaboración propia.

estas condiciones, asociadas al ángulo de 1 min de arco ( $0,016667^\circ$ ) sobre el punto nodal permitieron que Snellen creara los optotipos alfanuméricos con detalles impresos separados, para determinar el *mínimo legible*, como lo afirmara Duke-Elder (1968). Igualmente, estableció una relación directa entre el tamaño de los detalles y el valor  $\emptyset f$  en AV elevados, presuntamente propiciada por fotorreceptores de baja superficie diametral.

La superficie diametral del fotorreceptor ( $\emptyset f$ ) (ver figura 5) del caso ejemplificado se deriva de una distancia focal de 17 mm ( $d_f = 1,70 \times 10^{-2}$  m) que corresponde al cateto adyacente, y un ángulo visual conocido de 1 min de arco ( $\alpha_v = 0,016667^\circ$ ) cuya función tangencial (Tag) permite calcular el cateto opuesto correspondiente al  $\emptyset f$ , como se desarrolla a continuación:

$$\begin{aligned}\emptyset f &= d_f \times \alpha_v \\ \emptyset f &= (1,70 \times 10^{-2} \text{ m}) \times (\text{Tag } 0,016667^\circ) \\ \emptyset f &= (1,70 \times 10^{-2} \text{ m}) \times (2,90 \times 10^{-4}) \\ \emptyset f &= 4,94 \times 10^{-6} \text{ m} \\ \emptyset f &= 4,94 \text{ } \mu\text{m}\end{aligned}$$

Según este caso teórico, el valor  $\emptyset f$  necesario para percibir un detalle de 1 min de arco, corresponde a 4,94  $\mu\text{m}$  de diámetro, mientras que el umbral del mínimo separable requiere que sean excitados dos fotorreceptores, con uno intermedio no estimulado; el espacio del fotorreceptor no estimulado (2  $\mu\text{m}$ ) origina una percepción visual *off* que se interpreta por el cerebro como un espacio entre los dos estímulos percibidos, en un conjunto anatómico de tres fotorreceptores ( $3 \emptyset f =$

14,8  $\mu\text{m}$ ) con un espacio intermedio sin estimular de 4,9  $\mu\text{m}$ .

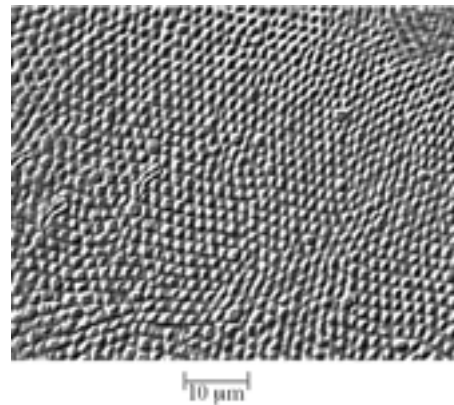


FIGURA 6. Detalle del mosaico de fotorreceptores foveolares en la retina humana. (Corte tangencial).

Fuente: Ahnel et ál. (1987).

En la figura 6 se observa un diámetro promedio de la superficie de los conos que oscila entre 2 y 5  $\mu\text{m}$  y que aumenta gradualmente hacia la periferia.

Al transferir este cálculo a ojos con mayor poder resolutivo, se establece una relación inversamente proporcional entre  $\emptyset f$  y el grado de discriminación, equivalente a decir que los fotorreceptores con diámetro inferior a 4,9  $\mu\text{m}$  tienen un mayor poder resolutivo, como se desarrolla en el siguiente ejemplo.

Caso con AV 20/10 (logMAR-0,3). Si un detalle de 1 min de arco equivale a un ángulo  $\alpha_v = 0,016667^\circ$ , uno de 0,5 min de arco subtiende la mitad de este ángulo ( $0,0083^\circ$ ) o su equivalente MAR 0,5, si se considera una distancia focal ( $d_f = 17$  mm)

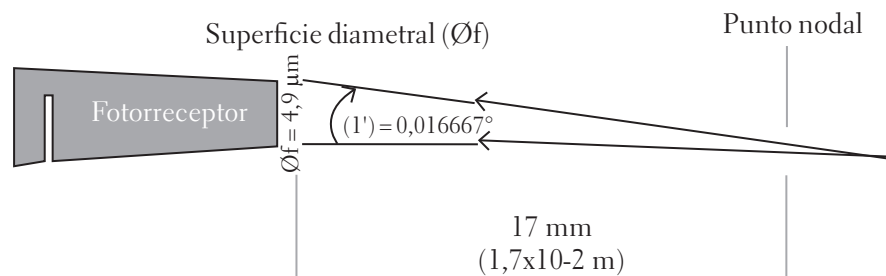


FIGURA 5. Cálculo de la superficie diametral de un fotorreceptor foveolar

Fuente: elaboración propia.

correspondiente al punto nodal-retina. Para calcular la superficie diametral de este fotorreceptor ( $\emptyset f$ ) se reemplazan los valores en la expresión matemática:

$$\emptyset f = d_f \times \text{Tag} \alpha_v$$

$$\emptyset f = 1,70 \times 10^{-2} \text{ m} \times \text{Tag} 0,0083^\circ$$

$$\emptyset f = 1,70 \times 10^{-2} \text{ m} \times 1,45 \times 10^{-4}$$

$$\emptyset f = 2,4725 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\emptyset f = 2,50 \text{ } \mu\text{m}$$

De estos cálculos se infiere que las variantes anatómicas de la superficie diametral de los fotorreceptores foveolares desempeñan un papel importante en el diseño de pruebas de AV, ya que pueden hallarse capacidades resolutivas mayores a 1 min de arco. En el ejercicio se establece que un fotorreceptor de 2,50  $\mu\text{m}$ , similar a los de la fotografía microelectrónica, es capaz de generar poderes de resolución superiores a los del ojo promedio.

## COMPARACIÓN DE ESTÍMULOS

En esta sección se establece una comparación perimetral y del área impresa entre los estímulos Snellen y los EAG, a efectos de evidenciar sus diferencias y proporcionar una idea de los potenciales sesgos o la dificultad aparente para reproducir sus resultados cuando se trata de una prueba de AV

conformada por caracteres alfanuméricos con diferencia en su número de detalles y en la morfología de sus estímulos. Este análisis afianza la conveniencia de emplear estímulos homogéneos y universalizados para reducir estos sesgos y aumentar la confiabilidad de la respuesta del paciente.

## COMPARACIÓN GEOMÉTRICA

Existe una diferencia de tamaño aparente entre los estímulos Snellen y EAG, debido a que la heterogeneidad de sus matrices genera mayores diámetros, como se demuestra en el siguiente ejercicio.

Al comparar el diámetro mayor de la matriz del EAG con la Snellen, existe una similitud dimensional vertical y horizontal entre ambas; sin embargo, estas varían significativamente si se compara el diámetro constante de la matriz EAG con la diagonal mayor de la matriz Snellen (figura 7). Para efectos del ejercicio, la dimensión diametral hace referencia al mayor diámetro hallado en cada una de las matrices comparadas, que en el caso del EAG corresponde a un valor constante por su naturaleza circular, mientras que en la E direccional corresponde a la distancia entre dos aristas opuestas de la letra. En el ejercicio propuesto, con logMAR 0,0 = (20/20) a 6 m, tanto la matriz EAG como Snellen tienen diámetros comunes vertical y horizontalmente de 8,72 mm; sin embargo, el

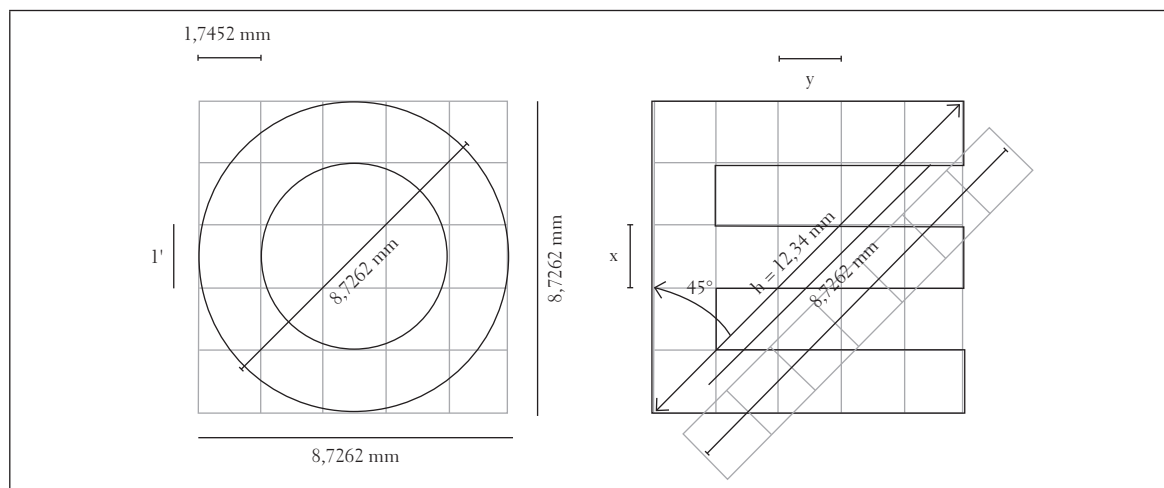


FIGURA 7. Comparación de dimensiones diametrales de un estímulo EAG y un optotipo de Snellen

Fuente: elaboración propia.

componente diagonal de la E alcanza 12,34 mm, contra los 8,72 mm requeridos para estimular una línea perimetral constante de fotorreceptores equidistantes al punto de fijación con el EAG.

$$b = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$b = \sqrt{(8,72\text{ mm})^2 + (8,72\text{ mm})^2}$$

$$b = \sqrt{76,14\text{ mm}^2 + 76,14\text{ mm}^2}$$

$$b = \sqrt{152,29\text{ mm}^2}$$

$$b = 12,34\text{ mm}^2$$

En este mismo ejercicio, la diferencia diametral (Df) del componente diagonal de la matriz de la "E" direccional supera al EAG en 3,62 mm (12,34 mm - 8,72 mm), lo cual representa una diferencia proporcional (Df<sub>p</sub>) de los diámetros, calculada de la siguiente forma:

$$Df_p = \frac{Dif \ 100\%}{b}$$

$$Df_p = \frac{3,62\text{ mm} \times 100\%}{12,34} = \frac{3,62\text{ mm} \times 100\%}{12,34} = \frac{362\%}{12,34} = 29,36\%$$

Como se destacó anteriormente, la longitud diametral h = 8,7262 mm corresponde al logMAR 0,0 (20/20) a 6 m; no obstante, el dato hallado en este ejercicio, h = 12,34 mm, corresponde a un valor intermedio entre el 20/25 y el 20/30 en la tabla 3 de cálculo angular de detalles de la matriz, correspondiente a un valor intermedio entre logMAR 0,18 y 0,10.

TABLA 3. Rango de datos obtenidos en el cálculo del tamaño del detalle

ALTURA (MM)		AV	
ESTÍMULO	DETALLE	LOGMAR	SNELLEN
13,08	2,61	0,18	20/30
10,90	2,18	0,10	20/25
8,72	1,74	0,00	20/20

### COMPARACIÓN PERIMETRAL DE LA MATRIZ

Corresponde al área calculada dentro de los límites perimetrales de una matriz para confrontar la forma perimetral del estímulo con el mosaico de fotorreceptores estimulados. Por ejemplo, la excitación central del campo receptivo de un fotorreceptor origina un mínimo visible o umbral perceptivo, mientras que una estimulación irregular sobre dos fotorreceptores adyacentes genera una mayor probabilidad de activar el umbral. En este orden de ideas, la activación excesiva de fotorreceptores puede generar una respuesta mayor o una sobrevaloración de la percepción por la superación del tamaño del MAR o por la reducción de la distancia de observación.

El análisis aplicado al logMAR 0,0 (20/20), (8,72 mm), revela una diferencia importante entre las áreas perimetrales del ejemplo como área circunferencial (A<sub>CIR</sub>) y área cuadrada (A<sub>CUA</sub>) (figura 8).

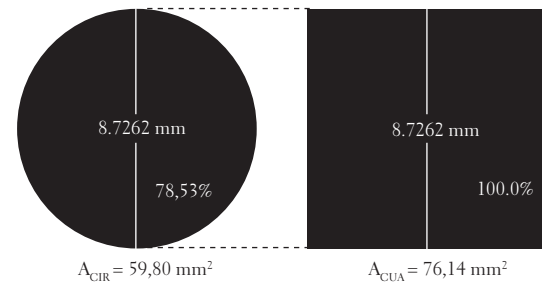


FIGURA 8. Cálculo del área de las matrices perimetrales EAG y Snellen

Fuente: elaboración propia.

$$A_{CIR} = \pi \times r^2$$

$$A_{CIR} = 3,14159 \times (4,36\text{ mm})^2$$

$$A_{CIR} = 3,14159 \times 19,0366\text{ mm}^2$$

$$A_{CIR} = 59,80\text{ mm}^2$$

$$A_{CUA} = L \times L$$

$$A_{CUA} = 8,7262\text{ mm} \times 8,7262\text{ mm}$$

$$A_{CUA} = 76,1465\text{ mm}^2$$

Con las áreas calculadas se establece la diferencia (Df), de la siguiente forma:

$$Df = A_{CUA} - A_{CIR}$$

$$Df = 76,14 \text{ mm} - 59,80 \text{ mm}$$

$$Df = 16,33 \text{ mm}$$

Y con regla de tres se calcula la diferencia proporcional ( $Df_p$ ), considerando que el área total es 76,14 mm ( $A_{CUA}$ ), correspondiente al 100% y que  $Df_p$  es el porcentaje correspondiente al área menor ( $A_{CIR}$ ):

*Ecuación: ¿si 76,14 mm corresponden al 100% del área cuadrada, entonces, 59,80 mm del área circunferencial a qué porcentaje del área cuadrada corresponden?*

$$Df_p = 76,14 \text{ mm} = 100\% / 59,80 \text{ mm} = ?$$

$$Df_p = 59,80 \text{ mm} \times 100\% / 76,14 \text{ mm}$$

$$Df_p = 59,80 \text{ mm} / 76,14 \text{ mm}$$

$$Df_p = 78,53\%$$

Este análisis revela que el área de la circular corresponde al 78,53% de la matriz cuadrada y que, consecuentemente, esta última estimula un 23,47% más fotorreceptores, pudiendo generar diferencias en la reproducibilidad comparativa de ambos estímulos.

#### COMPARACIÓN DEL ÁREA IMPRESA

Corresponde a la sumatoria del área de los espacios ocupados por los detalles impresos. El cálculo del área impresa se realiza bajo los parámetros del siguiente ejemplo comparativo entre un EAG y un estímulo Snellen (figura 9), en el cual  $A_{EAG}$  y  $A_{SNE}$  corresponden respectivamente al área de estos estímulos:

#### CÁLCULO DE ÁREA IMPRESA (E DIRECCIONAL-*logMAR 0,0*)

Se basa en la sumatoria del área de los 17 detalles impresos de un estímulo con 8,72 mm, cuyos detalles individuales subtienden una altura  $h=1,74$  mm. Para calcular el área individual de cada detalle ( $A_d$ ) se emplea la siguiente expresión:

$$A_d = L \times L$$

$$A_d = 1,7452 \text{ mm} \times 1,7452 \text{ mm}$$

$$A_d = 3,04 \text{ mm}^2$$

$$A_{SNE} = (A_d) \times \text{No. detalles}$$

$$A_{SNE} = (3,04 \text{ mm}^2) \times 17$$

$$A_{SNE} = 51,77 \text{ mm}^2$$

El área impresa de cada detalle de la E direccional corresponde a 3,04 mm<sup>2</sup>; por lo tanto, los 17 detalles impresos que conforman el estímulo ocupan un área impresa de 51,77 mm<sup>2</sup>.

#### CÁLCULO DE ÁREA IMPRESA DEL EAG

En este ejercicio se calculan en primera instancia las áreas de la circunferencia mayor o perimétrica ( $A_{C1}$ ) y se sustrae el área de la circunferencia interna ( $A_{C2}$ ), para posteriormente agregar el área de 2 detalles de 1 min de arco cuadrado, correspondientes a la manecilla direccional del estímulo. Para efectos del ejercicio, considere que los radios de  $C_1$  y  $C_2$  corresponden en forma respectiva a la mitad de la amplitud de 5 y 3 detalles (figura 9).

$$A_{C1} = \pi \times r^2$$

$$A_{C1} = \pi \times (4,36)^2$$

$$A_{C1} = 3,14 \times 19,03 \text{ mm}^2$$

$$A_{C1} = 59,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{C2} = \pi \times r^2$$

$$A_{C2} = \pi \times (2,61)^2$$

$$A_{C2} = 3,14 \times 6,85 \text{ mm}^2$$

$$A_{C2} = 21,38 \text{ mm}^2$$

Para calcular el área impresa del componente anular del EAG se determina el cociente de las áreas  $C1$  y  $C2$  así:

$$A_{EAG} = (A_{C1} - A_{C2})$$

$$A_{EAG} = (59,75 \text{ mm}^2 - 21,38 \text{ mm}^2)$$

$$A_{EAG} = 38,37 \text{ mm}^2$$

Posteriormente se adiciona el área de 2 detalles correspondientes a la manecilla direccional del estímulo, como se indica a continuación:

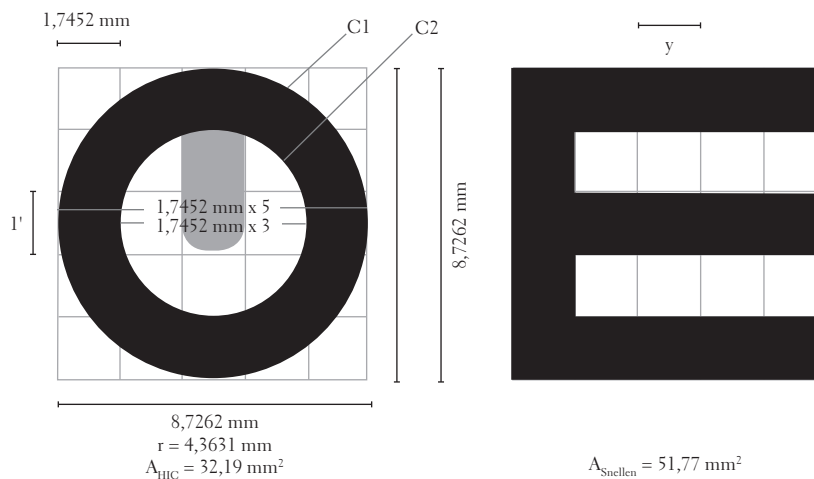


FIGURA 9. Cálculo de las áreas de estimulación efectivas de los estímulos HIC y Snellen

Fuente: elaboración propia.

$$A_{EAG} = 38,37 \text{ mm}^2 + 2 (A_d)$$

$$A_{EAG} = 38,37 \text{ mm}^2 + 2 (3,04 \text{ mm}^2)$$

$$A_{EAG} = 38,37 \text{ mm}^2 + 6,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{EAG} = 44,45 \text{ mm}^2$$

Como evidencia el ejercicio, el área efectiva de estimulación para este ejemplo corresponde a  $A_{EAG} = 44,45 \text{ mm}^2$ .

Dicho de otra forma, el área impresa  $A_{EAG} = 44,45 \text{ mm}^2$ , dividida entre el área individual de un detalle de la matriz cuadrada ( $3,04 \text{ mm}^2$ ), indica el número de detalles contenidos en  $A_{EAG}$ . Desarrollando la fórmula encontramos que  $44,45 \text{ mm}^2 / 3,04 \text{ mm}^2 = 14,62$  detalles, es decir, que el EAG solo posee el área de 14 de los 17 detalles de la "E" direccional, lo cual corresponde al 86,86% de la superficie.

#### ESTÍMULO ARO-RADIAL DE GUERRERO (EAG)

Corresponde a la propuesta de estímulo visual del autor, cuya diferencia con otros estímulos de perímetro circular como la C de Landolt es la inclusión de un estímulo direccional orientado a manera de manecilla, entre el detalle de fijación y el anillo perimetral para conformar un principio de *mínima percepción direccional*.

El perímetro del EAG estimula un mosaico retinal concéntrico, ya que la morfología hexagonal de los fotorreceptores foveolares los relaciona en sus 360 grados con 6 o más fotorreceptores, como se evidencia en la microfotografía electrónica, mientras que el patrón de estimulación de los optotipos con matriz Snellen estimula más fotorreceptores y teóricamente genera una respuesta diferente a un estímulo concéntrico con el mismo tamaño.

Se infiere que la estimulación concéntrica excita de manera aproximada tantos fotorreceptores como detalles contiene el estímulo, y en el caso de los EAG dicha estimulación incide sobre los receptores que conforman el anillo perimetral equidistante al punto de fijación foveolar.

#### PRINCIPIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Esta sección retoma los principios matemáticos y geométricos empleados y aceptados históricamente para construir estímulos de AV y los ajusta a la propuesta EAG para formular un nuevo modelo de evaluación visual que una vez validado frente a la prueba *gold* estándar, permita generar cartas de evaluación con nuevos elementos de confiabilidad de resultados como la direccionalidad, los estímulos distractores y los estímulos de aproximación.

## MATRIZ CONCÉNTRICA (ESTÍMULO CONCÉNTRICO)

Consiste en una plantilla, grilla o modelo lineal con un componente anular y trazos de construcción de detalles radiales y perimetrales del EAG (Navon, 1983); se diferencia de la matriz Snellen en cuanto a la eliminación de aristas (esquinas) para simplificar y hacer más uniforme el estímulo, ya que a pesar de la diferencia morfoscóptica con los optotipos Snellen, conserva el mismo principio angular, pero difiere en la distribución de sus detalles (figura 10).

### DETALLE FIJACIONAL

Corresponde a un detalle circular de 1 min de arco que ocupa el centro del EAG y que es visible en forma aislada en el estímulo distractor.

### COMPONENTE DIRECCIONAL (MANECILLA)

Es un elemento de discriminación de los EAG conformado por detalles direccionales correspondientes a una manecilla orientada (reloj) que genera respuestas diferenciales y se intensifica ante la presencia de astigmatismo (paradoja astigmática). La direccionalidad de los EAG aumenta la confiabilidad de sus respuestas al eliminar el sesgo de la memorización de formas o secuencias de caracteres alfanuméricos.

## ESTÍMULO DISTRACTOR (DIANA)

Las secuencias de EAG incorporan *estímulos distractores* sin componente direccional, para obtener respuestas de control de falsos positivos durante la aplicación de la prueba.

### TAMAÑO DE LOS DETALLES

De la misma forma que los optotipos Snellen, la amplitud de los detalles corresponde a la tangente del ángulo visual constante de 1 min de arco ( $0,1666^\circ$ ) que origina datos crecientes del espesor de los detalles ( $h$ ), con el aumento de la distancia de trabajo (6 m).

$$\text{Tag} \alpha = h/D_t$$

$$h = (\text{Tag} \alpha) \times D_t$$

$$h = (2,9089 \times 10^{-4} \text{m}) \times 6 \text{ m}$$

$$h = 1,74 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$h = 1,74 \text{ mm}$  (tamaño del detalle correspondiente a 1 minuto de arco a 6 m).

Dicha amplitud varía en función de la distancia, aun cuando se calcule con el ángulo visual constante; visto de otra forma, un detalle con amplitud constante representa diversos valores de AV en diferentes distancias de trabajo, debido a que la modificación de esta afecta el valor  $h$  y consecuentemente el MAR, como se evidencia en la tabla 4.

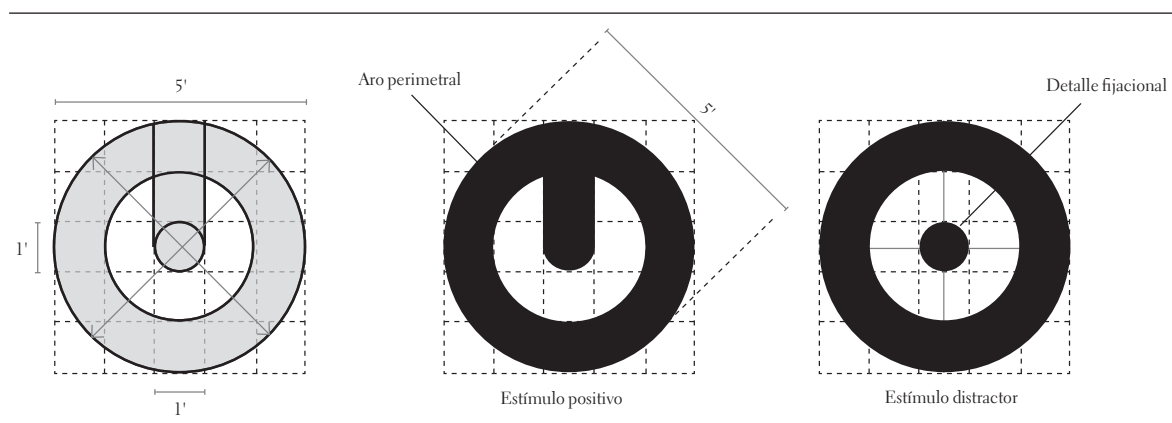


FIGURA 10. Matriz concéntrica EAG.

Fuente: elaboración propia.

TABLA 4. Cálculo de tamaño de los detalles empleado en el diseño de pruebas de medición de AV

AMPLITUD		MAR	LOGMAR	DISTANCIA (m)											
ESTÍMULO (MM)	DETALLE (MM)			6		4		3		1					
87,26280	17,45256	10,00	1,00	20	/	200	20	/	300	20	/	400	20	/	1200
61,08396	12,21679	7,00	0,85	20	/	140	20	/	210	20	/	280	20	/	840
43,63140	8,72628	5,00	0,70	20	/	100	20	/	150	20	/	200	20	/	600
34,90512	6,98102	4,00	0,60	20	/	80	20	/	120	20	/	160	20	/	480
30,54198	6,10840	3,50	0,54	20	/	70	20	/	105	20	/	140	20	/	420
26,17884	5,23577	3,00	0,48	20	/	60	20	/	90	20	/	120	20	/	360
21,81570	4,36314	2,50	0,40	20	/	50	20	/	75	20	/	100	20	/	300
17,45256	3,49051	2,00	0,30	20	/	40	20	/	60	20	/	80	20	/	240
13,08942	2,61788	1,50	0,18	20	/	30	20	/	45	20	/	60	20	/	180
10,90785	2,18157	1,25	0,10	20	/	25	20	/	38	20	/	50	20	/	150
8,72628	1,74526	1,00	0,00	20	/	20	20	/	30	20	/	40	20	/	120
6,54471	1,30894	0,75	-0,12	20	/	15	20	/	23	20	/	30	20	/	90
5,67208	1,13442	0,65	-0,19	20	/	13	20	/	20	20	/	26	20	/	78
4,36314	0,87263	0,50	-0,30	20	/	10	20	/	15	20	/	20	20	/	60

Fuente: elaboración propia.

## RESULTADOS

El análisis y la reflexión planteados sobre los referentes teóricos, anatómicos y los cálculos biométricos y de diseño permiten sistematizar datos fundamentales para entender los procesos ópticos, fisiológicos y matemáticos requeridos para diseñar estímulos individuales o seriados de medición de la AV.

En función de esto, los resultados se evidenciaron en algunos casos como la confirmación de principios fisiológicos o modificaciones de las pruebas y estímulos clásicos para formular una nueva matriz de construcción de los EAG, como se detalla a continuación.

Las pruebas de AV de finales del siglo XIX se basaron en modelos geométricos y trigonométricos a partir de la matriz Snellen. Este dato se aproxima al ángulo visual sólido de la superficie diametral de un cono retinal y representa un valor referencial aceptable para crear detalles de estímulos visuales.

El desarrollo reciente de pruebas visuales como la carta logMAR, demuestra que la distribución deliberada de los estímulos puede afectar su apreciación, respuesta o reproducibilidad entre sujetos con las mismas condiciones visuales, debido a la interacción de contornos y al número heterogéneo de estímulos en cada nivel visual.

El patrón retinal de distribución de los fotorreceptores (microscopía electrónica), demuestra que su mosaico celular adopta formas relativamente concéntricas a partir de cada fotorreceptor considerado, dado su perímetro hexagonal. Esta distribución hace que los mosaicos no sean absolutamente coherentes con la disposición lineal de los detalles de la matriz Snellen.

La progresión logarítmica empleada en los EAG procede de los parámetros *gold* estándar de construcción de estímulos de AV de las pruebas logMAR; sin embargo, el análisis planteado sobre los fundamentos teóricos, fisiológicos y de cálculo, fortalecen la hipótesis de emplear los EAG como estímulo conveniente para evaluar la AV.



Después de integrar los principios fisiológicos válidos al concepto de estimulación concéntrica, se establece el modelo de matriz aplicable a la construcción de EAG, ya que la disposición de sus detalles corresponde a una estimulación retinal más coherente que será validada en la siguiente fase del estudio con tarjetas de demostración y aplicación de la prueba con los estímulos aislados (Messina, 2008).

## DISCUSIÓN

El diseño universal de estímulos Snellen supone la construcción de caracteres alfanuméricos identificables en los contextos geográficos o culturales para los cuales se desarrollan. Por ejemplo, el uso de caracteres romanos y chinos proporciona resultados válidos en sus propios contextos geográficos, pero, ¿serían homologables al desarrollar estudios comparativos planteados bajo los mismos principios metodológicos en escenarios distantes y con las diferencias morfológicas e interpretativas que representan dichos estímulos? (Zhang, 2009).

Los umbrales de medición, como el mínimo visible, separable y de alineación, se aplican universalmente para garantizar la reproducibilidad metodológica; sus resultados con el uso de unidades comunes de medición pueden establecer similitudes o diferencias significativas entre estos, como lo planteó Merchán (2010) en una comparación experimental de esta naturaleza, en la que confrontó el mínimo separable y legible para demostrar la similitud de las respuestas expresadas en unidades comunes de medición.

Esto afianza la necesidad de comparar el EAG con los umbrales fisiológicos de cada paciente y con los estímulos existentes, para determinar, en el primer caso, la capacidad resolutive del ojo y en el segundo, su validez.

La AV 20/20 (logMAR 0,0) ha sido encasillada como “doctrina” de la *capacidad resolutive ideal del ojo*, lo cual origina la siguiente pregunta: ¿por qué

se encuentran tantos pacientes con AV mayor a 20/20 (MAR < 1,0)?, ¿poseen una mayor capacidad resolutive, o se trata de una sobrevaloración de los datos de AV por parte de las pruebas de medición tradicionales? ¿Es posible que cada sistema visual subtienda una capacidad resolutive específica que no permita encasillarla a un valor medio estandarizado (20/20)?

Aun cuando se realizaron las adaptaciones correspondientes a las pruebas originales de Snellen, los hallazgos sugieren que el desarrollo de caracteres universales como la C de Landolt y el estímulo de Palomar simplificó y homologó los estímulos, de manera coherente con la distribución anatómica del mosaico retinal de fotorreceptores. Esta homologación de estímulos aplicada al EAG se ajustaría a la metodología universal para medir la AV, estableciendo un patrón comparativo de datos sobre estímulos homogéneos y concentrando la discusión únicamente en los reportes obtenidos de AV. Pero, ¿qué diferencia existiría entre un EAG y otros estímulos concéntricos una vez determinada la eventual validez de los primeros?

Esta parte de la discusión se resolvería al validar el EAG frente a un *gold estándar* para configurar una cartilla que incluya todos los parámetros requeridos de cantidad, distribución de detalles, número de niveles, escala de medición, y control de espacios y respuestas, etc. Es claro que los EAG difieren fisiológicamente de los estímulos Snellen, pero son teóricamente compatibles con su ángulo visual y los fundamentos anatómicos de la retina y los CR. Entonces, es lógico pensar que los resultados de AV obtenidos con estos pueden representar un dato más confiable o, al menos, ajustado a los principios de compatibilidad entre el estímulo y la foveola.

Aunque algunas observaciones experimentales comparativas de los estímulos aislados de E direccional, Landolt y EAG demostraron diferencias sutiles en las respuestas, solo el tratamiento estadístico de la información obtenida en una muestra representativa de pacientes demostraría si el EAG

es válido para realizar la siguiente fase, consistente en la implementación de una carta con EAG.

## CONCLUSIONES

La reflexión sugiere que existen razones fisiológicas para pensar que la AV superior a 20/20 (logMAR 0,0), observada sistemáticamente en la consulta, no corresponde necesariamente a una capacidad superior de discriminación visual, sino que puede corresponder a datos sobrevalorados de AV basados en la falta de corresponsabilidad entre la matriz de estímulos y los fotorreceptores o, en otros casos, puede ser el producto de configuraciones especiales de fotorreceptores cuyo diámetro es lo suficientemente pequeño para detectar valores  $MAR < 1,0$ .

La integración de los principios del ángulo visual promedio para el 20/20 (logMAR 0,0) empleados en la valoración clínica y en la construcción de pruebas de AV puede cuestionarse, ya que los cálculos y la respuesta clínica revelan la existencia de fotorreceptores del orden de 2,50  $\mu m$  de diámetro que eventualmente justifican capacidades resolutivas superiores y una resolución de ángulos inferiores a 1 min de arco, frecuentemente registrados como mínimos visibles excepcionales.

Contemplado esto, el análisis teórico permite inferir que las diferencias halladas entre los parámetros de diseño con matriz Snellen y concéntrica presentan diferencias de respuesta al emplear simultáneamente ambos estímulos en el mismo paciente. Estas diferencias podrían eliminarse con el EAG, conformado por detalles homogéneos que circunscriben la medición a los principios de conformación del detalle y no a la memorización de caracteres; además, la direccionalidad del EAG configura un mecanismo de determinación burda de la orientación, la intensidad cualitativa de algunos astigmatismos refractivos basales o de los remanentes astigmáticos postcorrección, gracias a su componente direccional. “Basal” hace referencia a un astigmatismo refractivo no corregido o astigmatismo de base, mientras que el “remanen-

te” corresponde a una parte del astigmatismo no compensada con la corrección óptica o quirúrgica.

El EAG permite formular la creación de estímulos con componentes direccionales neutros o *estímulos distractores* no contemplados en otras pruebas cuyos estímulos siempre adoptan direccionalidad; esta variante de estímulo permitiría detectar *falsos positivos* y consecuentemente aumentar la confiabilidad de las respuestas del paciente.

Finalmente, la reflexión propone que existen elementos comunes en el diseño de las pruebas que, con independencia de la matriz con la que sean construidos sus estímulos, permiten medir comparativamente las respuestas reportadas por los pacientes, siempre y cuando sus detalles subtiendan 1 min de arco como referente de normalización y validación de los EAG en una fase clínica experimental.

## REFERENCIAS

- Ahnelt, P. K., Kolb, H. y Pflug, R. (1987). Identification of a subtype of cone photoreceptor, likely to be blue sensitive, in the human retina. *The Journal Comparative of Neurology*, 255, 18-34.
- Bailey, I. L. y Lovie, J. E. (1976). New designs principles for visual acuity setter charts [Nuevos principios de diseño para pruebas de agudeza visual]. *The Journal Comparative of Neurology*, 53, 740.
- Bailey, I. L. y Lovie, J. E. (1980). The design and use of a new near vision chart [Diseño y uso de una nueva carta de agudeza visual cercana]. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 6 (57), 378-387.
- Bailey, I. L. y Lovie, J. E. (1991). *Low vision visual acuity. Clinical procedures in optometry* [Agudeza visual en baja visión. Procedimientos clínicos en optometría]. Philadelphia: Lippincott Company.
- Becker, R., Hubsch, S., Graf, M. H. y Kaufmann, H. (2002). Examination of young children with Lea symbols [Examen de niños con símbolos de Lea]. *Journal of Ophthalmology*, 86 (5), 513-516.
- Borish, I. M. (1970). *Clinical refraction* [Refracción clínica]. Chicago: The Professional Press.

- Bruce, V., Georgeson, M. y Green, P. (1996). *Visual perception, psychology and ecology*. [Percepción visual, fisiología y ecología]. Reino Unido: Psychology Press.
- Carlson, N., Kurts, D., Heath, D. y Hines, C. (2004). *Clinical procedures of ocular examination* (p. 10). Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Colenbrander, A. (2001). Measuring vision and vision loss [Midiendo la visión y la pérdida visual]. En *Duane's Clinical Ophthalmology* (vol. 5). Philadelphia: Lippincott.
- Duke-Elder, S. S. (1968). *The physiology of the eye and of vision. System of Ophthalmology* [La fisiología del ojo y la visión. Sistema de oftalmología]. Londres: Henry Kimpton.
- Furlán, W., García Monreal, J. y Miñó Escrivá, L. (2009). *Fundamentos de optometría* (2ª ed.). Valencia: Universidad de Valencia.
- Grosvenor, T. (2007). *Primary care optometry* (pp. 174-175). St. Louis, Missouri: Elsevier.
- Guerrero, J. J. (2005). *Optometría clínica*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás.
- Kaufman, P. y Alm, A. (2004). *Fisiología del ojo* (pp. 454-451). Salt Lake City, Estados Unidos: Elsevier.
- Leat, S. J., Shute R. H. y Westall, C.A. (1999). *Assessing children's vision* [Evaluación de la visión en niños]. Oxford: Butterworth Heinemann.
- León Álvarez, A. y Estrada Álvarez, J. M. (2011). Reproducibilidad y concordancia para la carta Snellen y Lea en la valoración de la agudeza visual en infantes de primaria. *Revista Andina Visual*, 22 (13).
- Lorente Velásquez, A. (2007). Agudeza visual. En *Manual Alcon*. Barcelona: Laboratorio Alcon.
- Merchán de Mendoza, G. (2010). Comparación experimental entre el mínimo separable y el mínimo legible de Snellen. *Revista Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 2 (8).
- Luna Blanco, R., Calvo, B., Zalabardo, C., López, D. y Blanca Mena, M. J. (2001). Características de los estímulos y de la tarea en el procesamiento de los rasgos global y local. *Revista de Metodología y Psicología Experimental*, 2 (22), 267-292.
- Messina, E. (2006). *Standards for visual acuity* [Estándares de agudeza visual]. The National Institute of Standards and Technology (NIST) U.S. Commerce Department, Estados Unidos. Recuperado el 2 de noviembre del 2008, de <http://www.isd.mel.nist.gov/US&R Robot Standards/Visual AcuityStandars 1.pdf>.
- Munoa Roiz, J. L. (1974). *Especialidades quirúrgicas: la oftalmología* (6) (pp. 327-336). Barcelona: Salvat.
- Navon, D. y Norman, J. (1983). Does global precedence really depend on visual angle? [La prioridad mundial realmente depende del ángulo visual?]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 955-965.
- Peláez Coca, M. D. (2007). *Desarrollo y evaluación de ayudas optoelectrónicas para pacientes de baja visión* (pp. 29-30). Granada: Universidad de Granada.
- Schwartz, S. (2003). *Visual perception: A clinical orientation*. [Percepción visual. Una orientación clínica]. Nueva York: McGraw-Hill.
- Slade, S. V., Dunne, M. C. M. y Miles, J. N. V. (2002). The influence of high contrast acuity and normalized low contrast acuity upon self-reported situation avoidance and driving crashes. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 22 (1), 1-9
- Sloan, L. L., Habel, A. y Ravadge F. (1974). Basic test kit for selection of reading aids for the partially sighted. *American Journal of Ophthalmology*, 78 (6), 1014-1021.
- Urtubia Vicario, C. (1996). *Neurobiología de la visión* (p. 85). Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Zhang, J. Y., Zhang, T., Xue, F., Liu, L. y Yu, C. (2009). Legibility of Chinese characters in peripheral vision and the top-down influences on crowding. *Vision Research*, 49, 44, 53.

Recibido: 10 de julio del 2012

Aceptado: 17 de septiembre del 2012

CORRESPONDENCIA

José Joaquín Guerrero Vargas, O.D.  
jogueroovich@yahoo.com



---

## Reporte de casos

---

