



FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Trabajo de
Fin de Grado

Astigmatismo. Definición,
tipos, descubrimiento, leyes,
formas de prescribirlos,
tratamientos.

Presentado en la Facultad de Óptica
y Optometría de la Universidad de
Santiago de Compostela

Autora: López Ares, Carolina

Tutor: García Domínguez, Gonzalo

Grado en Óptica y Optometría

Curso académico 2023/2024

1. Resumen

El astigmatismo es un error refractivo que afecta la visión debido a irregularidades en la córnea o el cristalino, resultando en una imagen borrosa o distorsionada. Esta condición presenta multitud de opciones de clasificación.

La etiología del astigmatismo es compleja, se estudia la existencia de una combinación de factores genéticos, ambientales y fisiológicos que contribuyen a su desarrollo. A lo largo de la historia, figuras como la de Thomas Young, George Airy o William Whewell han servido de ayuda para entender y corregir el astigmatismo. Aunque a día de hoy, siguen existiendo numerosas incógnitas sobre este error refractivo.

La detección y medición del astigmatismo se llevan a cabo mediante métodos subjetivos y objetivos, como la refracción subjetiva, la queratometría, la topografía corneal, la retinoscopía y en algunos casos la oftalmoscopia.

La ley de Javal, junto con la queratometría, conforman una herramienta clave para estimar el astigmatismo total a partir de la curvatura corneal. Lo cual siempre es muy útil, especialmente en casos donde los métodos subjetivos fallan.

Las opciones de corrección del astigmatismo incluyen lentes oftálmicas, lentes de contacto y cirugía refractiva. Cada una de ellas, se evalúa en función de su efectividad y adecuación al grado de astigmatismo presente en el paciente. Estos métodos permiten mejorar significativamente la calidad de vida de las personas afectadas.

Número de palabras: 9873

2. Índice de contenidos

1.	Resumen.....	1
2.	Índice de contenidos	2
3.	Índice de tablas	3
4.	Introducción.....	4
5.	Objetivos	6
6.	Planificación del trabajo	7
6.1.	Cronograma de la planificación del trabajo	7
6.2.	Estrategias de búsqueda bibliográfica	7
7.	Definición	9
7.1.	Descubrimiento	10
7.2.	Clasificación del astigmatismo	11
7.3.	Astigmatismo corneal, interno y total	12
7.4.	Etiología del astigmatismo	13
7.5.	Síntomas del astigmatismo	18
7.6.	Cambios con la edad	19
8.	Leyes.....	21
9.	Formas de prescribirlo.....	24
9.1.	Exploración objetiva	24
9.2.	Exploración subjetiva	29
10.	Corrección	31
11.	Conclusiones y futuras líneas de investigación	35
12.	Bibliografía.....	37

3. Índice de tablas

Tabla 1. <i>Cronograma de la planificación del trabajo</i>	7
Tabla 2. <i>Tipos de mapas topográficos</i>	26
Tabla 3. <i>Clasificación del astigmatismo según su patrón topográfico y características según H. Karabatsas y colaboradores (1999)</i>	27
Tabla 4. <i>Tipos de lentes empleadas en la corrección del astigmatismo</i>	31

4. Introducción

Los errores refractivos son defectos muy comunes en la práctica clínica. Estos ocurren cuando el ojo no puede enfocar claramente las imágenes. El resultado de los errores refractivos suele ser la visión borrosa, pero en algunos casos puede derivar en problemas binoculares o llegar a afectar a la calidad de vida de la persona que lo presente, o incluso influir en el rendimiento académico en el caso de tratarse de niños. En este trabajo nos centraremos en un tipo de error refractivo: el astigmatismo, que también puede generar síntomas como dolores de cabeza, fotofobia, mareos o náuseas. [1], [2]

El interés de realizar un trabajo sobre este tema surge por la necesidad de comprender de una manera más exhaustiva acerca de los factores que contribuyen al desarrollo del astigmatismo, así como las diferentes opciones de prescribirlo y tratarlo. A pesar de que el astigmatismo ha sido objeto de estudio desde el siglo XIX, con los primeros datos proporcionados por Thomas Young, George Airy o William Whewell, aún quedan mucha información por descubrir relacionada con sus causas y la manera en la que afecta a las diferentes poblaciones. [3]

La estructura de este trabajo comienza definiendo lo que es el astigmatismo junto con el conocimiento de sus conceptos básicos (su clasificación, etiología, síntomas y cambios con la edad), y su historia. A continuación, se hace una revisión de la ley de Javal y su utilidad, siendo comparada con los diferentes métodos de prescripción, los cuales serán descritos en el siguiente punto. En relación con este último punto, se tratarán los métodos actuales de corrección: lentes oftálmicas, lentes de contacto y cirugía refractiva. Por último, se presentarán las conclusiones y las posibles futuras líneas de investigación basadas en la información presentada en este trabajo.

A pesar de ser uno de los errores refractivos más comunes, no se ha demostrado de manera concluyente ninguna teoría de cómo se desarrolla. Existen múltiples investigaciones que estudian su posible origen genético o étnico; otras estudian la manera en la que el astigmatismo puede ser adquirido a causa de factores como la presión palpebral, la tensión generada por los músculos extraoculares o las malas posturas de cabeza y espalda. [3]

Los primeros datos que tenemos sobre el astigmatismo comienzan en 1800 cuando Thomas Young descubrió su propio astigmatismo, pero no fue hasta el año 1825 cuando George Airy utilizó la primera lente cilíndrica para medirlo. Es en 1849 cuando William Whewell proporciona un término para referirse a este error refractivo. [3]

Las mediciones de la prevalencia son difíciles de estimar, dado que el astigmatismo tiende a variar según la definición que se utilice de este, o en los

Astigmatismo. Definición, tipos, descubrimiento, leyes, formas de prescribirlos, tratamientos.

diferentes grupos étnicos y/o etapas de la vida. Aunque se han llevado a cabo numerosos estudios que coinciden que el astigmatismo se presenta con mucha frecuencia en grados bajos ($<0,50$ D), mientras que los astigmatismos de altas potencias ($>3,00$ D) son menos frecuentes. [2]

La determinación del astigmatismo se puede realizar mediante métodos subjetivos u objetivos, los cuales describiremos en apartados posteriores del trabajo. [4]

Una vez determinado el grado de astigmatismo, se investigarán cuáles son las formas de tratamiento más efectivas según cada caso.

En resumen, este trabajo pretende ofrecer un enfoque profundo del astigmatismo, abordando sus múltiples aspectos desde una perspectiva tanto histórica como actual. A través de esta revisión bibliográfica no sólo se espera aumentar el conocimiento sobre este defecto refractivo, sino que también se tratará de proporcionar futuras líneas de investigación sobre el tema.

5. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo será definir y diferenciar las principales características del astigmatismo, así como sus tipos, sus causas y cómo afectan.

Como objetivos específicos, se propone conocer acerca de la historia de los primeros datos que se tienen sobre el astigmatismo y como se llega hasta las referencias actuales del tema. Así mismo, se estudiarán las diferentes formas de graduarlo y de corregirlo.

6. Planificación del trabajo

6.1. Cronograma de la planificación del trabajo

Tabla 1. Cronograma de la planificación del trabajo

	Oct.-Dic.	En.-Feb.	Mar.-May.	May.-Jun.
Fase 1				
Fase 2				
Fase 3				
Fase 4				
Fase 5				

-Fase 1: Se concreta el título del trabajo con el tutor. A partir de ahí, se proponen unos objetivos generales y se hace una extensa búsqueda de información relacionada con el tema.

-Fase 2: Se continúa con la búsqueda de información. Se elabora el índice y objetivos del trabajo.

-Fase 3: Se comienza con el desarrollo del trabajo a base la continuación de la búsqueda bibliográfica y de borradores, sintetizando y seleccionando la información obtenida en los meses previos.

-Fase 4: Se redactan las conclusiones y el resumen del trabajo con sus respectivas palabras clave. Se trata de finalizar el trabajo.

-Fase 5: Se revisa el trabajo con detalle por si se precisa realizar algún cambio. Se encuaderna el trabajo y se prepara la presentación y la defensa.

6.2. Estrategias de búsqueda bibliográfica

BASES DE DATOS

La búsqueda bibliográfica se ha llevado a cabo mediante el uso de las bases de datos PubMed, Google Scholar, Google Books, Elsevier, Wiley Online Library y Dialnet. También se han consultado artículos y libros en la base de datos de la Biblioteca Universitaria de Santiago de Compostela, conocido como "Iacobus".

Se han consultado las páginas web del *National Eye Institute* (NEI), de la *American Optometric Association* (AOA), de *SECOIR* y de la *American Academy of Ophthalmology* (AAO).

Además, se ha llevado a cabo una búsqueda manual de la información a través de libros encontrados la biblioteca de la facultad de Óptica y Optometría en Santiago de Compostela.

Astigmatismo. Definición, tipos, descubrimiento, leyes, formas de prescribirlos, tratamientos.

PALABRAS CLAVE

Las palabras clave introducidas en las bases de datos para la búsqueda de la información fueron: *Astigmatism, Javal, etiology, Grosvenor, symptoms, keratometry, topography, retinoscopy subjective refraction, history, types, genetic, acquired, correction* y una combinación de estas.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN EN LA BÚSQUEDA DE ARTÍCULOS

Los criterios de exclusión aplicados en la búsqueda de artículos en las diferentes bases de datos fueron:

- Artículos o documentos que no estuviesen escritos en español o inglés.
- Artículos o documentos con texto y/o resumen disponible.
- Artículos o documentos escritos antes de 1980.
- Artículos o documentos que hablasen exclusivamente de técnicas de cirugía refractiva.

7. Definición

El astigmatismo es un defecto visual en el que la luz es incapaz de proyectarse correctamente en la retina debido a una irregularidad en la córnea o el cristalino. En esta afectación, la superficie corneal adquiere un aspecto ovalado, por lo que los rayos de luz no se enfocarán en un solo punto, lo que provocará una visión borrosa en cualquier distancia. También, los cambios en la curvatura del cristalino pueden influir en cambios de astigmatismo. [5]

Definiremos el astigmatismo desde dos puntos de vista: el óptico y el refractivo.

El astigmatismo, desde el punto de vista óptico, es definido como la asimetría de la superficie de una lente que hace que los rayos de luz converjan de manera desigual, provocando así que la imagen no se forme en un solo foco, sino en varios, y quede deformada. [6]

Desde el punto de vista refractivo, el astigmatismo es definido como aquella condición en la que el ojo presenta un defecto en la curvatura de sus meridianos, lo cual impide la convergencia de los rayos en un único foco. Por lo tanto, la imagen de un punto objeto se correspondería con varios puntos imagen, los cuales se definirán como dos focales perpendiculares entre sí, separadas a una distancia que dependerá de su potencia, esa distancia es conocida como conoide de Sturm, la cual determinará la magnitud del astigmatismo. El punto en el que las focales son equidistantes es denominado como el círculo de menor confusión (CMC), lugar en donde el astígmata sin corregir alcanzará su mayor agudeza visual (AV). [6], [4], [7]

7.1. Descubrimiento

El astigmatismo como concepto casi de 225 años de antigüedad; como nombre, 175 años. El concepto se le atribuye a Thomas Young, y el nombre a William Whewell.

Como se ha mencionado anteriormente, los primeros datos históricos del astigmatismo datan de hace más de 200 años con Thomas Young, donde la primera referencia y descripción aparece en su obra "On the Mechanism of the eye" (1801), cuando él mismo notó que si miraba a un punto lúcido, veía una línea distorsionada, no un punto perfecto. Usando el optómetro de Sheiner (un instrumento que se utilizaba para comprobar el mecanismo de acomodación) observó su ojo, y comprobó que cuando estaba relajado era incapaz de enfocar ambos meridianos ya que tenían potencias distintas, la imagen se enfocaba en la retina en el plano vertical a 10 pulgadas (3,94 D) de distancia de la córnea y a 7 pulgadas (5,62 D) en el plano horizontal. Esto llevó a Young al descubrimiento del astigmatismo, siendo el primero en describirlo y medirlo. [8], [9]

Young decidió realizar un experimento en el que sumergía un ojo en el agua para eliminar el poder dióptrico de la córnea. Concluyó que esta acción no tenía ningún tipo de influencia en su astigmatismo, por lo que afirmó que esta deformidad no estaba relacionada con la córnea, sino que era debida a la oblicuidad de la úvea y del cristalino. Este suceso supuso un retraso en el reconocimiento del astigmatismo como un error localizado principalmente en la córnea. No es hasta 1818, cuando E. G. Fisher designa a la córnea como la causante principal del astigmatismo mediante la hipótesis de que la curvatura corneal se asemeja a la de una elipse y se demuestra mediante la medida de sus meridianos vertical y horizontal. [9], [10]

Siguen las observaciones con George Bidell Airy en 1825, que consiguió ser el primero en describir su propia ametropía astigmática en su ojo izquierdo y corregirla exitosamente. Observó que la imagen formada por un punto brillante se correspondía con una elipse y que su mayor eje formaba un ángulo de 35° con la vertical. Concluyó que la refracción en un plano era mayor en uno que en otro, y que para corregirlo necesitaría dos lentes cilíndricas independientes, con las que se conseguía una buena AV. Perfeccionó este tipo de lentes modificando su diseño, con una superficie cilíndrica y otra esférica. Airy fue el primero en calcular la compensación del astigmatismo explicando porqué es preferible utilizar una lente esferocilíndrica a una bicilíndrica. [8], [9], [10]

No es hasta 1849 cuando William Whewell acuña oficialmente el término "astigmatismo" (proveniente de los términos griegos: *a-*, negación; *-stigma-*, punto; *-ismos*, proceso patológico) para referirse a este error refractivo descrito por Airy. Whewell no hizo referencia a este término en sus publicaciones, dejando así que Airy fuese el primero en mencionarlo. [8], [9], [10]

7.2. Clasificación del astigmatismo

Los criterios de clasificación del astigmatismo son bastante extensos, pero desde el punto de vista clínico se clasifica según:

- Según la curvatura y orientación de los meridianos podemos encontrarnos con los siguientes tipos:
 - ➔ Astigmatismo directo o a favor de la regla: el meridiano vertical es el más potente. [4]
 - ➔ Astigmatismo inverso o en contra la regla: el meridiano más potente es el horizontal. [4]
 - ➔ Astigmatismo oblicuo: los meridianos principales se encuentran a más de 20° de la línea horizontal o vertical. [4]
- Según la relación de las líneas focales con la retina (con la acomodación relajada) nos encontramos con los siguientes tipos:
 - ➔ Astigmatismo simple: se produce cuando una línea focal se sitúa sobre la retina y la otra por delante o por detrás de ésta. Si se encuentra por delante de la retina nos encontraremos con un *astigmatismo miópico simple*; mientras que si la focal se sitúa por detrás de la retina estaremos ante un *astigmatismo hipermetrónico simple*. [4]
 - ➔ Astigmatismo compuesto: se produce cuando ambas focales se encuentran por delante de la retina (*astigmatismo miópico compuesto*) o por detrás de ésta (*astigmatismo hipermetrónico compuesto*). [4]
 - ➔ Astigmatismo mixto: se produce cuando una línea focal se encuentra por delante de la retina y la otra por detrás. En este caso, el CMC se encuentra cerca de la retina, por lo que la AV será relativamente buena. [4]

7.3. Astigmatismo corneal, interno y total

El astigmatismo corneal afecta a la parte anterior de la córnea y es el más importante y frecuente de todos los que puedan presentar las diferentes potencias dióptricas del ojo. La mayor parte de las córneas presentan un astigmatismo directo 0.50 D aproximadamente, esto es lo que se conoce como astigmatismo fisiológico, no produce alteraciones en la AV ni problemas astenópicos. Sin embargo, existe un pequeño porcentaje de córneas que presentan astigmatismo inverso, oblicuo, o que simplemente no presentan. Se determina mediante la queratometría y/o topografía. [4], [8]

El astigmatismo interno es causado por la toricidad de la superficie posterior de la córnea y la inclinación del cristalino. Es relativamente bajo en comparación con el astigmatismo corneal y se presenta como un astigmatismo inverso. [4], [11]

El astigmatismo total, también conocido como astigmatismo refractivo, es aquel que cuya suma está determinada por las modificaciones de curvatura y posición de la córnea y cristalino (y en algún caso específico, también la retina). Es decir, la suma del astigmatismo corneal y el astigmatismo interno. Se determina mediante la refracción subjetiva o con la retinoscopia. [8]

7.4. Etiología del astigmatismo

A día de hoy no se han llegado a comprender todavía cuáles son los factores exactos que puedan llegar a causar astigmatismo. Una gran cantidad de evidencias sugieren que es hereditario, otras que varía entre grupos étnicos, con la edad, el uso de lentes de contacto o a causa de factores ambientales y/o fisiológicos.

GENÉTICA

Se han llevado a cabo numerosos estudios para determinar si el astigmatismo es un error que ciertamente está relacionado con algún aspecto genético, pero los resultados son bastante contradictorios. Algunos afirman que existe un grado de heredabilidad en el astigmatismo, incluso que podría tratarse de una herencia autosómica dominante; mientras que otros se sostienen a la idea de que se pueda tratar de un factor ambiental.

Uno de los primeros estudios se atribuye a Wixson en 1958 [12], quien analizó la heredabilidad de la potencia corneal comparándola con un grupo de padres e hijos y otro de esposos y esposas. Concluyó que la potencia corneal de los padres sí que podría determinar la de sus hijos. Sugirió que este tipo de herencia seguiría un patrón autosómico recesivo. [12]

Posteriores estudios que se llevaron a cabo con gemelos monocigotos y dicigotos, llegaron a la conclusión de que las correlaciones entre los gemelos monocigotos y los dicigotos en el astigmatismo no presentaban diferencias significativas, por lo que se trataría de un factor ambiental. [13], [14]

Destacamos el trabajo de Lee y colaboradores [15], que analizaron los errores refractivos de un amplio número de familias y llegaron a la conclusión de que existe una mínima asociación del astigmatismo entre padres e hijos, pero bastante considerable entre hermanos y primos. Lo cual reafirma los datos obtenidos por los estudios anteriores realizados sobre grupos de gemelos. [15]

Sin embargo, en otros estudios realizados sobre grupos de gemelos monocigotos y dicigotos por grupos diferentes de investigadores, se afirma que puede existir una etiología genética en la heredabilidad del astigmatismo que oscila entre 30/60%. [16], [17], [18], [19]

Según los resultados obtenidos por un estudio reciente realizado a un amplio número de niños en edad preescolar, se concluye que tanto el astigmatismo paterno como el astigmatismo materno influyen en el astigmatismo total del niño, también afectan otros factores como la mayor edad paterna al nacer, exposición al humo durante el embarazo y la edad del propio niño. Por el contrario, no influirá sobre el astigmatismo total la lactancia materna parcial, o la alimentación por fórmula. En el propio estudio se valoraron otro tipo de factores y la manera en la que afectan al estado refractivo. En el caso del astigmatismo corneal anterior, aumentará su riesgo el trabajo materno durante el embarazo, el parto por cesárea y la relación entre la longitud axial y el radio corneal. [20]

GRUPOS ÉTNICOS

Puede existir una variación de la prevalencia del astigmatismo entre los diferentes grupos étnicos. Es por eso que se han llevado a cabo varios estudios en diferentes poblaciones para confirmar esta teoría.

Se ha documentado que los sujetos nativos americanos presentan una mayor prevalencia de astigmatismo de tipo corneal a favor de la regla. En 2006, Harvey y colaboradores [21] realizaron un estudio en el que examinaron la prevalencia del astigmatismo, la AV deficiente y el uso de lentes oftálmicas en niños de una tribu nativa americana; obtuvieron como resultado que el 42% de los sujetos presentaba un astigmatismo a favor de la regla mayor o igual a 1,00 D, lo cual influyó en una alta prevalencia (35%) de una baja AV. [21]

Otra de las evidencias destacadas es la propuesta por Lyle, Grosvenor y Dean en 1972 [22]; que estudiaron las diferencias astigmáticas que existían tanto en los diferentes grupos raciales como dentro de ellos. Para ello valoraron la presencia de astigmatismo corneal en grupos de niños indios de dos regiones canadienses. Se encontró una diferencia significativa del astigmatismo entre los dos grupos de niños indios, la cual concluyeron que era debida al estilo de vida, ya que unos habían llevado una vida urbana y los otros más rural (la prevalencia del error refractivo fue más alta en este último grupo). Propusieron que esto se debía, entre otros factores, al tipo de alimentación, dado que los niños que vivían en un ambiente rural se alimentaban peor, por lo que podría producirse un aumento de la rigidez corneal y derivar así en una prevalencia más alta de astigmatismo. [4], [22]

También se llevaron a cabo estudios en sujetos de Asia oriental. Se destaca el trabajo de Kame y colaboradores [23], que observaron que las personas menores de 30 años presentaban un astigmatismo a favor de la regla, mientras que los mayores de 30 años mostraban una disminución de ese astigmatismo a favor de la regla. Sugirieron además que el cambio astigmático en este grupo étnico es mucho mayor que el de un grupo de sujetos caucásicos, lo cual puede ser debido a la estrechez de sus párpados. [23]

Se reafirman estos datos en estudios posteriores realizados por Fan y colaboradores [24] y Wu H-M [25], quienes concluyen la alta prevalencia de astigmatismo a favor de la regla en sujetos asiáticos orientales. [24], [25]

En 2003, Kleinstein y colaboradores [26] realizaron un estudio en el que se analizó la prevalencia de los errores refractivos en 4 grupos étnicos diferentes: afroamericanos, asiáticos, hispanos y caucásicos. Tras haber realizado la refracción bajo cicloplejia, se obtiene como resultados que los asiáticos y los hispanos presentan una mayor prevalencia para el astigmatismo (33,6% y 36,9% respectivamente); mientras que en el caso de los afroamericanos y los caucásicos, presentan una prevalencia más baja (20% y 26,4% respectivamente). [26]

MÚSCULOS EXTRAOCULARES

El efecto de la tensión de los músculos extraoculares sobre la curvatura de la córnea es un tema que no abarca una investigación demasiado extensa, por lo que los resultados obtenidos en diferentes estudios son muy limitados.

Las primeras investigaciones tratan de estudiar la relación entre el estado de la curvatura corneal durante la convergencia, donde se concluye que no se encuentra ningún cambio significativo en la topografía corneal. [27]

Otras investigaciones estudian la tensión que producen los músculos extraoculares en la topografía y la curvatura corneal tras una cirugía de los

propios músculos. La alteración de la tensión o los cambios de fuerzas producidos por la cirugía, pueden llegar a causar diferentes cambios topográficos, aunque se puede dar el caso de que estas alteraciones sean temporales se reduzcan temporalmente o desaparezcan tras haber pasado un tiempo determinado de la cirugía. [28], [29], [30]

PRESIÓN PALPEBRAL

Se ha estudiado la posibilidad de que el hecho de que una córnea presente o no astigmatismo dependa de la rigidez corneal y de la presión ejercida por el párpado superior.

Grosvenor propone que la córnea es una porción de esfera inflada y que si no existiesen presiones externas que actuasen sobre ella, presentaría el mismo radio de curvatura en todos los meridianos. Pero la estrechez de los párpados y la rigidez de la superficie ocular pueden interactuar para formar un astigmatismo a favor de la regla. Con la edad los párpados se vuelven más flácidos, lo que provoca un cambio en este efecto pudiéndose llegar a formar un astigmatismo en contra de la regla en adultos mayores. [4]

Siguen las investigaciones con Wilson, Bell y Chotai [31], que midieron con un queratómetro la toricidad corneal de 18 sujetos con los párpados en posición normal y retraídos. Observaron que con astigmatismos a favor de la regla de más de 1 D, la retracción de los párpados conseguía disminuir el grado de astigmatismo. Por lo que se afirma que la posición de los párpados influye en el grado de astigmatismo corneal. [4], [31]

Gracias a los estudios anteriores, se ha deducido que la toricidad corneal puede verse alterada si se levantan los párpados de la superficie del ojo. Por eso, Grey y Yap [32] decidieron realizar un estudio en el que se midió el astigmatismo de un grupo de 50 pacientes jóvenes con tres posiciones palpebrales diferentes (ensanchados, en posición normal y estrechados). Concluyeron que se puede inducir astigmatismo a favor de la regla cuando los párpados se estrechan voluntariamente. [32]

Si la presión palpebral puede inducir astigmatismo a favor de la regla, debería existir una relación entre la posición palpebral y el eje del astigmatismo. Eso fue lo que analizaron García y asociados [33] en un estudio en el que tomaron la refracción, topografía y fisura palpebral de un grupo de niños que presentaban un astigmatismo alto para investigar si existe relación entre la inclinación de la fisura palpebral y el eje y la magnitud del astigmatismo. Con los resultados obtenidos se concluye que los niños con inclinaciones altas de la fisura palpebral tienen más riesgo de padecer astigmatismos altos, además el eje del astigmatismo está relacionado con la inclinación de la fisura palpebral. [33]

MOVIMIENTO OCULAR Y MOVIMIENTO Y POSTURA DE CABEZA

Se ha tratado de investigar un nuevo factor etiológico del astigmatismo relacionado con una combinación de una triada que consiste en el escaneo ocular, el movimiento de la cabeza y la postura de la cabeza.

Autores como Getman, Streff y Apell, Birnbaum, Childress o Harmon han investigado acerca del tema concluyendo que el astigmatismo se adquiere de

manera funcional a causa de un estrés acomodativo o de convergencia o malos hábitos posturales. [34]

Se destaca el trabajo realizado por EB Forrest [34], que relacionó el grado de astigmatismo con la cantidad de movimientos de cabeza y la dirección de los movimientos oculares.

En 1981 publicó un estudio que fue realizado a partir de tres observaciones clínicas que el autor había contemplado con anterioridad: la primera fue la aparición de cambios impredecibles e inexplicables en el eje, magnitud y tipos de astigmatismo en el periodo de un año o menos; la segunda fue la ausencia del seguimiento de tendencias estadísticas que seguían los miopes, présbitas y pacientes con estrés visual de mostrar una disminución del astigmatismo directo o un aumento de astigmatismo inverso; el último es un caso específico de cambio drástico en el astigmatismo debido a una inmovilización forzada de la cabeza. [34]

Con estas observaciones desarrolló una hipótesis, en la que afirmaba que la limitación persistente de los movimientos oculares y de cabeza en ciertos meridianos, puede llevar a adaptaciones estructurales que acaben derivando en astigmatismo. Concluyó que una preferencia del escaneo ocular en el meridiano horizontal se relaciona con un astigmatismo directo, una preferencia de escaneo en el meridiano vertical se relaciona con un astigmatismo inverso, y que la inclinación constante de la cabeza, del objeto o ambas, puede relacionarse con un astigmatismo oblicuo. Cuando este factor viene acompañado de una mala postura de la cabeza, el ojo que esté más alejado del objeto será el que presente un grado más alto de astigmatismo, lo cual podrá derivar también en una anisometropía cilíndrica. [34]

En 1984 Forrest [35] publica otro estudio en el que trata de desarrollar una terapia para reducir este tipo de astigmatismo. Para ello, trabajó sobre un grupo de 90 personas dividiéndolas en dos grupos: el grupo experimental (que seguiría la terapia) y el grupo control (que no la siguió). [35]

En esta terapia se trata de aumentar el movimiento ocular libre de movimiento de cabeza en el meridiano afectado. Para ello, los pacientes debían realizar movimientos oculares amplios sin mover la cabeza durante varias veces al día. En el caso de la ametropía astigmática, se recomendaba a los pacientes alinear correctamente la cabeza y la tarea visual. [35]

Se realizaron las mediciones antes y después de la prueba, obteniendo como resultados un efecto positivo en la reducción del astigmatismo y en la mejora de la alineación de la cabeza en los casos de anisometropía astigmática. Con estos resultados, Forrest concluyó que la terapia puede ser efectiva en periodos cortos de tiempo y en cualquier tipo de sujeto, independientemente su edad o corrección utilizada. [35]

Unos años más tarde, Paul Harris [36] examina la teoría del astigmatismo de Forrest sobre los músicos de una orquesta sinfónica, ya que son sujetos que trabajan en ambientes estresantes y se ven obligados a mantener una postura limitante durante largos periodos de tiempo. [36]

Tras el estudio y análisis de 7 casos de músicos que ocupaban papeles diferentes dentro de la orquesta, el autor concluye que una postura asimétrica

Astigmatismo. Definición, tipos, descubrimiento, leyes, formas de prescribirlos, tratamientos.

afecta al estado visual de los músicos, que las demandas de exploración visual horizontales y verticales influyen en el desarrollo de astigmatismo, y que las adaptaciones posturales y visuales son difíciles de cambiar sin afectar a la calidad de la interpretación musical. [36]

En un trabajo publicado en 2007 en la Universidad Católica de Ecuador se le atribuye un nombre a este tipo de astigmatismo, y es “astigmatismo tensional” que aparece tras un esfuerzo prolongado en visión próxima como resultado de un exceso acomodativo. [37]

7.5. Síntomas del astigmatismo

Cuando el astigmatismo es leve, los pacientes no suelen referir una gran sintomatología, a no ser que se realicen excesivas actividades que requieran una visión precisa. En el caso contrario, se determinará el astigmatismo mediante el examen visual, ya que antes pueden no llegarse a notar. En el caso de tener un astigmatismo leve, el paciente puede referir algunos síntomas astenópicos, que vienen acompañados de fotofobia, náuseas, vértigo, lagrimeo excesivo y/o dolores de cabeza frontales. La AV sin corrección en este caso puede llegar a ser bastante buena, aunque el paciente puede referir que los ojos se cansan y/o que observan las letras con sombras o se desdoblán, sobre todo después de realizar actividades que precisen una mirada fija tales como conducir o leer. Es común que la AV disminuya con la edad. [6]

En el caso de un astigmatismo elevado, es mucho más común que el paciente sí refiera molestias y síntomas tales como visión borrosa tanto en lejos como en cerca, incluso pueden referir diplopía o imágenes con sombras en visión monocular, lo que provoca que el paciente realice un acercamiento excesivo durante las tareas en visión próxima para intentar así aumentar el tamaño de la imagen retiniana. Todo esto puede venir acompañado también de tortícolis, ya que el paciente tendrá que buscar una posición compensadora (sobre todo en casos de astigmatismos oblicuos). Se puede dar también el caso de una disminución de la hendidura palpebral o guiño de ojos para conseguir un efecto estenopeico. [6]

En el caso de los niños, es probable que no se den cuenta de que tienen la visión borrosa o que vean las imágenes distorsionadas. Por lo que, si el astigmatismo no se corrige y avanza, pueda llegar a afectar a su rendimiento escolar llegando incluso a provocar ambliopía. [6], [8]

Se ha pretendido estudiar si la AV varía en función del tipo de astigmatismo que se presenta en el ojo. Recientemente Laura Remón, Juan A. Monsoriu y Walter D. Furlan [38] realizaron un estudio que tenía como propósito principal comparar el cambio de las agudezas visuales según el tipo de astigmatismo inducido en ojos emétopes sanos y sin problemas acomodativos. Los resultados obtenidos se representaron en función al módulo del vector de la potencia dióptrica inducida. Se observó que la AV varía de manera proporcional en función al desenfoque creciente. [38]

7.6. Cambios con la edad

En relación con el estudio de la prevalencia, se han realizado numerosas investigaciones relacionadas con los cambios que ocurren en los ojos astigmáticos a lo largo de la vida.

LACTANTES

Se han llevado a cabo varios estudios sobre el estado corneal de los lactantes durante los primeros meses de vida, en los que se ha demostrado que los lactantes presentan altos grados de astigmatismo corneal. Así mismo, existe una contradicción sobre el tipo de astigmatismo que presentan en los primeros meses de vida, ya que algunos estudios concluyen que el tipo de astigmatismo presentado es a favor de la regla, pero otros demuestran que es en contra de la regla. [39], [40]

También se ha demostrado que en el caso de bebés de bajo peso al nacer se presenta una alta inclinación corneal, por lo que existirá un alto grado de astigmatismo. [41]

EDAD PREESCOLAR

A medida que los bebés crecen se produce el proceso de emetropización, por lo que los altos grados de astigmatismo que presentan los bebés al nacer tiende a disminuir o incluso a desaparecer. [4]

Se destaca el trabajo de Woodruff [4], que estudió la frecuencia del astigmatismo en un amplio grupo de niños de entre 2 y 6 años. Concluyó que existe una tendencia de disminución de la potencia a medida que se produce el crecimiento de la edad. Este astigmatismo es de tipo directo. [4]

Unos años después, se publican en el mismo número de la revista *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, los estudios realizados por Gwiazda y colaboradores [42], Dobson y colaboradores [43] y Howland y Sayles [44]. En todos ellos se muestra una disminución uniforme del astigmatismo a medida que avanza la edad entre los 3 y 5 años de vida. Asimismo, se determina un cambio del astigmatismo de predominio de altos grados de tipo inverso en niños menores de 4 años, a altos grados de tipo directo en niños mayores de 4 años. [42], [43], [44]

EDAD ESCOLAR

Según los datos obtenidos, durante la edad escolar se muestra una baja prevalencia del astigmatismo, manteniéndose estable y con pocos cambios. [4]

En este caso se destaca el trabajo de Hirsch [45], que tras un estudio longitudinal concluyó que durante los años escolares no se producen grandes cambios en el astigmatismo. En el caso de que un niño presente astigmatismo

en la edad escolar, éste debería estar ya presente antes de empezar esta etapa. [45]

ADULTO JOVEN

El astigmatismo presenta una baja tendencia de variación en los primeros años de la edad adulta.

El estudio realizado por Satterfield [46] a un grupo de adultos jóvenes de entre 20 y 30 años, se encontró que más de la mitad (63%) de los sujetos presentaban más de 0,25 D de astigmatismo. Dentro de ese grupo, el 70% presentaba un astigmatismo menor a 1,00 D. [46]

Un estudio parecido fue el realizado por Fledelius y Stubgaard [47], que tras evaluar a un grupo de adultos jóvenes, obtuvieron como resultado que casi la mitad del grupo presentaba un astigmatismo de más de 0,50 D, pero solamente un 4,7% presentaban un astigmatismo mayor a 1,50 D. [47]

EDAD MADURA

Se ha estudiado que con el avance de la edad se observa un cambio en el eje del astigmatismo, pasando de ser predominantemente a favor de la regla (hasta los 40 años), a ser en contra de la regla (a partir de los 40 años). [1]

Estos cambios en el eje podrían ser debidos a cambios en el astigmatismo corneal, refractivo o ambos. Por ello, Anstice [48] realizó un estudio en un amplio grupo de sujetos cuyas edades oscilaban entre los 5 y 75 años, en el que determinó que a partir de los 35 años tanto el astigmatismo corneal como el refractivo varían de dirección a una tendencia contra la regla en un grado de 0,25 D cada 10 años aproximadamente. Anstice afirmó además que el astigmatismo interno se mantiene estable a lo largo del tiempo, por lo que los cambios astigmáticos que se producen con la edad se deben principalmente a cambios en la curvatura corneal. [48]

Otro trabajo destacado es el realizado por Baldwin y Mills [49], quienes investigaron los cambios en el astigmatismo corneal y refractivo en un grupo de pacientes con edades entre 30 y 70 años durante un periodo de 40 años. Una vez pasado este tiempo y observados los resultados, los autores se encontraron con un empinamiento corneal y un aumento del astigmatismo en contra de la regla con el paso de los años. El valor medio del astigmatismo corneal en el comienzo del estudio fue de 0,38 D a favor de la regla, el cual pasó a ser de 0,07 D a favor de la regla al final del estudio; el valor medio del astigmatismo refractivo fue de 0,24 D en contra de la regla al principio del estudio, y pasó a ser de 0,76 D en contra de la regla al final. [49]

8. Leyes

En 1890, Louis Émilie Javal propone una regla para predecir el astigmatismo total a partir del astigmatismo corneal, medido anteriormente con la queratometría: [50]

$$A_t = p (A_c) + k$$

A_t = astigmatismo total

p = constante de 1,25 aproximadamente

A_c = astigmatismo corneal

k = constante de 0,50 aproximadamente

Javal dejó claro que esta regla era estrictamente empírica y que las constantes 'p' y 'k' eran simplemente aproximaciones.

Para cumplir esta ley, Javal formuló tres puntos para evaluar el grado de astigmatismo total del ojo. [8], [50]

- En el caso de astigmatismos corneales directos inferiores a 2,00 D, se debe restar 0,50 D al valor del astigmatismo corneal obtenido mediante queratometría para obtener el astigmatismo total.
- En el caso de astigmatismos corneales inversos, se debe sumar 0,50 D al valor del astigmatismo corneal obtenido para obtener el astigmatismo total.
- En el caso de córneas esféricas, es decir, astigmatismo corneal nulo, la refracción del ojo presenta un astigmatismo inverso de 0,50 D.

Aunque la ley de Javal es aceptada, T. Grosvenor y colaboradores [51] proponen casi 100 años después (1986) una simplificación. Realizaron un análisis de regresión en el que analizaban la relación entre el astigmatismo corneal y el astigmatismo total. La pendiente de la recta resultante era equivalente al eje de la constante 'p' (de la fórmula de Javal) con la intersección del eje de la constante 'k'. Se concluyó que la pendiente de la línea de regresión era inferior a 1 y la intersección con el eje de aproximadamente 0,50. En base a estos resultados, se propone una nueva ley simplificada en base a la propuesta por Javal:

$$A_t = A_c - 0,50$$

Esta regla se ajustaba más a los datos que la regla de Javal, por lo que se sugiere un astigmatismo interno de 0,50 D relativamente constante en todos los sujetos. [51], [52]

Unos años más tarde (1996) Keller y colaboradores [53] trataron de analizar esta simplificación mediante un estudio en el que, con ayuda de un

videoqueratoscopio, midieron la superficie corneal anterior en miles de puntos, midiendo así el astigmatismo corneal en zonas de diferentes diámetros de la córnea. Los resultados se compararon con los obtenidos del astigmatismo total mediante la refracción subjetiva. Con los datos obtenidos, se concluyó que existe una relación lineal entre el astigmatismo corneal y total, por lo que se reafirma la regla simplificada de Javal redactada por Grosvenor. [53], [12]

Como se puede observar, tanto la ley de Javal como su simplificación descartan datos de sujetos con astigmatismo oblicuo, solo se contemplan a favor y/o en contra de la regla. Por lo que posteriormente se realizaron varios estudios que pretendían realizar sus aproximaciones lineales mediante vectores, para así evitar las posibles complicaciones asociadas a las aproximaciones de la ley de Javal y la simplificación de Grosvenor.

El método vectorial se trata de un enfoque en el que cualquier error refractivo puede interpretarse mediante la combinación de tres componentes: M, J_0, J_{45} . Donde M se corresponde con el equivalente esférico; J_0 se corresponde con un cilindro cruzado de Jackson (CCJ) con ejes a 180° y 90° , por lo que se puede utilizar para cuantificar el eje cartesiano; J_{45} se corresponde con un CCJ con ejes a 135° y 45° . Un valor positivo para J_0 determina que el eje negativo del eje del CCJ está a 180° , lo cual se corresponde con un astigmatismo directo, mientras que para un valor positivo el eje negativo del CCJ está a 90° , lo cual se corresponde con un astigmatismo inverso. En el caso de la componente J_{45} , un valor positivo determina que el eje negativo del CCJ está a 45° , y un valor negativo determina que el eje negativo del CCJ está a 135° , ambos se corresponden con un astigmatismo oblicuo. Estas componentes se obtienen partiendo de la refracción esferocilíndrica y utilizando las siguientes ecuaciones:

$$M = S + \frac{C}{2}$$

$$J_0 = -\frac{C}{2} \cos 2\alpha$$

$$J_{45} = -\frac{C}{2} \sin 2\alpha$$

Donde S es la esfera, C es el cilindro y α el eje del cilindro. [54], [55], [56]

Unos de los estudios destacados son los realizados por Tong y colaboradores [54] y L. Remón y colaboradores [55], en los que pretendían, mediante un enfoque vectorial, analizar el astigmatismo de todos los sujetos y proporcionar además información sobre el astigmatismo oblicuo, tratando de obtener así mejores predicciones y más generales que la regla de Javal. En ambos estudios se tomaron las medidas de refracción y queratometría. A continuación, se realizó una regresión lineal del astigmatismo por error refractivo frente al astigmatismo corneal para tres conjuntos de variables: J_0, J_{45} y la ley de

Javal. Los resultados obtenidos reflejan relaciones lineales entre los vectores del astigmatismo por error refractivo y los vectores por astigmatismo corneal, las cuales son muy similares a las de la regla de Javal. Se concluye que el enfoque de la aproximación vectorial es muy similar al enfoque tradicional de la ley de Javal, pero la predicción del astigmatismo oblicuo hace que el enfoque de la aproximación vectorial sea más precisa y eficaz. [54], [55]

Asimismo, se han publicado otros estudios en los que se descarta que exista una concordancia entre los valores del astigmatismo obtenidos con la ley de Javal y la refracción subjetiva. Como el realizado por Sánchez y colaboradores [56], en el que se compararon los resultados de la refracción subjetiva y la queratometría con la ley de Javal. Los resultados obtenidos muestran un bajo valor de concordancia (valor mínimo de 0,045 y máximo de 0,482) en comparación con los esperados ($>0,90$). Por eso se concluye que la ley de Javal no puede ser un factor de predicción para determinar el astigmatismo refractivo. [56]

Unos años más tarde, se publicó un estudio en el que se expone una posible explicación de los resultados anómalos obtenidos por Sánchez y colaboradores. Redactan que en ese estudio no se realizó ningún control de acomodación, por lo que no hubo un valor exacto para el dato final y se obtuviesen así valores tan bajos de concordancia. [50]

9. Formas de prescribirlo

El examen visual a realizar para detectar un posible astigmatismo debería comenzar con una anamnesis, donde se recopilará la información necesaria mediante preguntas para sacar una conclusión sobre los problemas que pueda tener el paciente y por donde guiar el examen optométrico.

El examen optométrico del astigmatismo puede realizarse de manera objetiva y/o subjetiva.

9.1. Exploración objetiva

La refracción objetiva en el examen optométrico del astigmatismo abarca pruebas como la queratometría, la topografía, la retinoscopia y en algún caso la oftalmoscopia.

QUERATOMETRÍA

La queratometría es un método objetivo en el que es posible medir el poder dióptrico de los meridianos principales, el astigmatismo de la superficie anterior de la córnea y la asociación de ésta con el refractivo.

A parte de proporcionar información sobre el poder dióptrico y el eje del astigmatismo, la queratometría también puede ser útil en casos como queratoconos, astigmatismos altos en los que la retinoscopia pueda resultar complicada, opacidades en las que la retinoscopia no se puede efectuar, o casos de afaquia. [57]

La queratometría se basa en el principio de que la cara anterior de la córnea se comporta como un espejo, y el tamaño de la imagen va a variar en función de la curvatura corneal. Por lo tanto, el radio de curvatura corneal se puede calcular en función al tamaño de la imagen de la superficie corneal anterior. Es una prueba que además mide el eje y la extensión del astigmatismo. El instrumento que se emplea para realizar esta prueba es el queratómetro. [11], [58]

El queratómetro se emplea para estimar la potencia de refracción de la córnea, lo cual se lleva a cabo midiendo el radio de curvatura de la parte central y mediante una fórmula matemática que convierte su valor en la potencia refractiva de la córnea. En un queratómetro, la relación entre el objeto, la imagen, el radio de curvatura de la superficie refractiva y la distancia entre la superficie se representa mediante la siguiente fórmula:

$$r = 2u(I/O)$$

r = radio de curvatura de la superficie reflectante

Astigmatismo. Definición, tipos, descubrimiento, leyes, formas de prescribirlos, tratamientos.

u = distancia desde el objeto hasta la córnea

I = tamaño de la imagen

O = tamaño del objeto

Medir el tamaño de la imagen con respecto a la del ojo es una tarea difícil, dado que el ojo está moviéndose de un lado para otro constantemente. Para evitar estos movimientos, el instrumento cuenta con un sistema doblador de imagen, haciendo que ésta se estabilice facilitando la medida clínica. [11], [58]

Para convertir el radio de curvatura en una estimación de la potencia refractiva de la córnea, se aplica la siguiente fórmula:

$$P = (n' - n)/r$$

P = potencia de refracción de la córnea

n' =índice de refracción de la córnea (1,3375)

n =índice de refracción del aire (1)

r =radio de curvatura corneal

Existen dos tipos de queratómetros, manuales y automáticos. En los primeros, el observador debe enfocar y centrar las miras para obtener la medida. En cuanto a los queratómetros automáticos, el observador deberá centrar la mira sobre la córnea y pulsar el botón. Ambos tipos efectúan la medida de 3 mm de diámetro de la córnea. [11]

Entre los queratómetros manuales más usados en la actualidad, destacan el queratómetro de Helmholtz y el queratómetro de Javal. [58]

TOPOGRAFÍA

Como se ha mencionado anteriormente, la queratometría solamente mide la curvatura de los 3 mm centrales de la córnea. Para medir el resto de la superficie corneal realizamos la topografía, la cual nos proporcionará un mapa con los datos de curvatura de toda la superficie corneal.

Para ello se utiliza el topógrafo, un instrumento computarizado que toma las medidas de la córnea utilizando una mira circular, constituida por varios círculos concéntricos iluminados. [11]

Los resultados de la topografía se representan en los mapas topográficos, que en el caso del astigmatismo están codificados con colores que representan cada uno de los patrones que lo componen, su forma es como la de una elipse en la que el meridiano más plano es de mayor longitud y el más curvo de menor longitud. [59]

Tabla 2. Tipos de mapas topográficos [60]

<p>Mapa axial</p>	<p>Calculan los radios de curvatura en cada punto de la superficie corneal, asumiendo que el centro de curvatura se sitúa sobre el eje óptico. Se ajusta mejor a los valores centrales y es más erróneo en la periferia.</p> <p>Al ser un mapa de tendencia central, posee una buena relación con el defecto refractivo esférico y astigmático. También aporta información sobre su forma y poder dióptrico global.</p>
<p>Mapa tangencial</p>	<p>Cada punto de la superficie corneal pertenece a una esfera independiente, por lo que el centro no tiene que estar sobre el eje óptico, esto ofrece un valor más real de la curvatura corneal. La utilidad en este mapa sobre el astigmatismo es la valoración paracentral y periférica de los meridianos, ya que proporciona información sobre cambios corneales de curvatura, potencia y/o elevación.</p>
<p>Mapa de elevación</p>	<p>Representa las diferencias de elevación de la cara anterior y posterior de la superficie corneal, teniendo una superficie de referencia. Normalmente suele ser una superficie esférica, aunque se pueden emplear otras formas para el análisis tales como superficies esferotóricas o diversos tipos de secciones cónicas.</p>
<p>Mapa refractivo</p>	<p>Representa el valor refractivo de cada punto de la superficie corneal.</p> <p>Estos datos solamente son válidos cuando los rayos inciden perpendicularmente sobre la superficie corneal.</p> <p>Permite conocer el estado refractivo de la superficie corneal.</p>

Tabla 3. Clasificación del astigmatismo según su patrón topográfico y características según H. Karabatsas y colaboradores (1999) [61]

<p>Patrón astigmático oval La relación entre el diámetro más largo y el más corto es inferior a 2/3. Presenta grados bajos de astigmatismo.</p>	<p>Patrón astigmático regular Los dos meridianos principales están dispuestos en ángulo recto. Forma de pajarita. Los ejes de las dos mitades de la pajarita deben presentar un ángulo inferior a 20°. Puede ser simétrico o asimétrico.</p>	<p>Patrón astigmático irregular Los dos meridianos principales no están orientados en ángulo recto. Varias formas de clasificación.</p>
	<p><u>Regular simétrico</u> La proporción en la anchura de las mitades de la pajarita mayor o igual a 2/3. La diferencia dióptrica entre los extremos a 1'5 mm del centro es igual o menor a 1 D.</p>	<p><u>Irregular oblicuo</u> Entre los dos meridianos principales existe un ángulo mayor a 20°. Adquiere forma de pajarita inclinada. Muy común en casos de queratocono.</p>
	<p><u>Regular asimétrico</u> La proporción en la anchura de las mitades de la pajarita menor o igual a 2/3. La diferencia dióptrica entre los extremos a 1'5 mm del centro es igual o mayor a 1 D. Adquiere forma de nudo de corbata.</p>	<p><u>Patrón curvo-plano</u> Un lado del mapa es plano, e irá abombándose progresivamente hasta el otro extremo.</p>
		<p><u>Aumento de curvatura</u> Áreas localizadas del mapa en las que existe un abombamiento, el resto de la córnea es plana</p>
		<p><u>Patrón triple</u> Existen 3 meridianos</p>
		<p><u>Astigmatismo irregular inclasificable</u></p>

RETINOSCOPIA

La retinoscopia es un método objetivo en el que la refracción del globo ocular se obtiene mediante la interpretación de la luz reflejada en la retina al ser iluminada con un retinoscopio, el instrumento utilizado para realizar esta prueba.

En el caso del astigmatismo, las franjas de luz reflejadas serán de intensidades y velocidades diferentes para cada meridiano. Y según como se reflejen, podremos determinar el tipo de astigmatismo. [8]

- Las sombras de ambos meridianos son inversas: estaremos ante un astigmatismo miópico compuesto. [8]
- Las sombras de ambos meridianos son directas: estaremos ante un astigmatismo hipermetrópico compuesto. [8]
- Sólo la sombra de un meridiano es inversa: será el caso de un astigmatismo miópico simple. [8]
- Sólo la sombra de un meridiano es directa: es el caso de un astigmatismo hipermetrópico simple. [8]
- La sombra de un meridiano es directa y la otra es inversa: es el caso de un astigmatismo mixto. [8]

Antes de determinar la potencia que presenta el meridiano principal, hay que determinar los ejes, y eso se lleva a cabo mediante cuatro fenómenos:

- Punto de rotura: cuando no se está realizando la exploración sobre el meridiano principal, el reflejo retiniano y la franja no coinciden, lo que aparenta una línea rota. [11]
- Anchura: la anchura del reflejo es más estrecha cuando se alinea con la dirección del eje del cilindro. [11]
- Intensidad: la intensidad del reflejo es más brillante cuando coincide con el eje del cilindro. [11]
- Inclinación: en el caso de estar orientado en la dirección correcta, se produce un movimiento paralelo entre la franja y el reflejo retiniano. Si esto no ocurre, no estará orientado en la dirección correcta. [11]

Para neutralizar las sombras, pueden seguirse dos métodos: el método de neutralización mediante lentes esféricas o mediante lentes esféricas y cilíndricas. En el caso del primer método, se neutralizará cada meridiano por separado con lentes esféricas una vez conocida su orientación; en el caso del segundo método, se neutralizará el meridiano más pequeño con una lente esférica y el otro con una lente cilíndrica. [6]

9.2. Exploración subjetiva

La técnica de la refracción subjetiva se basa en la obtención de la corrección refractiva del paciente mediante sus respuestas. Dentro de esta prueba, encontramos diferentes técnicas para la valoración del astigmatismo: la esfera horaria y los cilindros cruzados de Jackson.

ESFERA HORARIA

La esfera horaria es una técnica que tiene como principal propósito la detección y cuantificación del astigmatismo ocular. Consiste en un gráfico de prueba formado por líneas dispuestas radialmente.

Un ojo astigmático formará una imagen del haz de luz procedente de una fuente puntual en forma de conoide de Sturm. En el caso de la esfera horaria, las imágenes de los radios de la esfera paralelos a los meridianos principales del astigmatismo se percibirán como líneas más nítidas correspondientes a las líneas focales del conoide de Sturm. [62]

Es posible que en algún caso el paciente acomode y consiga desplazar las líneas focales. Es por eso que se miopizará al paciente para que esto no ocurra, se aumentará la borrosidad de las líneas y el paciente relajará la acomodación, con lo que se podrá identificar la línea focal que está más próxima a la retina. [11], [62]

Una vez detectado el eje de uno de los meridianos principales, se tratará de comprimir el intervalo de Sturm desplazando una de las líneas focales hacia la retina mediante el uso de lentes cilíndricas negativas con el eje paralelo al eje correspondiente de la línea focal. Las líneas de la esfera horaria adquirirán finalmente el mismo aspecto, aunque todavía estarán borrosas, dado que se mantiene la miopización para controlar la acomodación. [11], [62]

Pueden existir algunos casos que den lugar a dificultades a la hora de realizar la prueba tales como los astigmatismos bajos, ya que puede ser difícil diferenciar la nitidez de las líneas, en ese caso debería realizarse la prueba de los cilindros cruzados de Jackson. También se pueden dar casos de astigmatismo irregular, donde los meridianos principales no son perpendiculares entre sí, en este caso podría realizarse una topografía para evaluar el astigmatismo. [62]

CILINDROS CRUZADOS DE JACKSON (CCJ)

Esta prueba tiene como principal propósito verificar tanto el eje como la potencia del astigmatismo identificado en pruebas previas. Por lo que esta prueba debe realizarse cuando el CMC esté ubicado en la retina. [11]

Los Cilindros Cruzados de Jackson consisten en una lente formada por dos cilindros, uno negativo y otro positivo, de idéntica potencia y orientados

perpendicularmente. Normalmente presentan dos tipos de marcas, una para indicar el eje y otra para la potencia. [63]

La determinación del eje del cilindro se basa en la combinación de cilindros en ejes oblicuos. Cuando el eje del CCJ no está alineado con el del ojo, la combinación de ambos cilindros provocará un astigmatismo residual que se presentará a medio camino entre ambos, con un eje de 45° . Se presentarán dos opciones de imagen realizando un ciclo completo del instrumento y se preguntará cuál se ve mejor, se rotará el eje del cilindro corrector según la respuesta del paciente y se repetirá el proceso hasta que las dos opciones de imagen propuestas sean iguales. [64]

Para la determinación de la potencia del cilindro se debe alinear el eje CCJ con los meridianos principales de la lente correctora. Se repetirá el proceso de la misma manera en la que se ha determinado el eje del cilindro, presentando dos opciones de imagen en la que el paciente responderá cuál de ellas ve mejor, se aumentará o disminuirá la potencia cilíndrica en 0,25 D hasta que las vea iguales. En este caso, el equivalente esférico debe permanecer constante para que el CMC se mantenga sobre la retina. Por ello, cada 0,50 D de cambio en el cilindro, deberán añadirse 0,25 D de potencia esférica. [64]

10. Corrección

La corrección del astigmatismo se lleva a cabo mediante el uso de lentes cilíndricas, un tipo de lente que presenta una potencia diferente en sus meridianos principales. Los tipos de lentes empleadas para corregir el astigmatismo van a variar en función a su geometría.

Tabla 4. Tipos de lentes empleadas en la corrección del astigmatismo [6]

Lentes planocilíndricas	Una cara es plana y la otra cilíndrica, pudiendo ser cóncava (cilindro negativo) o convexa (cilindro positivo). Se utilizan para compensar astigmatismos simples.
Lentes bicilíndricas	Ambas caras son cilíndricas. Poseen capacidad cilíndrica excepto cuando sus ejes se colocan perpendicularmente, que tendrán mismo signo y misma potencia, por lo que se comportará como una lente esférica.
Lentes esferocilíndricas	Combinan el efecto de una lente esférica con el de una lente cilíndrica. Poseen valor dióptrico en todos sus meridianos, que al no ser constante producirá un efecto astigmático. Se utilizan para compensar astigmatismos compuestos.
Lentes tóricas	Lente esferocilíndrica tallada sobre una sola cara de la lente, mientras que la otra puede ser plana, esférica o asférica. Son las más utilizadas en la compensación del astigmatismo, dado que proporcionan un amplio campo de visión. También reciben el nombre de lentes astigmáticas.

Cuando estamos ante un caso de astigmatismo simple, su compensación se hará mediante lentes cilíndricas puras. Mientras que los astigmatismos compuestos, será corregidos con lentes esferocilíndricas o tóricas.

En astigmatismos simples:

- Si es miópico simple se compensará con una lente cilíndrica pura de signo positivo. [8]
- Si es hipermetrópico simple se compensará con una lente cilíndrica pura de signo negativo. [8]

En astigmatismos compuestos:

- Si es miópico compuesto se utilizará una lente esferocilíndrica o tórica en la que el componente esférico negativo compensará la miopía y el componente cilíndrico compensará la focal que aún queda alejada de la retina. El signo del cilindro dependerá del valor de la esfera utilizada, en cualquier caso una de las focales quedará desenfocada del conoide de Sturm, por lo que el valor del cilindro variará en función de si la focal se sitúa por detrás (cilindro positivo) o por delante (cilindro negativo) de la retina. [8]
- Si es hipermetrópico compuesto ocurrirá lo mismo que en el caso anterior, se compensará con una lente esferocilíndrica o tórica en la que la componente el componente esférico compensará la hipermetropía, y el componente cilíndrico compensará la focal que no esté situada sobre la retina. [8]
- Si es mixto existirá un componente esférico que podrá ser positivo o negativo, en función a la focal que se desee colocar sobre la retina, mientras que el componente cilíndrico deberá ser del signo opuesto al de la esfera para poder compensar la otra focal. [8]

Existen tres tipos de tratamientos a la hora de corregir el astigmatismo: gafas, lentes de contacto y cirugía refractiva.

LENTE OFTÁLMICAS

La corrección del astigmatismo mediante gafas sigue el mismo principio de conjugación del punto remoto que en el caso de la miopía e hipermetropía, es decir, la imagen que forme la lente correctora debe localizarse en el punto remoto del ojo. En el caso del astigmatismo, será necesaria una lente que cuya potencia deberá determinarse para cada meridiano principal. [9]

La prescripción de lentes cilíndricas, especialmente en los casos de astigmatismos elevados, necesita un proceso de adaptación, dado que pueden producir distorsiones, lo cual es debido a la ampliación desigual de imágenes que se forman en la retina. Este fenómeno ocurre durante la visión binocular, cuando es necesario fusionar imágenes diferentes. [9]

Otro de los factores que pueden causar distorsión a la hora de prescribir una lente cilíndrica, es la diferencia que pueda darse entre el eje de la lente y el del ojo debido a los movimientos oculares, lo que puede provocar que no siempre se esté mirando por el eje óptico de lente. [3]

Para evitar que se produzcan distorsiones y ayudar al paciente a adaptarse mejor a la corrección, se han creado unas “reglas de prescripción”. Estas reglas implican la prescripción parcial de la potencia cilíndrica o la rotación del eje del cilindro a 90° o 180°. [3]

Además de estas reglas, existe cierta controversia en cuanto a la corrección del astigmatismo en pacientes pediátricos, ya que existe una tendencia a que la cantidad de astigmatismo se reduzca con el tiempo. La American Academy of Ophthalmology (AAO) ofrece unas pautas sobre la cantidad de astigmatismo que se ha de prescribir en los niños según la edad que tengan. En el caso de niños menores de 2 años, se recomienda la corrección completa del astigmatismo; mientras que en los niños mayores de 2 años, se recomendará una corrección parcial para tratar de reducir el impacto de la corrección sobre el proceso de emetropización. [65], [66]

En cuanto a la corrección en el caso de niños más mayores y adultos, se basará en otros factores como la magnitud del astigmatismo, la AV no corregida, las necesidades del sujeto y/o la presencia de síntomas. [66]

En algunos casos se emplea el equivalente esférico para determinar la refracción. Consiste en la corrección esférica focalizada en el CMC. Se obtiene sumando a la esfera la mitad del cilindro [6].

LENTE DE CONTACTO

Los tipos de lentes de contacto utilizadas en la compensación del astigmatismo son las blandas tóricas y rígidas gas permeable (RGP). Suelen proporcionar una visión más clara y un campo visual mucho más amplio, además de que neutralizan el astigmatismo presente en la superficie corneal y eliminan las distorsiones que puedan llegar a crear las lentes en las gafas por la diferencia de tamaño de las imágenes. [5]

Las lentes de contacto blandas tóricas tratan de corregir el astigmatismo total del ojo. Contienen zonas de estabilización para mantener la lente de contacto con la orientación adecuada, las cuales aprovechan la fuerza del párpado superior en el momento del parpadeo para orientar y ubicar la lente. En algunas ocasiones, las lentes de contacto blandas tóricas pueden presentar inconvenientes, ya que justo después de la inserción necesitan un periodo de adaptación para que la lente se alinee en la orientación que le corresponde. [3]

Las lentes de contacto RGP poseen una calidad visual y tienden a prescribirse en casos de astigmatismos corneales altos. El principio óptico de estas lentes se basa en crear una nueva superficie refractiva entre la córnea y la propia lente, la cual se encargará de eliminar todas las irregularidades de la córnea que causen el astigmatismo. Sin embargo, el usar este tipo de lentes para corregir el astigmatismo corneal anterior puede presentar limitaciones cuando, por ejemplo, existe un astigmatismo interno de alta potencia o con un eje contrario al astigmatismo corneal. Además, este tipo de lentes implica un periodo de adaptación mayor que otros tipos de lentes de contacto. [11]

Como se ha mencionado anteriormente, el astigmatismo refractivo es la suma del astigmatismo corneal y el interno. Dado que las lentes de contacto

Astigmatismo. Definición, tipos, descubrimiento, leyes, formas de prescribirlos, tratamientos.

solamente corrigen el astigmatismo de la superficie corneal, quedará un astigmatismo residual sin corregir; esta situación puede suponer un problema en pacientes más mayores, dado que en muchos casos las lentes de contacto no llegan a proporcionarles la AV deseada. [3]

CIRUGÍA REFRACTIVA

Se propone como alternativa a las gafas y/o lentes de contacto. La American Optometric Association (AOA) [5] destaca el LASIK y PRK como las técnicas más eficientes de remodelación de la córnea. El PRK elimina el tejido de las capas superficiales e internas de la córnea, mientras que el LASIK extrae únicamente las capas internas corneales. [5]

11. Conclusiones y futuras líneas de investigación

1. El astigmatismo se define un defecto refractivo en el que el sistema óptico del ojo es incapaz de formar una imagen puntual de un objeto a causa de un defecto en la curvatura de sus meridianos.

Existen múltiples métodos de clasificación del astigmatismo. Pero los más importantes, desde un punto de vista clínico, son según la curvatura y orientación de sus meridianos y/o según la relación de las líneas focales con la retina.

Hasta ahora muchas investigaciones indican que el astigmatismo tiene un origen genético, pero se ha comprobado que la naturaleza exacta de ese mecanismo no se puede afirmar con claridad, dado que numerosos estudios afirman un posible origen hereditario, pero otros lo descartan.

El astigmatismo no corregido da lugar a un amplio número de déficits visuales y síntomas que podrán darse tanto a corto como a largo plazo. Incluso en grados pequeños de astigmatismo no corregido pueden influir en el rendimiento visual, especialmente en tareas que impliquen altas demandas de agudeza; también puede generar otro tipo de síntomas no relacionados con la capacidad visual.

2. Desde inicio del siglo XIX, gracias a los datos proporcionados por Thomas Young, George Airy o William Whewell, el estudio del astigmatismo ha ido avanzando significativamente hasta llegar a los datos que tenemos actualmente. Sin embargo, aún quedan muchos aspectos por estudiar acerca de su etiología y desarrollo.
3. Una correcta corrección del astigmatismo es fundamental para eliminar los posibles síntomas pueda llegar a presentar el paciente. Tiene especial importancia en el caso de los niños, ya que un astigmatismo no corregido puede llegar a afectar en su rendimiento visual llegando a generar una posible ambliopía.

Para determinar el grado de astigmatismo se llevan a cabo numerosas pruebas tanto objetivas como subjetivas que, según numerosos estudios, determinan de manera veraz el valor del astigmatismo que pueda presentar el sujeto.

Relacionado con el punto anterior, se destaca la importancia de la queratometría y las leyes de Javal: gracias a su demostrada veracidad, se puede determinar el astigmatismo corneal y total. Esto puede servir de gran ayuda en casos de astigmatismo tensional, donde pruebas como la refracción subjetiva pueden dar resultados erróneos.

El astigmatismo es una ametropía más compleja de corregir en comparación con la miopía o la hipermetropía, dado que presenta dos focos. El uso de lentes oftálmicas tóricas, como de lentes de contacto tóricas y/o RGP permite una corrección satisfactoria en la mayoría de casos. Aunque la adaptación de este tipo de lentes (tanto oftálmicas como de contacto) puede presentar más dificultades que las lentes esféricas, especialmente en adultos.

4. La prevalencia del astigmatismo es difícil de medir, dado que este tiende a variar en los diferentes grupos étnicos, con la edad o según la definición que apliquemos.
5. Las investigaciones realizadas que tienen como propósito analizar como la tensión de los músculos extraoculares o la presión palpebral pueden ser posibles causantes del astigmatismo, se realizan en grupos de personas muy pequeños, por lo que los resultados obtenidos podrían llegar a variar si se realizan en muestras más grandes.
6. Existen varios temas que pueden servir como futuras líneas de investigación y arrojar así luz sobre el origen del astigmatismo corneal. Las interacciones entre la rigidez corneal y la apertura, tensión y presión palpebral ejercidas sobre esta, pudiendo crear una deformación en una población de sujetos mayor a la estudiada en las investigaciones pasadas. También deberían aumentar el número de investigaciones sobre cómo una acomodación excesiva puede crear un astigmatismo tensional, que no es visible en las pruebas de prescripción del astigmatismo.

12. Bibliografía

1. Read SA, Vincent SJ, Collins MJ. The visual and functional impacts of astigmatism and its clinical management. *Ophthalmic Physiol Opt* [Internet]. 2014;34(3):267–94. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/opo.12128>
2. Astigmatism [Internet]. Nih.gov. National Eye Institute; [citado el 24 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/astigmatism>
3. Read SA, Collins MJ, Carney LG. A review of astigmatism and its possible genesis. *Clin Exp Optom* [Internet]. 2007;90(1):5–19. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-0938.2007.00112.x>
4. Grosvenor, Theodore P. *Optometría de atención primaria*. Barcelona: Masson, 2004. Print.
5. Astigmatism [Internet]. Aoa.org. Disponible en: <https://www.aoa.org/healthy-eyes/eye-and-vision-conditions/astigmatism?sso=y>
6. Martín Herranz, Raúl, Gerardo Vecilla Antolínez. *Manual de optometría*. 1ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2010. Print.
7. Parthasarathi P, Stokkermans TJ. The Conoid of Sturm. *StatPearls* [Internet]. 2024 Jan
8. González Díaz-Obregón, Enrique. *Astigmatismo*. Madrid: Colegio Nacional de Opticos-Optometristas, Comisión de Cultura, 1993. Print.
9. Grzybowski A, Kanclerz P. Beginnings of Astigmatism Understanding and Management in the 19th Century. *Eye & Contact Lens* [Internet]. September 2018; 44(1): S22-S29. DOI: 10.1097/ICL.0000000000000449
10. Marín FS. Astigmatismo: ponencia oficial de la Sociedad Española de Contactología, Madrid, 1987. 1988.
11. American Academy of Ophthalmology (Aao). *Optica Clinica*. 2011-2012: Seccion 3. Atebara NH, editor. Elsevier; 2012.
12. Wixson RJ. Refraction pedigrees: Part two, the cornea. *Optom Vis Sci* [Internet]. 1965; 42(10):615
13. Teikari J, O'donnell JJ, Kaprio J, Koskenvuo M. Genetic and environmental effects on oculometric traits. *Optom Vis Sci* [Internet]. 1989; 66(9):594.
14. Valluri S, Minkovitz JB, Budak K, Essary LR, Walker RS, Chansue E, et al. Comparative corneal topography and refractive variables in monozygotic and dizygotic twins. *Am J Ophthalmol* [Internet]. 1999;127(2):158–63. Disponible en: DOI: 10.1016/s0002-9394(98)00319-5
15. Lee KE, Klein BEK, Klein R, Fine JP. Aggregation of Refractive Error and 5-Year Changes in Refractive Error Among Families in the Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol*. 2001;119(11):1679–1685.
16. Christopher J. Hammond, Harold Snieder, Clare E. Gilbert, Tim D. Spector; Genes and Environment in Refractive Error: The Twin Eye Study. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2001;42(6):1232-1236.

17. Yeh L-K, Chiu C-J, Fong C-F, Wang I-J, Chen W-L, Hsiao CK, et al. The genetic effect on refractive error and anterior corneal aberration: Twin eye study. *J Refract Surg [Internet]*. 2007;23(3):257–65.
18. Grijbovski, A. M., Magnus, P., Midelfart, A., & Harris, J. R. (2006). Epidemiology and Heritability of Astigmatism in Norwegian Twins: An Analysis of Self-Reported Data. *Ophthalmic Epidemiology*, 13(4), 245–252.
19. Mohamed Dirani, Amirul Islam, Sri N. Shekar, Paul N. Baird; Dominant Genetic Effects on Corneal Astigmatism: The Genes in Myopia (GEM) Twin Study. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2008;49(4):1339-1344.
20. Wang Z, Tong H, Hao Q, Chen X, Zhu H, Huang D, et al. Risk factors for astigmatic components and internal compensation: the Nanjing Eye Study. *EYE [Internet]*. 2021;35(2):499–507.
21. Harvey EM, Dobson V, Miller JM. Prevalencia de astigmatismo alto, uso de anteojos y agudeza visual deficiente entre los niños nativos americanos de la escuela primaria. *Optometría y Ciencias de la Visión*. 1 de abril de 2006; 83(4):206-12.
22. Lyle WM, Grosvenor T, Dean KC. Corneal astigmatism in Amerind children. *Optometry and Vision Science*. 1972 Jun 1;49(6):517-24.
23. Kame RT, Jue TS, Shigekuni DM. A longitudinal study of corneal astigmatism changes in Asian eyes. *Journal of the American Optometric Association*. 1993 Mar 1;64(3):215-9.
24. Fan DS, Rao SK, Cheung EY, Islam M, Chew S, Lam DS. Astigmatism in Chinese preschool children: prevalence, change, and effect on refractive development. *British Journal of Ophthalmology*. 2004 Jul 1;88(7):938-41.
25. Wu HM, Seet B, Yap EP, Saw SM, Lim TH, Chia KS. Does education explain ethnic differences in myopia prevalence? A population-based study of young adult males in Singapore. *Optometry and vision science*. 2001 Apr 1;78(4):234-9.
26. Kleinstein RN, Jones LA, Hullett S, Kwon S, Lee RJ, Friedman NE, Manny RE, Mutti DO, Julie AY, Zadnik K. Refractive error and ethnicity in children. *Archives of ophthalmology*. 2003 Aug 1;121(8):1141-7.
27. Leer SA, Buehren T, Collins MJ. Influencia de la acomodación en la córnea anterior y posterior. *J Cirugía de Refracción de Cataratas* 2007 Nov; 33(11):1877-85. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.06.048.
28. Preslan MW, Cioffi G, Min YI. Cambios en el error refractivo después de la cirugía de estrabismo. *Revista de Oftalmología Pediátrica y Estrabismo*. 1 de septiembre de 1992; 29(5):300-4.
29. Nardi M, Rizzo S, Pellegrini G, Lepri A. Effects of strabismus surgery on corneal topography. *Journal of Pediatric Ophthalmology & Strabismus*. 1997 Jul 1;34(4):244-6.
30. Nardi M, Rizzo S, Pellegrini G, Lepri A. Effects of strabismus surgery on corneal topography. *Journal of Pediatric Ophthalmology & Strabismus*. 1997 Jul 1;34(4):244-6.
31. WILSON G. The effect of lifting the lids on corneal astigmatism. *Optometry and Vision Science*. 1982 Aug 1;59(8):670-4.
32. Grey C, YAP M. Influence of lid position on astigmatism. *Optometry and Vision Science*. 1986 Dec 1;63(12):966-9.
33. Garcia ML, Huang D, Crowe S, Traboulsi EI. Relationship between the axis and degree of high astigmatism and obliquity of palpebral fissure.

- Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus. 2003 Feb 1;7(1):14-22.
34. Forrest EB. Astigmatism as a Function of Visual Scan, Head Scan, and Head Posture. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*. 1980 Nov; 57 (11): 844-60
 35. Forrest EB. Eye scan therapy for astigmatism. *Journal of the American Optometric Association*. 1984 Dec; 55 (12): 894-901
 36. Harris B. Visual conditios of symphony musicians. *Journal of the American Optometric Association*. 1988; 59 (12): 952-9
 37. Madrid ML, López EN. Corrección de astigmatismo corneal con lentes de contacto gas permeables. González S, editor. Pontificia Universidad Católica del Ecuador; 2007.
 38. Remón L, Monsoriu JA, Furlan WD. Influence of different types of astigmatism on visual acuity. *J Optom*. 2017 Jul-Sep;10(3):141-148.
 39. Nishida T, Kojima T, Ogi S, Kataoka T, Isogai N, Yoshida Y, et al. Effects of custom-designed soft contact lenses on irregular astigmatism correction in patients with keratoconus. *Clin Ophthalmol [Internet]*. 2023; 17:2149–62. DOI: 10.2147/oph.s420940
 40. McLean RC, Wallman J. Severe astigmatic blur does not interfere with spectacle lens compensation. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2003 Feb 1;44(2):449-57.
 41. Kee CS, Hung LF, Qiao Y, Smith III EL. Astigmatism in infant monkeys reared with cylindrical lenses. *Vision Research*. 2003 Dec 1;43(26):2721-39.
 42. Gwiazda J, Scheiman M, Mohindra I, Held R. Astigmatism in children: changes in axis and amount from birth to six years. *Investigative ophthalmology & visual science*. 1984 Jan 1;25(1):88-92.
 43. Dobson V, Fulton AB, Sebris SL. Cycloplegic refractions of infants and young children: the axis of astigmatism. *Investigative ophthalmology & visual science*. 1984 Jan 1;25(1):83-7.
 44. Howland HC, Sayles N. Photorefractive measurements of astigmatism in infants and young children. *Investigative ophthalmology & visual science*. 1984 Jan 1;25(1):93-102.
 45. Hirsch, MJ. The refraction of children. In: Hirsch M, Wick R, eds. *Vision of children*. Philadelphia: Chilton Books, 1963
 46. Satterfield DS. Prevalence and variation of astigmatism in a military population. *Journal of the American Optometric Association*. 1989 Jan 1;60(1):14-8.
 47. Fledelius HC, Stubgaard M. Changes in refraction and corneal curvature during growth and adult life: a cross-sectional study. *Acta ophthalmologica*. 1986 Oct;64(5):487-91.
 48. Anstice J. Astigmatism—its components and their changes with age. *Optometry and Vision Science*. 1971 Dec 1;48(12):1001-6.
 49. BALDWIN WR, MILLS D. A longitudinal study of corneal astigmatism and total astigmatism. *Optometry and Vision Science*. 1981 Mar 1;58(3):206-11.
 50. Bautista Téllez, M. A., & Vargas Valero, D. A. (2021). Utilidad de la Ley de Javal para predecir el astigmatismo total en pacientes de la Clínica de la

- Universidad de La Salle. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/optometria/1878>
51. Grosvenor T, Quintero S, Perrigin DM. Predicting refractive astigmatism: a suggested simplification of Javal's rule. *Am J Optom Physiol Opt.* 1988 Apr;65(4):292-7.
 52. Salvador-Roger R, Albarrán-Diego C, Garzón N, García-Montero M, Muñoz G, Micó V, Esteve-Taboada JJ. Revisiting Javal's rule: a fresh and improved power vector approach according to age. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2024 Jan;262(1):249-260. doi: 10.1007/s00417-023-06195-x.
 53. Keller PR, Collins MJ, Carney LG, Davis BA, Van Saarloos PP. The relation between corneal and total astigmatism. *Optometry and vision science.* 1996 Feb 1;73(2):86-91.
 54. Tong L, Carkeet A, Saw S-M, TAN, Donald TH. Corneal and refractive error astigmatism in Singaporean schoolchildren: A vector-based Javal's rule. *Optom Vis Sci [Internet].* 2001 [citado el 27 de mayo de 2024];78(12):881.
 55. Remón L, Benlloch J, Furlan WD. Corneal and refractive astigmatism in adults: A power vectors analysis. *Optom Vis Sci [Internet].* 2009 [citado el 27 de mayo de 2024];86(10):1182–6.
 56. Sánchez Montaña HA, Rodríguez Cely LM y Delgado Solarte YC. Concordancia entre los valores de astigmatismo obtenidos con la ley de Javal y la refracción subjetiva. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul.* 2016;(2): 61-70. doi: 10.19052/sv.3838
 57. Saavedra de Lombana MM. Asociación de queratometría y refracción. [Bogotá]: Universidad de La Salle; 1996.
 58. Gurnani B, Kaur K. Queratómetro. *StatPearls [Internet];* 2024 Ene
 59. Cadarso, L. U. I. S., & Iglesias, A. (2000). Topografía corneal. *Mendicute J, Aramberri J, Cadarso L et al. Biometría, fórmulas y manejo de la sorpresa refractiva en la cirugía de la catarata. Madrid: Tecnimedia Editorial.*
 60. Sánchez, A., Brito, C., Ruiz-Moreno O. Características topográficas del astigmatismo. *SECOIR, editor. Corrección del astigmatismo.* 2006; 55-78.
 61. Karabatsas CH, Cook SD, Sparrow JM. Proposed classification for topographic patterns seen after penetrating keratoplasty. *Br J Ophthalmol.* 1999 Apr;83(4):403-9. doi: 10.1136/bjo.83.4.403.
 62. Musa MJ, Zeppieri M. Subjective refraction technique: Astigmatic dial. *StatPearls Publishing;* 2023.
 63. Rosenfield M, Logan N. *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management.* 2a ed. Oxford, Inglaterra: Butterworth-Heinemann; 2009.
 64. Aluyi-Osa G, Musa MJ, Zeppieri M. Jackson Cross Cylinder. *StatPearls Publishing;* 2023.
 65. Harvey, E. et al. «Prescribing eyeglass correction for astigmatism in infancy and early childhood: a survey of AA POS members». *JAAPOS* 9. (2005): 189- 191.

Astigmatismo. Definición, tipos, descubrimiento, leyes, formas de prescribirlos, tratamientos.

66. Bermúdez M, López Y, Figueroa LF. Astigmatismo en niños. Ciencia Y Tecnología Para La Salud Visual Y Ocular. 2006; 7, 57–62.