

TESIS DOCTORAL

**Determinación del Estado de Refracción del
Ojo Equino mediante Retinoscopia**

Facultad de Veterinaria



Universidad de Córdoba



Jorge Jaime Rull Cotrina

TITULO: *DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE REFRACCIÓN DEL OJO
EQUINO MEDIANTE RETINOSCOPIA*

AUTOR: *JORGE JAIME RULL COTRINA*

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es

CERTIFICACIONES

Certificados de los directores:

EVA MARÍA MARTÍN SUÁREZ, Doctora en Veterinaria y Profesora Titular de la Universidad de Córdoba,

Certifica:

Que JORGE JAIME RULL COTRINA, licenciado en Veterinaria y diplomado en Óptica y Optometría, ha trabajado bajo mi dirección en el transcurso del proyecto de Tesis Doctoral titulado:

“DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE REFRACCIÓN DEL OJO EQUINO MEDIANTE RETINOSCOPIA”.

Habiendo supervisado personalmente el trabajo efectuado, así como la redacción y presentación del mismo.

Considero que el trabajo reúne las condiciones necesarias para ser defendido ante el tribunal estipulado, optando al grado de Doctor en Veterinaria por la universidad de Córdoba,

Y para que conste firmo la presente en:



Córdoba a 19 de Abril de 2013

Certificados de los directores:

JOSE MARÍA MOLLEDA CARBONELL, Doctor en Veterinaria y Profesor Titular de la Universidad de Córdoba,

Certifica:

Que JORGE JAIME RULL COTRINA, licenciado en Veterinaria y diplomado en Óptica y Optometría, ha trabajado bajo mi dirección en el transcurso del proyecto de Tesis Doctoral titulado:

“DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE REFRACCIÓN DEL OJO EQUINO MEDIANTE RETINOSCOPIA”.

Habiendo supervisado personalmente el trabajo efectuado, así como la redacción y presentación del mismo.

Considero que el trabajo reúne las condiciones necesarias para ser defendido ante el tribunal estipulado, optando al grado de Doctor en Veterinaria por la universidad de Córdoba,

Y para que conste firmo la presente en:



Córdoba, a 19 de Abril de 2013

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Al concluir este trabajo, me doy cuenta de que ha sido un largo camino, el cual a veces ha sido fácil de recorrer, aunque otras se ha convertido en una prueba muy exigente de superar. Sin el apoyo y colaboración de muchas personas, que de forma totalmente desinteresada me han ayudado a superar de una forma u otra ciertos momentos, el trabajo que aquí se presenta no hubiese sido posible.

Por todo quiero expresar mi gratitud:

Al Dr. D. ANDRÉS MUÑOZ SERRANO, catedrático de Genética de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba, que en paz descanse. El Dr. Muñoz nunca dudó en compartir sus amplios conocimientos de forma totalmente desinteresada, ayudándome a conducir el rumbo de mi trabajo en buena parte del mismo. Mi agradecimiento no solamente va dirigido al terreno profesional, sino también al personal, ya que mostró un loable interés por mi situación personal, conocedor del desgaste emocional que en muchos momentos conlleva la realización de una tesis doctoral. Por desgracia no tuve la oportunidad de agradecerle suficientemente lo mucho que supuso para mí su ayuda y su interés. Te lo agradeceré siempre Andrés.

A la Dra. Dña. EVA MARTÍN SUÁREZ, profesora titular del departamento de Medicina y Cirugía Animal de la Facultad de Veterinaria de Córdoba, por su inestimable ayuda como directora y por su aportación desinteresada en la conclusión de este trabajo.

Al Dr. D. JOSE MARÍA MOLLEDA CARBONELL, profesor titular del departamento de Medicina y Cirugía Animal de la Facultad de Veterinaria de Córdoba, por su inestimable ayuda como codirector y por su aportación y experiencia en la realización de este trabajo.

Al Dr. D. LIBRADO CARRASCO ORTEGA, Decano de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba, por su desinteresada ayuda e interés en todo el proceso de la realización de la tesis doctoral.

Al Dr. D. IGNACIO GARCÍA BOCANEGRA, profesor contratado doctor del departamento de Enfermedades Infecciosas de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba, por su desinteresada ayuda y paciencia en la resolución de todas las dudas relacionadas con cuestiones estadísticas.

Al Dr. D JUAN MANUEL SERRANO CABALLERO, profesor titular del departamento de Farmacología, Toxicología y Medicina Legal y Forense de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba por su desinteresada ayuda en la resolución de todas las dudas técnicas relacionadas con la estadística.

Al Dr. D. IGNACIO LÓPEZ VILLALBA, profesor titular del departamento de Medicina y Cirugía Animal de la Universidad de Córdoba por su desinteresada ayuda e interés en el desarrollo de este trabajo.

A todos los miembros del Hospital Clínico Veterinario de Córdoba, incluyendo veterinarios, mozos, becarios y alumnos internos que de forma totalmente desinteresada me han ayudado a evaluar muchos de los animales incluidos en este trabajo. Agradezco especialmente al Dr. D. MANUEL NOVALES DURÁN, profesor titular del departamento de medicina y cirugía animal de la Facultad de Veterinaria de la universidad de Córdoba, el cual de forma totalmente desinteresada ha colaborado activamente en facilitar la evaluación de muchos de los animales evaluados en el Hospital Clínico Veterinario de Córdoba.

A la Unidad de Apoyo a la Investigación del Hospital Virgen de las Nieves de Granada, especialmente a la Dra. Dña. BEATRIZ VALERO AGUILERA y a la Dra. Dña. MANUELA EXPÓSITO RUIZ por su desinteresada ayuda en el diseño estadístico de este trabajo.

A todos los miembros del Centro de Medicina Equina Deportiva (CEMEDE), los cuales me han permitido y ayudado a evaluar muchos de los caballos presentes en dichas instalaciones.

A todos los miembros y propietarios de los animales del Poniclub de Córdoba y en especial a D. JUAN ROLDÁN ROMERO, veterinario del citado centro, los cuales han sido de gran ayuda para poder evaluar a la gran mayoría de los animales presentes en estas instalaciones.

A todos los miembros y propietarios de los animales del Club Hípico de Córdoba, por su ayuda totalmente desinteresada a la hora de evaluar los ejemplares presentes en las instalaciones.

A los propietarios, trabajadores, veterinarios y demás personal de todas las ganaderías, escuelas de equitación y propiedades particulares de todos los rincones de Andalucía que me han abierto las puertas de su casa de forma totalmente desinteresada para poder evaluar a sus

animales, gracias a los cuales ha sido posible la valoración de la gran muestra de animales recogida en este trabajo.

A Dña. Rachel Pearson, profesora de inglés de la Academia Británica de Córdoba, por su colaboración desinteresada en la ayuda a la traducción al idioma inglés de parte de este trabajo.

A todos los compañeros de fatigas de este camino, especialmente a Carmen María Pineda Martos, por su apoyo y ayuda en innumerables ocasiones de forma totalmente desinteresada. A Juan Carlos Rodríguez Rueda, al cual agradezco especialmente la paciencia y apoyo mostrados en todos los momentos buenos y malos de este largo camino.

A toda mi familia, a mi novia Isabel por darme la comprensión y el apoyo que he necesitado en todo momento y a todas las personas y amigos que me han animado y colaborado desinteresadamente.

Especialmente a mis padres y a mi hermano, que con su apoyo, cariño y paciencia, me han dado la fuerza y el estímulo necesarios para llegar hasta aquí.

ÍNDICE

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. CONCEPTOS GENERALES	3
2.1.1. Óptica.....	3
2.2. RECUERDO ANATOMO-FISIOLÓGICO DEL OJO	9
2.2.1. El globo ocular	9
2.2.2. El ojo como sistema óptico formador de imágenes.....	9
2.2.3. Estructuras refractivas del ojo	10
2.3. CONCEPTOS GENERALES DE LA VISIÓN	15
2.3.1. Agudeza visual	15
2.3.2. Métodos para determinar la agudeza visual.....	15
2.3.2.1. Métodos rutinarios para medir la agudeza visual en veterinaria	18
2.3.3. Factores que influyen en la agudeza visual.....	20
2.3.4. Errores de refracción	22
2.4. REFRACCIÓN. PUNTO REMOTO Y PUNTO PRÓXIMO	23
2.5. EMETROPÍA Y AMETROPÍA. Concepto de emetropización	24
2.5.1. Emetropía.....	24
2.5.2. Ametropía.....	24
2.5.3. Ametropías esféricas	25
2.5.3.1. Miopía	25
2.5.3.2. Hipermetropía.....	25
2.5.4. Astigmatismo	26
2.5.5. Presbicia	28
2.5.6. Anisometropía	28
2.5.7. Acomodación	29
2.5.8. Afaquia y lentes intraoculares	31
2.6. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE REFRACCIÓN	32
2.6.1. Refracción objetiva automática	33
2.6.2. Retinoscopia	34
2.6.3. Fundamentos de la retinoscopia.....	34
2.6.3.1. Retinoscopio	34
2.6.3.2. Observación del reflejo retiniano	36
2.6.3.3. Tipos de reflejos retinoscópicos	36
2.6.3.4. Compensación de ametropías mediante retinoscopia.....	37
2.6.3.5. Lente de trabajo y lente compensadora. Distancia de trabajo	38
2.6.3.6. Estados refractivos y su evaluación retinoscópica.....	38
2.6.3.7. Características de los reflejos retinoscópicos.....	41
2.6.3.8. Fuentes de error en la retinoscopia	42
2.6.4. Formas de expresar los defectos de refracción.....	43
2.6.5. Midriasis y cicloplegia	44
2.7. DATOS EXISTENTES EN ANIMALES	45
2.7.1. Modelos esquemáticos de ojo.....	45

2.7.2.	Refracción por retinoscopia en el animal vivo	47
3.	OBJETIVOS	49
3.1.	OBJETIVO PRINCIPAL	49
3.2.	OBJETIVOS SECUNDARIOS	49
4.	MATERIAL Y MÉTODOS	50
4.1.	MATERIAL	50
4.1.1.	Animales.....	50
4.1.2.	Material de exploración oftalmológica.....	51
4.1.3.	Material para la evaluación refractiva ocular.....	51
4.1.4.	Evaluación de la iluminación ambiental	52
4.1.5.	Valoración cicloplégica	52
4.2.	MÉTODO	53
4.2.1.	Cicloplegia	53
4.2.2.	Retinoscopia	53
4.2.3.	Técnica retinoscópica	54
4.3.	CONFIGURACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS	56
4.3.1.	Diseño experimental y selección de los animales.....	56
4.3.2.	Cálculo de las variables objeto de estudio.....	56
4.3.3.	Análisis de datos	58
5.	RESULTADOS	60
5.1.	COMPARACIÓN DEL ESTADO DE REFRACCIÓN PREVIO Y TRAS LA CICLOPLEGIA	60
5.2.	ANÁLISIS DE LOS DATOS	60
5.2.1.	Conjuntos total de animales.....	60
5.2.2.	Factores asociados al estado refractivo: Sexo.....	65
5.2.3.	Factores asociados al estado refractivo: Edad	71
5.2.4.	Factores asociados al estado refractivo: Raza.....	80
5.3.	PROBABILIDAD-RIESGO DE PADECER UNA AMETROPIA	101
6.	DISCUSIÓN	113
6.1.	CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PREVIAS.....	113
6.1.1.	Estimación del punto remoto	113
6.1.2.	Posición examinador-paciente	113
6.1.3.	Forma de expresar los datos	115
6.1.4.	Rangos de ametropías considerados.....	115
6.2.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	118
6.2.1.	Influencia de la midriasis y cicloplegia en la determinación del estado de refracción.....	118
6.2.2.	Discusión de los resultados de las variables objeto de estudio.....	120
6.2.3.	Discusión de los factores de riesgo asociados al estado de refracción	123
6.2.4.	Probabilidad riesgo de padecer una ametropía	127
6.2.5.	Consideraciones sobre otras razas.....	128
6.2.6.	Efecto de los defectos de refracción sobre la visión	129
6.3.	CONSIDERACIONES FINALES.....	130
7.	CONCLUSIONES	132
8.	RESUMEN.....	133
9.	SUMMARY	137

10. BIBLIOGRAFÍA..... 140

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la optometría como área de conocimiento dentro de la oftalmología humana, ha proporcionado notables beneficios a personas con anomalías visuales a lo largo de los años. Los avances en el conocimiento de la fisiología del sistema visual humano y de la óptica optométrica, han permitido mejorar los tratamientos de multitud de problemas visuales. Entre ellos, podemos destacar la compensación óptica de ametropías mediante lentes, o la corrección de las mismas mediante cirugía refractiva (cuyos avances y resultados mejoran año tras año). Así mismo, los tratamientos de problemas de acomodación y convergencia, rehabilitación visual o baja visión, se han beneficiado de estos avances.

No obstante, la optometría en medicina veterinaria es un concepto que está aún por desarrollar. A pesar de que el sistema visual de nuestros animales domésticos tiene un parecido considerable con el sistema visual humano, existen diversos factores que dificultan el abordaje de esta disciplina en medicina veterinaria, como son las importantes diferencias anatomo-fisiológicas entre especies, pero principalmente el que los animales domésticos no puedan colaborar con el veterinario para que éste pueda realizar el adecuado examen visual. Sin embargo, a pesar de estas dificultades, la optometría en veterinaria debe avanzar como área de conocimiento dentro de la oftalmología, al igual que ha ocurrido con otras áreas de conocimiento y proporcionar resultados beneficiosos tanto en ámbitos de investigación como clínicos.

En oftalmología humana, cuando un paciente llega a la consulta relatando una disminución de visión, una de las pruebas iniciales que se practican es la toma de agudeza visual, y a continuación la determinación del estado de refracción. Esto permite saber si el problema de visión se debe a una simple causa refractiva, o por el contrario es debido a una patología ocular o neurológica. En medicina veterinaria, no existe una prueba como tal para medir la agudeza visual como ocurre en las personas, sino que se recurre a pruebas tales como la respuesta a la amenaza o sorteo de obstáculos entre otras, las cuales permiten al veterinario saber simplemente si el animal en cuestión ve o no ve, aunque apenas permiten cuantificar el grado de visión.

La importancia de la determinación del estado de refracción en equinos ha sido destacada previamente por diversos autores como es el caso de Miller y Murphy [1]. El conocimiento del estado de refracción de un individuo en particular puede ser de gran relevancia por ejemplo en

perros guía o en caballos de salto. Descubrir defectos de refracción acusados en estos individuos podría condicionar su selección ya que su rendimiento podría verse notablemente alterado. Es conocido que los defectos de refracción tienen un cierto grado de heredabilidad entre humanos, [2] [3] [4] así como en diferentes especies animales. [5] [6] De igual modo hay indicios de tales evidencias entre los animales domésticos. [7] Así, el conocimiento y seguimiento de un determinado defecto de refracción podría ser un parámetro de gran importancia a tener en cuenta por criadores de animales de especial rendimiento.

Las aplicaciones y posibilidades de actuación una vez conocido el defecto de refracción de un individuo son variadas. En determinados casos se podría plantear la compensación con lentes o corrección mediante cirugía refractiva (aunque hoy estemos lejos de tales procedimientos en veterinaria). En casos de exámenes de compra venta de caballos de alto rendimiento, conocer el estado refractivo podría ayudar a la elección del mejor candidato. Si nos encontramos ante un criadero de perros o en una yeguada, se podrían seleccionar a los ejemplares libres de estos defectos de refracción para evitar su transmisión a la descendencia.

Como vemos, explorar y ampliar la optometría en el campo de la veterinaria no hace más que extender y elevar el nivel del servicio que esta especialidad puede aportar a la sociedad.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCEPTOS GENERALES

2.1.1. Óptica

La luz:

La energía electromagnética que emiten los cuerpos cuando se excitan sus átomos o grupos de átomos, o la que emiten determinados dispositivos electrónicos se llama energía radiante y ha sido interpretada de muy diversas maneras, pero fundamentalmente como ondas y como corpúsculos.

Las trayectorias de la energía radiante en su propagación constituyen los *rayos de luz*. [8]

La energía radiante obedece en su propagación a leyes geométricas cuya forma es, en general, independiente de su longitud de onda e intensidad. Existen receptores que son sensibles únicamente a radiaciones correspondientes a determinados intervalos de longitudes de onda (receptores selectivos) mientras que otros sólo producen respuesta cuando la intensidad que reciben sobrepasa un valor umbral, así como en algunos ocurre que el valor de la respuesta para la misma intensidad energética depende de la longitud de onda de la radiación recibida -sensibilidad espectral-.

Un receptor muy importante al que afectan todas estas circunstancias es el ojo. En general, cuando hablamos de luz o de oscuridad nos referimos a la existencia o no de radiaciones, es decir de energía radiante capaz de estimular el proceso de la visión. [8]

Óptica geométrica:

La óptica geométrica se ocupa solamente de cuestiones relacionadas con la propagación de la luz. Su objetivo fundamental es determinar las trayectorias de la energía radiante a través de distintos medios materiales, o disponer los medios de modo que la propagación se ajuste a prefijadas trayectorias. Su desarrollo se basa sobre los simples conceptos de *rayo luminoso* para caracterizar a la luz y el de *índice de refracción* para caracterizar a los medios materiales, desenvolviéndose como una geometría pura sobre un único postulado físico: el *principio de Fermat*. [8]

Índice de refracción:

La energía radiante se propaga en el vacío con una velocidad c , invariable. Se estima que dicha velocidad c es de aproximadamente 300000 km/s. La velocidad en medios materiales, v , varía con la constitución de éstos, y cada medio viene caracterizado desde este punto de vista óptico por su *índice de refracción*, n , que se define como el cociente de la velocidad de la luz en el vacío a la que lleva en dicho medio, es decir:

$$n = c/v$$

Cuando la velocidad de la luz en un medio material es igual en todos los puntos y en todas las direcciones, el medio se llama *homogéneo e isotropo*, y su índice de refracción será constante; si varía en cada punto con la dirección de propagación, se denomina *anisotropo*; y si la velocidad, y por tanto el índice, varían de unos puntos a otros, pero en cada uno de ellos es independiente de la dirección, el medio se llama *heterogéneo* y también medio *GRIN* (Gradiente de Índice). [8]

Camino óptico:

Teniendo en cuenta que la luz viaja a velocidades diferentes según el medio por el que se propague, el concepto de camino se define como: si en un medio homogéneo de índice n la luz recorre un trayecto de longitud s , se define como camino óptico, (L) , el producto

$$(L) = ns. [9]$$

Leyes fundamentales de la óptica geométrica:

El principio filosófico de mínimo aplicado a la óptica por Fermat, establece que si la luz va realmente de un punto A a otro B por una trayectoria l , ésta es tal, que el camino óptico a lo largo de ella es mínimo comparado con otras trayectorias geométricas muy próximas a l que pasando por A y B no sean caminos reales de luz.

Tomando como base el principio de *Fermat* se pueden establecer las siguientes leyes:

1. **Las trayectorias en los medios homogéneos e isotropos son rectilíneas.**
2. **El rayo incidente, el refractado y la normal están en un mismo plano (plano de incidencia).**

3. La ley de refracción de Snellius:

Dicha ley establece la relación entre el ángulo de incidencia de un rayo luminoso y el de salida de dicho rayo cuando éste pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción. Su expresión matemática es:

$$n \operatorname{sen} \epsilon = n' \operatorname{sen} \epsilon'$$

Donde n y n' son los índices de refracción de los medios de incidencia y de salida del rayo luminoso, así como ϵ y ϵ' son igualmente los ángulos de incidencia y salida respectivamente.

En el caso de que en lugar de una refracción se tratara de una reflexión, el mismo razonamiento sería válido pero en este caso el rayo reflejado se propagaría en el mismo medio que el refractado ($n = n'$) y se tendría por tanto:

4. La ley de la reflexión:

$$\epsilon = \epsilon'$$

5. Ley de la reversibilidad de las trayectorias ópticas:

Las trayectorias de la luz a través de distintos medios son reversibles. [8]

Sistema óptico:

Un conjunto de superficies que separan medios de distintos índices de refracción constituye un sistema óptico. Los sistemas más usados en óptica son los sistemas centrados, formados por superficies esféricas con los centros alineados. La recta de centros recibe el nombre de *eje de colimación*, o simplemente *eje del sistema*. Si el sistema está formado solamente por superficies refractantes se llama *sistema dióptrico*. Si solo tiene espejos, *catóptrico*, y si participa de ambas, *catadióptrico*. [8]

- **Elementos cardinales:**

Existen en los sistemas ópticos tres pares de puntos y otros tres pares de planos que tienen especial importancia que son: *los focos y planos focales*, *los puntos y los planos principales* y *los puntos y planos nodales*. Para entender estos elementos cardinales primero es conveniente conocer los diferentes tipos de aumentos que se pueden encontrar en un sistema óptico:

- **Aumentos**

Si ante un sistema colocamos un objeto lineal de tamaño y_1 perpendicular al eje, el sistema dará de él una imagen asimismo perpendicular al eje y'_k .

El cociente $y'_k / y_1 = \beta'$ recibe el nombre de *aumento lateral*. Según que el aumento sea positivo o negativo, la imagen será directa o invertida respectivamente.

Si del pie del objeto sale un rayo formando con el eje un ángulo σ_1 , el emergente irá al pie de la imagen formando un ángulo σ'_k .

El cociente $\sigma'_k / \sigma_1 = \gamma'$ se llama *aumento angular*.

Si en el eje consideramos un pequeño segmento objeto Δz_1 , en el espacio imagen le corresponderá otro $\Delta z'_k$. El cociente $\Delta z'_k / \Delta z_1 = \alpha'$ se denomina *aumento axial* o *aumento en profundidad*. [8]

- **Focos y planos focales**

Si tomamos como punto a representar por el sistema, un punto que se encuentra a una distancia muy lejana (infinito en términos físicos) sobre el eje, el haz de rayos que procedente de él entra en el sistema será paralelo al eje. El punto donde se forma la imagen de dicho objeto (cuando la luz va de izquierda a derecha) se denomina *foco imagen* del sistema y se designa por F' . El plano perpendicular al eje por F' es el *plano focal imagen* (como se muestra en la figura 1).

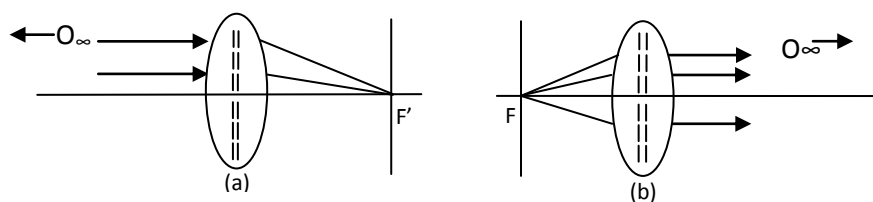


Figura 1: Puntos y planos focales de un sistema. Dirección de la luz de izquierda a derecha.

Análogamente existe un punto F , tal que todos los rayos que parten de él salen del sistema paralelos al eje, o bien que si entran paralelos al eje por la derecha, a la salida concurren por F . Este punto F , es el *foco objeto*, y el plano perpendicular al eje por él es el *plano focal objeto*.

De la definición se deduce que el plano focal imagen es la imagen del plano del infinito, y el plano del infinito es la imagen del plano focal objeto. [8]

- **Planos y puntos principales**

Se llaman puntos principales dos planos conjugados (uno imagen del otro) perpendiculares al eje, con aumento lateral $\beta' = +1$. Sus puntos de intersección con el eje, H y H' son los puntos principales.

De la definición se deduce que todo haz de rayos que partiendo de un punto P del plano principal objeto penetre en el sistema, o bien que entre en el sistema apuntando todos sus rayos a un punto P del plano principal objeto, emergerá concurriendo en el punto P' del plano principal imagen que esté a la misma distancia del eje y al mismo lado que P (figura 2). [8]

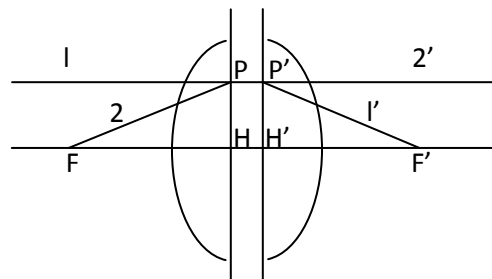


Figura 2: Puntos y planos principales de un sistema. Dirección de la luz de izquierda a derecha.

- **Puntos nodales**

Se llaman así dos puntos conjugados en el eje, N y N' , para los cuales el aumento angular, β' , es la unidad positiva. De la definición se deduce que todo rayo que entra en el sistema pasando por el punto nodal objeto formando con el eje un ángulo σ , sale del sistema por el punto nodal imagen formando con el eje un ángulo σ' .

El conocimiento de las posiciones de planos principales y focos de un sistema óptico es de tal utilidad, que basta para resolver todos los problemas que se puedan presentar en la óptica paraxial, como son trazado de rayos, posición de las imágenes, aumentos, etc. [8]

- **Focal y potencia de un sistema**

Se denomina *distancia focal imagen*, o simplemente *focal imagen* de un sistema a la distancia $H'F'$ desde el punto principal imagen hasta el foco imagen y se designa como f' . Análogamente, la *focal objeto* es $HF = f$ (figura 3)

Se denomina *potencia* de un sistema como la recíproca de su focal. Se designa la potencia objeto por $\varphi = 1/f$ y la potencia imagen por $\varphi' = 1/f'$.

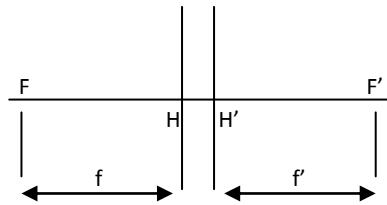


Figura 3: Focal (o distancia focal) de un sistema.

Cuando la focal se mide en metros, la potencia se expresa en **dioptrías** o m^{-1} . [8]

○ **Potencia y poder refractor**

En óptica se utilizan a menudo las llamadas longitudes reducidas, que se definen como una longitud dividida por el índice del correspondiente medio. Así, las focales reducidas serán f/n y f'/n' (para las focales objeto e imagen respectivamente). Sus recíprocas F y F' se denominan *poderes refractores*:

$$F = n/f \quad F' = n'/f'.$$

Como podemos ver, en el aire donde $n = n' = 1$ la potencia (φ) y el poder refractor (F) coinciden.

Para conocer la potencia o poder refractor global de un sistema óptico compuesto a su vez por diferentes superficies refractoras es necesario **acoplar** cada una de ellas mediante cálculos matemáticos que se resumen en la Fórmula de Gullstrand.

$$F' = F'_1 + F'_2 - (e/n_2) F'_1 F'_2$$

Donde F'_1 y F'_2 son los poderes refractores de las superficies 1 y 2 del sistema, e, la distancia que las separa y n_2 el índice de refracción de la superficie 2. [8]

2.2 RECUERDO ANATÓMO-FISIOLÓGICO DEL OJO.

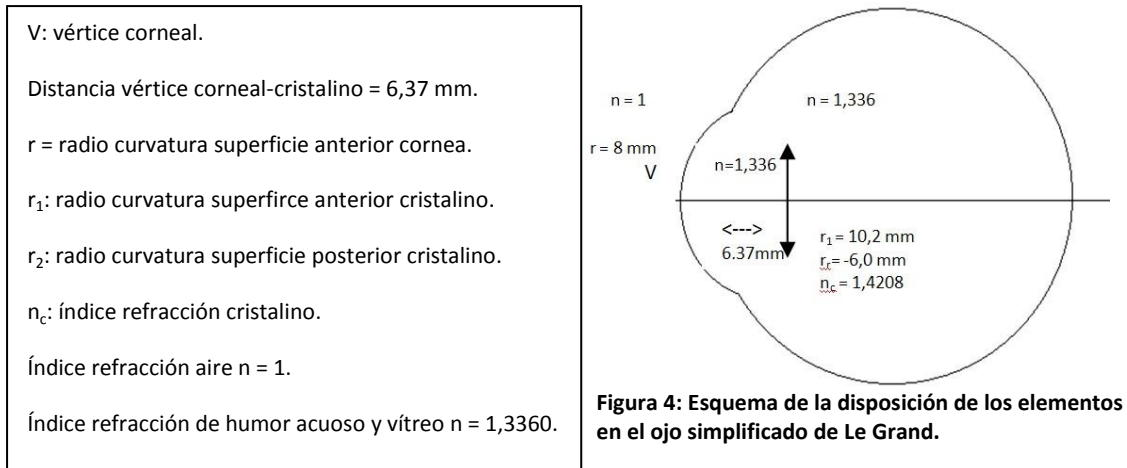
2.2.1 Globo ocular

El globo ocular se compone de tres capas o cubiertas básicas. La más externa es la túnica fibrosa, la cual se divide a su vez en córnea y esclera. La túnica fibrosa proporciona al ojo una forma y tamaño constantes, lo que es fundamental para un sistema visual funcional. Así mismo, la porción anterior de la túnica fibrosa (la córnea) es transparente, permitiendo el paso de la luz a través de ella y está curvada de tal forma que refracta los rayos de luz haciendo que converjan en la retina. La túnica intermedia es la úvea, la cual está dividida a su vez en la coroides, los cuerpos ciliares, y el iris. Está altamente pigmentada y vascularizada. Funciona modificando tanto la reflexión como la dispersión de la luz que entra al globo, proporcionando a su vez alimentación y retirando los desechos de la mayor parte del ojo. La túnica más interna es la cubierta nerviosa o retina. La retina contiene células nerviosas sensibles a estímulos luminosos (los fotorreceptores) las cuales después de una serie de procesos intermedios transmiten la información luminosa en forma de impulsos al cerebro vía nervio óptico. Estas tres túnicas engloban los medios internos transparentes del ojo, que son el humor acuoso, el cristalino y el vítreo. Dichos medios hacen que la luz se transmita y refracte hasta la retina, proporcionando además una presión interna que mantiene al globo firmemente distendido. [10]

2.2.2 El ojo como sistema óptico formador de imágenes

El ojo se comporta de modo semejante a una cámara fotográfica. Su objetivo está constituido por la córnea y el cristalino, los cuales están separados por el humor acuoso, siendo la retina la placa sensible donde se forma la imagen y el iris su diafragma de abertura. [9]

Para una mejor comprensión del ojo como sistema óptico, diversos autores han planteado modelos esquemáticos de ojo, en los que se generalizan los parámetros más importantes del mismo. Así, autores como Le Grand o Gullstrand hace casi un siglo estudiaron los parámetros ópticos del ojo humano y propusieron sus modelos teóricos del mismo. [11] [12] En algunas especies animales se han propuesto de igual forma modelos esquemáticos, como los propuestos por Coile y O'Keefe para varias especies o los propuestos por Sivak y Allen o Knill y colaboradores para el ojo equino. [13] [14] [15] En la figura 4 se muestran los parámetros más importantes del ojo esquemático reducido de Le Grand. [16]



2.2.3 Estructuras refractivas del ojo

En general, el ojo posee una serie de estructuras que tienen la capacidad de refractar la luz que penetra en ellas. Hablamos de la córnea, humor acuoso, cristalino y vítreo. Cada una de estas estructuras varía en su índice de refracción, posición relativa y curvatura (en el caso de córnea y cristalino) a lo largo del globo ocular. Dichos parámetros han sido estudiados ampliamente en el humano, y con menor grado de profundidad en las especies animales domésticas.

La película lacrimal: es la primera estructura con poder refractor que se encuentra la luz al llegar al ojo. Tiene un poder refractor de aproximadamente 43 D en el humano, y separa medios con índices de refracción muy diferentes. En los animales terrestres separa el aire, con índice de refracción 1, de la propia lágrima con un índice de refracción de 1,336 en el humano. [17]. Las alteraciones en la composición o en el tiempo de ruptura lagrimal pueden hacer cambiar el poder refractor del ojo hasta en una dioptría y puede contribuir de alguna manera a la visión borrosa que experimentan los pacientes humanos con ojo seco. [18]

La córnea: es la segunda estructura con poder refractivo con la que se topa la luz. La córnea se compone básicamente (de fuera a adentro) de un epitelio, un estroma y un endotelio. Desde el punto de vista óptico, se diferencian dos superficies con índices de refracción y curvaturas distintos. En el ser humano, según el modelo esquemático de Gullstrand, la córnea presenta un índice de refracción medio de 1,376. Su poder refractor es de 43,05 D para la córnea en global con unos radios de curvatura de 7,7 mm y 6,8 mm para cada una de las superficies (anterior y posterior respectivamente). [11] [12] En el caso del perro, el poder refractor de la córnea oscila entre 37,8 y 43,2 D. [19] Para el caballo, están descritos valores de poder refractor corneal entre 15,7 y 19,6 D con unos radios de curvatura que

oscilan entre 17,2 y 21,0 mm para la cara anterior y en torno a los 18 mm para la cara posterior con un índice de refracción entre 1,369 y 1,370 según cada autor. [14] [15] [13]

El humor acuoso: producido en los cuerpos ciliares, rellena la cámara posterior del globo y se desliza sobre la superficie de la cápsula anterior del cristalino y por debajo del iris a la cámara anterior. Su equilibrio de producción y drenaje mantiene la presión intraocular en valores estables en condiciones normales. Desde el punto de vista óptico, posee un índice de refracción cuyo rango varía entre 1,334 y 1,338 en las diferentes especies animales y una profundidad en el caballo de 6 mm en su porción más larga. [20]

El cristalino: al igual que la córnea, el cristalino presenta varias capas con características ópticas diferentes. Anatómicamente se compone de una cápsula externa (anterior y posterior), una corteza y un núcleo. Se ha descrito un índice de refracción de 1,38 en la periferia y de 1,41 en el centro para el ser humano. [21] El cristalino tiene la capacidad de variar su poder refractor mediante diferentes mecanismos (los cuales se explican más adelante), siendo este mínimo cuando se encuentra relajado o desacomodado, y máximo cuando se encuentra acomodado. El poder refractor del cristalino en el humano cuando se encuentra desacomodado según el modelo esquemático de Gullstrand está en torno a las 21 D (en torno a las 30 D acomodado). [11] En el caballo está descrito un índice de refracción que varía desde 1,383 hasta 1,49 según el autor y un poder refractor entre 14,9 y 23,83 D. [14] [13] El cristalino juega un papel fundamental en el proceso llamado de acomodación, en el cual el ojo puede cambiar rápidamente (al menos en algunas especies) su poder refractor para enfocar objetos que se encuentran a diferentes distancias en el campo visual del individuo.

El vítreo: Con un índice de refracción muy similar al del humor acuoso ($n = 1,335$ en el caballo), el vítreo tiene una importancia notable en la refracción de la luz hasta la retina. La longitud del vítreo influye en el aumento o disminución de los defectos de refracción debidos a excesos o defectos de poder refractivo de córnea y cristalino. [11] [13]

La retina: desde un punto de vista óptico se puede entender como el equivalente a la película en el símil con la cámara fotográfica. Se compone de múltiples capas, cuya estructura e interrelaciones determinan el poder discriminatorio de la retina, y por ende de la visión. En el humano se le atribuye un índice de refracción de 1,363. [22]

Desde un punto de vista funcional, encontramos varios tipos de neuronas en la retina: las neuronas denominadas de primer orden (fotorreceptores), las de segundo orden (células bipolares) y las de tercer orden (células ganglionares). Los fotorreceptores son las primeras

células que reciben el estímulo luminoso (por eso se denominan neuronas de primer orden) y lo transforman en señal eléctrica. Las células bipolares hacen sinapsis por sus dendritas tanto con los fotorreceptores como con las células horizontales, mientras que sus axones lo hacen tanto con las células amacrinas como con las células ganglionares. Los axones de estas últimas se unen formando el nervio óptico que conduce la información visual a la corteza cerebral donde se produce el fenómeno de la visión. [10]

Los fotorreceptores se dividen en conos y bastones. Los conos se caracterizan por proporcionar información más detallada que los bastones, siendo sensibles al color (en función del fotorpigmento que posean), a variaciones rápidas y a ser poco sensibles a pequeñas fluctuaciones de luz. Los bastones por el contrario, se caracterizan por proporcionar poco detalle y nula sensibilidad al color, aunque poseen alta sensibilidad a fluctuaciones de luz y al movimiento. Por tanto, los conos son especialmente adecuados para visión en luz diurna, mientras que los bastones lo son para visión en penumbra [23]

La visión del color por tanto se debe a la presencia de conos en la retina, y en particular a la cantidad de fotorpigmentos diferentes que posea la citada retina de un individuo. Los fotorpigmentos se clasifican según la longitud de onda a la que su molécula de opsina tiene su pico de absorción. Así, las especies en las que todos los conos poseen el mismo tipo de fotorpigmento son ciegas al color y se denominan especies monocromáticas, las que presentan 2 clases de conos con diferente fotorpigmento dicromáticas, y las que presentan 3, tricromáticas. Los humanos por ejemplo poseemos 3 tipos de conos diferentes, los S, M y L sensibles a longitudes de onda crecientes. De este modo, los conos S tienen su pico máximo de absorción (máxima sensibilidad) a longitudes de onda cortas (tonos azulados), los M a longitudes de onda medias (tonos verdoso-amarillentos) y los L a longitudes de onda largas (tonalidades rojizas). La combinación nerviosa de la información procedente de estos tres tipos de conos es lo que proporciona la visión del color. [23]

En las especies animales, la visión del color varía considerablemente de unas a otras. Como ejemplo, los perros tienen una población de conos de tipo S y M (picos en 429 y 555) principalmente, por lo que serían individuos dicromáticos sin visión apenas de tonalidades verdosas. [23] Su visión del color sería parecida a la de un humano como una deuteranopía. En los gatos sin embargo, se han descrito tres tipos de conos, aunque su comportamiento ha sido descrito como el de un individuo dicromata [24]. En el caso de los caballos, hay estudios que concluyen que son animales con dos tipos de conos con picos de absorción, uno en torno a los 429 nm y otro en torno a los 545 nm. Por tanto, los caballos tendrían un tipo de ceguera al

color parecida a la ceguera “rojo-verde” que ocurre en humanos, pero en este caso sería ceguera “naranja-azul”. [25] [1] Cabe destacar como curiosidad, que existen especies animales monocromáticas como el caso de la rata, adaptada a hábitos nocturnos donde apenas tienen posibilidad de desarrollar visión del color, mientras que, en el otro extremo, se han llegado a describir especies marinas y aves con 4 tipos de conos diferentes, por lo que serían especies tetracromáticas, con una visión del color difícil de imaginar por nosotros. [26]

El poder resolutivo del sistema visual viene determinado por una serie de complejos procesos que ocurren en los diferentes niveles de las neuronas retinianas. Anatómicamente es conocido que existe mayor número de fotorreceptores que de células bipolares, y mayor número de éstas que de células ganglionares. Por tanto, la estimulación de un porcentaje determinado de neuronas de primer orden estimula a una proporción muy inferior de neuronas de tercer orden. [23]

Bajo estas circunstancias es fácilmente comprensible que el poder resolutivo final no depende solamente del número y tamaño de los fotorreceptores, sino de cuántos de ellos hacen sinapsis con cada célula bipolar, y a su vez cuántas de ellas con cada célula ganglionar. El que los conos proporcionen mayor poder de resolución que los bastones se debe principalmente a que la proporción de conos que hacen sinapsis con cada neurona bipolar es muy inferior al de los bastones. [23]

La zona de la retina donde la concentración de células nerviosas es mayor, la agudeza visual del individuo es proporcionalmente mayor. Se ha evidenciado que existe una relación estrecha entre el número de conos y células ganglionares de una zona de la retina con la agudeza visual en esa misma zona [27]. En el gato [28] y en el caballo [1] se ha visto cómo disminuye la población de células ganglionares en las partes más periféricas de la retina (figura 5).

Por el contrario, las zonas más centrales de la retina central han evolucionado para proporcionar la máxima agudeza visual. Esto se debe a que en esta zona de la retina existe una mayor concentración de fotorreceptores y células ganglionares, con una baja proporción fotorreceptores/células ganglionares lo que asegura que la mayor parte de la información que se recibe se transmite hacia niveles superiores de las vías visuales. En esta

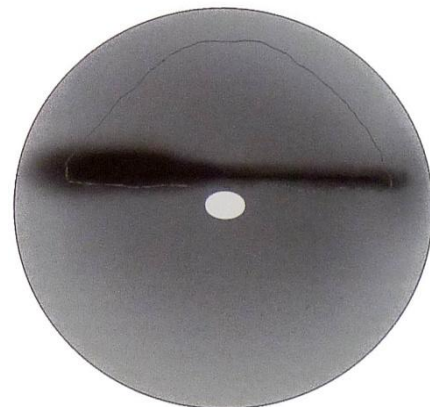


Figura 5: Representación esquemática de la franja visual del ojo derecho de un caballo. A mayor densidad de células ganglionares y fotorreceptores, mayor es la sombra. La densidad es mayor superior al disco óptico y temporal al mismo. [1]

área de la retina, existe una menor concentración de elementos que puedan interferir en la absorción de la luz que tiene que ser absorbida, como son vasos sanguíneos o los axones de las propias células ganglionares. Esta zona de máxima agudeza visual se denomina mácula lútea en humanos, y ha recibido el nombre de *área centralis* o franja visual en las especies animales [23]. Pero obviamente estas diferencias en ratios de fotorreceptores-células ganglionares no se dan solamente en zonas diferentes dentro de la retina de un mismo individuo, sino también entre individuos de especies diferentes.

En el caso del caballo, la zona de mayor concentración de fotorreceptores y células ganglionares de la retina se encuentra a lo largo de una franja de unos 22 mm de longitud y aproximadamente 1 mm de anchura, situada unos 3 mm dorsal al disco óptico y dentro o muy cerca de la zona tapetal [29] [30], [31]. Dentro de esta zona de mayor concentración de células nerviosas, la zona temporal se ha descrito como la que podría proporcionar la máxima agudeza visual e incluso visión del color debido a que esa zona posee de tres a cuatro veces mayor concentración de conos que en el resto de la retina [32]

Al igual que ocurre con el resto de las especies, en las zonas más periféricas de la retina, la densidad de células ganglionares disminuye considerablemente con respecto a la zona central o a la zona de la franja visual [31] [33] [28]

2.3 CONCEPTOS GENERALES DE LA VISIÓN

2.3.1 Agudeza visual

Bajo el concepto de agudeza visual se agrupan una serie de tareas que se le presentan al ojo cuando trata de percibir detalles, pudiéndose enumerar dichas tareas en: [34]

- **Mínimo visible:** trata de discriminar cuál es el diámetro mínimo que puede tener un disco blanco sobre fondo negro para que sea percibida su existencia. Aunque el mínimo visible representa un límite de visión espacial, es en realidad un límite en la habilidad para discernir pequeños cambios en contraste, más que un límite espacial por sí mismo.
- **Mínimo separable:** trata de discriminar cual es la distancia mínima que separa dos puntos luminosos para poder distinguirlos como tales de uno solo.
- **Mínimo reconocible:** trata de discriminar el ángulo del objeto más pequeño que uno puede reconocer o identificar.
- **Mínimo discriminable:** se refiere al ángulo del cambio más pequeño en un atributo de un objeto (como el cambio en el tamaño, posición u orientación) que uno puede discriminar.

2.3.2 Métodos para determinar la agudeza visual

La medida de la agudeza visual puede estar basada en el tamaño de una letra de un optotipo, el ángulo que subtende la imagen de un objeto en la retina (en segundos, minutos o grados de arco), o en la distancia a la que puede permanecer un modelo de alternancia de líneas blancas y negras reconocidas como tales antes de que sean percibidas como un gris uniforme (la llamada agudeza rejilla, que se mide en ciclos por grado). [1] Todas estas unidades de medida están interrelacionadas y sus relaciones se muestran en la tabla 1.

Basado en el mínimo reconocible, a principios del siglo XIX, Purkinje y Young utilizaron letras de varios tamaños para analizar la capacidad para distinguir objetos. Ya a finales del mismo siglo, Herman Snellen introdujo una carta de letras para cuantificar la agudeza visual en las personas. Construyó un conjunto de caracteres de imprenta en el que cada carácter en su conjunto era cinco veces más grande que los trazos que formaban dicho carácter. La distancia de la carta con los caracteres al paciente se variaba hasta que éste último no podía leer de forma precisa las letras. En adaptaciones posteriores del test de Snellen, el observador se coloca a una distancia fija (6 metros o 20 pies habitualmente) y es el tamaño de los

caracteres del test lo que va variando de tamaño. Así, la agudeza visual se define como la distancia a la cual una persona puede identificar los caracteres (con un tamaño predeterminado) que se le presentan en relación a una persona con “visión normal”. Por ejemplo, el observador con una agudeza visual de 20/200 debe estar a 200 pies de distancia del test para identificar el mismo tamaño de letra que un observador con visión “normal” puede identificar a 20 pies. [34]

De acuerdo pues con Snellen, la visión “normal” se define como 20/20 en pies o 6/6 en metros. Si se relaciona esto con el ángulo visual que subtende un objeto con respecto al ojo del observador, un carácter de 20/20 está diseñado para subtender un ángulo de 5 minutos de arco (0,083 grados) con respecto al ojo. Por tanto, cada trazo de dicho carácter 20/20 subtende un ángulo de de 1 minuto de arco (0,017 grados). De todo esto se puede deducir que una persona con visión 20/20 puede distinguir detalles que subtenden 1 minuto de arco.

Aunque la notación de Snellen ha sido ampliamente utilizada, existen otras notaciones para especificar agudeza. Entre ellas encontramos el mínimo ángulo de resolución (MAR) que no es más que el tamaño angular del detalle del carácter que se está observando en minutos de arco. Se obtiene como el resultado de dividir el denominador del cociente de Snellen entre su numerador. De esta manera, una agudeza Snellen de 20/20 es equivalente a una MAR de 1' y una agudeza de 20/40 a una agudeza de 2'. Es frecuente también encontrar en la literatura la unidad de agudeza visual expresada en ciclos por grado. Un ciclo es una barra negra y otra blanca de una red presente en un campo de visión que subtende 1 grado sexagesimal a una determinada distancia del observador. La agudeza considerada normal por Snellen de 20/20 o de 1' MAR equivaldría a 30 ciclos por grado (cpg). [23]

Tabla 1: Comparación de términos usados para describir la agudeza visual. [1]

Valor Snellen	Valor numérico	Ciclos por grado	MAR (Min de arco)	Min/Seg de arco
20/20	1,0	30	1	1' 0"
20/25	0,80	24	1,25	1' 15"
20/30	0,67	20	1,5	1' 30"
20/35	0,57	17,2	1,75	1' 45"
20/40	0,50	15	2,0	2' 0"
20/45	0,44	13,4	2,25	2' 15"
20/50	0,40	12	2,5	2' 30"
20/55	0,36	10,9	2,75	2' 45"
20/60	0,33	10	3,0	3' 0"
20/65	0,31	9,2	3,25	3' 15"
20/70	0,29	8,6	3,5	3' 30"
20/75	0,27	8	3,75	3' 45"
20/80	0,25	7,5	4,0	4' 0"
20/85	0,24	7,1	4,25	4' 15"
20/90	0,22	6,7	4,5	4' 30"
20/95	0,21	6,3	4,75	4' 45"
20/100	0,20	6	5	5' 0"
20/150	0,13	4	7,5	7' 30"
20/200	0,10	3	10	10' 0"

Existen otras agudezas de notable interés como son la agudeza basada en el mínimo discriminable, descrita por Gerald Westheimer como hiperagudeza [35]. Se trata de la capacidad de distinguir la posición relativa entre objetos, y se acuñó el término de hiperagudeza debido a que bajo circunstancias ideales los humanos pueden hacer estas distinciones con una precisión que es más fina que el tamaño de la separación entre los conos foveales. Un ejemplo de este tipo de hiperagudeza es la agudeza Vernier, en la que se trata de discriminar en qué momento dos líneas horizontales contiguas aparecen desalineadas. Bajo condiciones ideales, la agudeza Vernier puede llegar a ser de 3 minutos de arco (0,0008 grados). [34]

Como se puede observar, existen amplios conocimientos en lo que respecta a la agudeza visual en el humano. Sin embargo, en el caso de los animales, dicho conocimiento no es tan abundante. Determinar la agudeza visual en un animal cuyo nivel de cooperación con el examinador es infinitamente inferior al de una persona, dificulta enormemente esta tarea. No

obstante, diversos autores han obtenido datos experimentales cuantificando la agudeza visual en animales. Para determinar dicha agudeza visual se encuentran en la literatura tres métodos diferentes. Por un lado los métodos basados en el comportamiento, en los que mediante pruebas de obstáculos u otros test el examinador puede determinar la agudeza visual del sujeto, [36] [37] [38] [39] por otro lado los basados en la electrofisiología, como los potenciales evocados visuales en los que se observa la respuesta cerebral ante estímulos luminosos de diferentes características [40] [41] [42] [27] y por último los basados en la extrapolación de los estudios de la anatomía retiniana a la visión del animal. [29] [43]

En el caso del caballo, los valores obtenidos varían desde 10,9 ciclos por grado obtenidos por electrofisiología [41] o los 16,5 ciclos por grado calculados en base a la anatomía retiniana [29] hasta los 18-23 ciclos por grado basado en pruebas de comportamiento [39] [44]. Si tomamos como referencia los 30 ciclos por grado de agudeza normal de un humano, [34] los caballos tendrían una agudeza visual máxima equivalente a aproximadamente un 60 % de la visión de un humano normal.

En cuanto a otras especies domésticas, los datos que se pueden encontrar en la literatura varían considerablemente de unos estudios a otros. En el caso del perro, se han establecido valores normales de agudeza visual, que varían desde los 3 a los 12,6 ciclos por grado, [40] [45] [46] [27] lo cual dista notablemente de los 30 ciclos por grado del humano, y de los 16-23 del caballo

En el caso del gato, se ha estimado una agudeza visual que oscila entre los 3 y 9 ciclos por grado según diferentes autores [37] [47] [48] [49]

Sin embargo no todas las especies animales poseen una agudeza visual inferior a la humana. Es conocido que algunas aves poseen una extraordinaria agudeza visual, la cual ha sido cuantificada en el águila (*Aquila audax*) en torno a los 132-143 ciclos por grado, [43] lo que supone algo más de cuatro veces los 30 ciclos por grado del humano.

2.3.2.1 Métodos rutinarios para medir la agudeza visual en veterinaria

En la práctica clínica veterinaria, la agudeza visual de los animales domésticos se evalúa con métodos groseros que apenas permiten cuantificarla (de hecho, estos métodos apenas pueden considerarse como métodos para medir la agudeza visual, siendo únicamente herramientas que nos permiten saber si el animal tiene o no visión). Dichos métodos incluyen la respuesta a la amenaza, las pruebas de sorteo de obstáculos y la detección del movimiento de objetos. Mediante estos métodos, se puede establecer una agudeza visual que sería

equivalente al contaje de dedos que se hace en oftalmología humana, es decir una evaluación grosera de la agudeza visual.

Respuesta a la amenaza:

Consiste en hacer un gesto de amenaza, acercando la mano del examinador hacia uno de los ojos del paciente, estando el ojo contralateral privado de visión para evitar falsos positivos y teniendo cuidado de no tocar las pestañas ni provocar un excesivo movimiento de aire. Si el paciente tiene visión, reaccionará cerrando el párpado o moviendo la cabeza para evitar el contacto de la mano con su ojo [50]

Como su propio nombre indica se trata de una respuesta y no de un reflejo. Se evalúa con esta prueba la integridad de la vía aferente de la respuesta a través del nervio óptico (II par craneal) y la vía eferente mediante la rama motora del nervio facial (VII par craneal) responsable del parpadeo, así como el nervio abducens (VI par craneal) responsable de la retracción del globo ocular y el XI par craneal responsable del movimiento del cuello y/o cabeza. [51]

El hecho de que sea una respuesta aprendida y no un reflejo explica el porqué los animales muy jóvenes no responden a la amenaza, ya que no han aprendido que el estímulo de un objeto que se acerca al ojo supone un riesgo.

La respuesta a la amenaza para evaluar la visión de un individuo apenas puede considerarse como método para cuantificar la agudeza visual. En la carta de Snellen, la línea de caracteres con mayor tamaño supone una agudeza visual de 20/400. Agudezas menores se analizan mediante el contaje de dedos, el movimiento de manos (ambos a una determinada distancia) y la percepción o no percepción de luz. Como ejemplo, un contaje de dedos a dos pies de distancia (poco más de medio metro) corresponde a una agudeza Snellen de 20/2000. La respuesta positiva a la amenaza correspondería aproximadamente a una agudeza visual equivalente al movimiento de manos a 2 pies de distancia, es decir, una agudeza visual de 20/20000. [1] En cuanto al resto de pruebas que se realizan de forma rutinaria por el especialista veterinario, tales como el seguimiento de objetos o el sorteo de obstáculos, son igualmente pruebas que tan solo permiten al examinador conocer la presencia o no de visión del paciente.

2.3.3 Factores que influyen en la agudeza visual

- **Límites físicos y anatómicos:**

La agudeza visual del ojo está limitada por varios parámetros físicos y anatómicos del ojo, que son los que determinan la agudeza visual teórica máxima alcanzable. Estos parámetros son:

- **Difracción:** Debido a la naturaleza ondulatoria de la luz, cuando esta pasa por los bordes de la pupila, su frente de onda se ve modificado y el resultado es que para un punto objeto al que el ojo está enfocando, en vez de formarse una imagen puntual en la retina, se forma una imagen extensa cuyo tamaño depende de la longitud de onda de la luz incidente y del diámetro de la pupila. La forma de esta mancha de difracción recibe el nombre de *disco o mancha de Airy*. A menor diámetro pupilar, mayor será el efecto de la difracción. [52]
- **Aberraciones ópticas, absorción y dispersión de la luz en el ojo:** Las aberraciones ópticas del ojo afectan negativamente su capacidad de resolución degradando la calidad de la imagen en la retina. Las aberraciones de orden superior, como la aberración esférica, coma, etcétera, se hacen cada vez más importantes conforme aumenta el diámetro pupilar. Este hecho se contrapone con lo dicho anteriormente sobre la difracción. Es por lo tanto evidente que hay una relación de compromiso entre la difracción y las aberraciones, y se ha establecido para el ser humano que la mejor imagen teniendo en cuenta estos dos factores son pupilas de alrededor de 2 mm de diámetro. [52]
- **Tamaño y densidad finita de fotorreceptores en la retina:** En el caso teórico de un ojo geoméricamente perfecto y que no estuviese afectado por la difracción, su poder resolutivo seguiría siendo finito, debido a que la calidad de la imagen está sometida a la resolución de la retina. Anatómicamente, el principal factor limitador es la estructura de la capa de fotorreceptores, que está formada por células de tamaño finito. A mayor número de fotorreceptores por tanto, mayor poder resolutivo retiniano. [52] Por otro lado, la fisiología de la retina condiciona en gran

medida su poder resolutivo. La distribución de las diferentes células nerviosas a lo largo de la retina hace que en función de dónde se esté recibiendo el estímulo luminoso, el poder resolutivo sea mayor o menor. Como ya se describió anteriormente, los conos proporcionan un mayor poder de resolución que los bastones, y esto hace que donde existe mayor concentración de los primeros en la retina, la agudeza visual es mayor. En el caso del humano y de algunas otras especies animales, como algunas aves rapaces, existe una zona de la retina (dos en los halcones) donde hay una altísima concentración de conos, y donde la proporción de conexiones entre conos-células bipolares-células ganglionares llega a ser de 1:1. Esta zona de máxima agudeza visual se denomina *fóvea*, y es donde los humanos fijamos la mirada. En otras especies domésticas como los perros, gatos o caballos, no se ha descrito una zona con tal concentración de conos, y no está descrita una fóvea como tal. En su lugar ha sido descrita una "*area centralis*" donde existe mayor concentración de conos que de bastones, aunque en ningún caso con tal grado de diferenciación. Así mismo, los complejos procesos por los que pasan y se filtran los estímulos luminosos desde los fotorreceptores hasta las células ganglionares reducen sensiblemente el poder resolutivo teórico de la retina. [23]

- **Características del estímulo luminoso:**
 - **Luminancia:** En bajas condiciones de luminosidad, la señal eléctrica en la retina se genera a través de los bastones, de los cuales se genera una baja agudeza visual debido principalmente a su elevada relación de entre bastones activados y células ganglionares. Por el contrario, la agudeza visual mejora notablemente con estímulos con alta luminancia, debido a que se activan los conos, cuya proporción con las células ganglionares puede llegar a ser de 1:1. A estos niveles, el tamaño y distancia entre conos se hace muy importante. [23]
 - **Contraste:** Del mismo modo que la luminancia es importante, el contraste juega un papel crucial en la agudeza visual. La máxima agudeza visual se considera siempre en condiciones de máximo contraste. A medida que éste disminuye, lo hace la agudeza. [23]

2.3.4 Errores de refracción

Los errores refractivos del ojo se encuentran entre los factores oculares más importantes con impacto sobre la agudeza visual. Aunque existen muchos otros parámetros para definir el concepto de calidad visual de un individuo (como el análisis secuencial de los 21 puntos evaluables de Skeffinton, [53]), la agudeza visual juega un papel muy importante en la misma, y es de hecho un parámetro que se evalúa de rutina en todas las consultas oftalmológicas humanas. La máxima agudeza visual solo se puede alcanzar en el ojo emétrope, cuando la imagen es enfocada en la retina. [23]

La ametropía en general lleva a una pérdida de agudeza visual, la cual está ampliamente estudiada en el humano. Como se muestra en la tabla 2, se ha descrito que con 0,50 dioptrías de ametropía esférica sin compensar, un ojo emétrope pasa de tener una agudeza visual del 100 % a una agudeza del 50 %, mientras que si la ametropía es de 2 dioptrías, la agudeza se reduce al 14 %. [52]

Tabla 2: Relación entre agudeza visual (AV) y ametropías esféricas en humanos según la ecuación propuesta por Smith [54] Se muestra la agudeza visual en valor numérico y en ciclos por grado (cpg).

Ametropía esférica (dioptrías)	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00
AV según Smith (1991)	1,00	0,50	0,28	0,19	0,14
AV (cpg)	30	15	8,4	5,7	4,2

En animales, hay muy pocos datos a este respecto, aunque algunos autores han tratado de establecer comparaciones similares entre la agudeza visual y los defectos de refracción. En perros está descrita una pérdida de agudeza visual de 1 ciclo por grado por cada 2 dioptrías de desenfoque, pérdida similar a la que se han descrito en el caballo. [40] [41]

2.4 REFRACCIÓN. PUNTO REMOTO Y PUNTO PRÓXIMO

Cuando el ojo no acomoda, este tiene su menor potencia y se dice que ve un punto del espacio objeto que llamamos *punto remoto*. Este es, por lo tanto, el conjugado de la retina en aproximación paraxial. Por el contrario, el *punto próximo* es aquel que el ojo ve cuando se encuentra en su máxima acomodación y sigue siendo el conjugado de la retina, pero en condiciones de acomodación máximas. [16] Conjugado, como se usa en óptica significa “correspondiente a”, y es un concepto crítico para comprender la refracción. El conjugado se basa en la ley de la reversibilidad de las trayectorias ópticas. Cuando un objeto luminoso se sitúa de tal manera que sus rayos pasan a través de una lente para crear una imagen en el otro lado, el objeto y la imagen se corresponden el uno con el otro (son conjugados entre sí). [55]

La magnitud R, llamada refracción, se introduce como medida en dioptrías de la posición del punto remoto desde el vértice corneal, siendo por tanto: [16]

$$R = 1/(\overline{VP}_{\text{remoto}})$$

A éste parámetro también se le llama estado refractivo ocular y se usa convencionalmente para cuantificar una ametropía. La distancia al vértice corneal se toma con signo negativo o positivo según el punto remoto se encuentre delante o detrás del citado vértice respectivamente. [52]

2.5 EMETROPÍA Y AMETROPÍA. CONCEPTO DE EMETROPIZACIÓN

2.5.1 Emetropía

La emetropía es el estado refractivo ocular ideal, según el cual, con la acomodación relajada, el punto conjugado del infinito, es decir el foco imagen del ojo (F'), se encuentra en la retina. Por tanto, en un ojo emétrope los rayos paralelos que provienen de un objeto alejado se enfocan en la retina. Recíprocamente y en las mismas condiciones, el punto del espacio objeto conjugado con la retina, se encontraría muy alejado, en el infinito. [52] De la expresión anterior, se deduce que siendo la distancia del punto remoto al vértice corneal el infinito, la refracción R en el ojo emétrope es igual a 0.

La coordinación del poder refractor de la córnea, el cristalino y la longitud axial del globo ocular para producir una imagen nítida de un objeto distante se conoce con el nombre de *emetropización*. Así, es conocido que tanto la córnea como el cristalino disminuyen su poder refractor en los primeros años de vida, compensando de esta forma el aumento del eje longitudinal del globo ocular en su crecimiento. Todo esto ocurre para llevar la imagen del objeto que se está observando hasta la retina. [56]

2.5.2 Ametropía

Un ojo no emétrope o amétrope es aquel en el que la imagen que se forma en su retina (de un objeto distante) es enfocada antes o después de la misma. La descompensación entre la longitud axial del globo con respecto al poder refractor de córnea y cristalino es lo que hace que un ojo sea amétrope [23] De la expresión de la refracción se deduce que en un ojo amétrope, el valor de su refracción R es distinto de 0.

La imagen que de un punto en el espacio objeto, un ojo emétrope forma en su retina (en condiciones ideales) es también un punto. Sin embargo, un ojo amétrope, de un punto en el espacio objeto no forma otro punto en la retina, sino una mancha circular que recibe el nombre de *círculo de confusión*. Cuanto mayor sea el grado de ametropía de un ojo, mayor será dicho círculo de confusión. [16]

Las ametropías se pueden clasificar en dos grandes grupos: las ametropías esféricas y el astigmatismo. [52]

2.5.3 Ametropías esféricas

2.5.3.1 Miopía

La miopía es el estado refractivo de un ojo que posee una potencia refractiva excesiva en relación con su longitud axial. En un ojo miope la imagen se forma por delante de la retina y su punto remoto es real, encontrándose delante del vértice corneal. En un ojo miope cuyo punto remoto se encuentre a 50 cm, su refracción R será de -2 D ($1/0,50 = -2$ D). Así, se puede comprobar que cuanto menor sea la distancia del punto remoto al ojo, mayor será la miopía asociada. Por tanto, un miope no compensado ve mal de lejos, o hablando de forma más estricta, ve mal los objetos que se encuentran más allá de su punto remoto. [52]

Existen multitud de clasificaciones para la miopía, atendiendo a la progresión en el tiempo, las características anatómicas, etiología, edad de aparición e incidencia según la edad, etc.

Atendiendo a la edad de presentación e incidencia en la población humana, se encuentra la clasificación de Grosvenor que distingue entre miopía congénita, miopía juvenil, miopía de la edad adulta temprana y miopía de la edad adulta avanzada. [57] La progresión y desarrollo de la miopía conforme el individuo madura es algo que se sigue estudiando a día de hoy.

2.5.3.2 Hipermetropía

La hipermetropía se puede definir como aquel estado refractivo ocular en el que, con la acomodación relajada, la imagen de un objeto lejano se forma por detrás de la retina. En general, podríamos decir que el ojo tiene una potencia refractiva insuficiente para su longitud axial, y que necesita aumentar su potencia para formar una imagen nítida en la retina de un objeto real. Un ojo hipermetrope con la acomodación paralizada ve desenfocados los objetos que se encuentran alejados y a medida que éstos se acercan, el grado de desenfoque aumenta. En condiciones normales, un ojo hipermetrope solo enfocará los rayos provenientes de un objeto alejado, si a éstos se les hace converger a la retina del ojo aumentando la potencia ocular. Esto podrá realizarse de forma fisiológica por el propio ojo si la amplitud de acomodación es mayor que el grado de hipermetropía. En caso contrario, solamente podrá enfocar los rayos en la retina con la ayuda de una lente convergente colocada delante del ojo. [52]

La hipermetropía se puede clasificar de varias maneras, aunque la más común es la que se hace en función de la acomodación. Dentro de esta clasificación la hipermetropía total de un ojo puede tener los siguientes componentes:

- Hipermetropía latente: se refiere a la parte de la hipermetropía total compensada por la acomodación tónica. Solo se pone de manifiesto mediante fármacos ciclopléjicos que paralicen la acomodación.
- Hipermetropía manifiesta: hace referencia el componente de la hipermetropía total que se puede evaluar optométricamente y que se compensa por medio de la acomodación o mediante lentes. Esta a su vez se divide en:
 - Hipermetropía facultativa: es la parte de la hipermetropía manifiesta que se puede compensar por la acomodación y que se puede detectar sin la necesidad de ciclopléjicos.
 - Hipermetropía absoluta: es la parte de la hipermetropía manifiesta que no se puede compensar mediante la acomodación, solamente mediante lentes convergentes. [52]

2.5.4 Astigmatismo

El astigmatismo ocular hace referencia a un estado de refracción heterogéneo a lo largo de los meridianos principales del ojo. Éste puede tener su origen en una curvatura desigual a lo largo de los dos meridianos principales de la superficie anterior de la córnea (lo que se conoce como astigmatismo corneal) y/o puede deberse a cara posterior de la córnea, curvaturas desiguales de la superficie anterior o posterior del cristalino, inclinaciones del mismo o incluso índices de refracción distintos a lo largo del cristalino (lo que se conoce como astigmatismo interno). [58] Debido a estas diferencias de curvatura, la luz que entra por un meridiano puede ser refractada más o menos que la luz que entra por otro meridiano. Por tanto, se pueden formar partes de la imagen más enfocadas que otras a lo largo de la superficie de la retina. [23]

El astigmatismo ocular total es el resultado de la combinación del astigmatismo corneal y del astigmatismo interno de ojo. El astigmatismo se puede clasificar de varias maneras en función del criterio que se utilice:

Atendiendo a la uniformidad de la refracción a lo largo de los meridianos principales nos encontramos con astigmatismo regular o irregular. El astigmatismo regular presenta

uniformidad en la refracción de sus meridianos principales y por lo general dichos meridianos están orientados perpendicularmente entre sí. Esto hace que este tipo de astigmatismo se pueda compensar fácilmente mediante lentes. Por el contrario, el astigmatismo irregular se caracteriza por no presentar una refracción uniforme a lo largo de sus meridianos principales debido a aberraciones tales como el coma, “trefoil” o “quadrafoil”. Normalmente sus meridianos principales no se orientan de forma perpendicular entre sí y no es fácil de compensar mediante lentes. Este tipo de astigmatismo es mucho menos frecuente (al menos en humanos). [58]

Atendiendo al eje del astigmatismo, éste se puede clasificar en directo o a favor de regla, indirecto o en contra de la regla y oblicuo. En el primero, el meridiano más curvo tiene una orientación vertical mientras que en el segundo el meridiano está más cerca de la horizontal. En el oblicuo, el eje más curvo presenta una orientación oblicua. [58]

Según el estado refractivo de cada uno de los meridianos principales encontramos:

- Astigmatismo simple: en este tipo de astigmatismo un meridiano es emétrope (los rayos de luz convergen en la retina) y el otro puede ser miope o hipermétrope (astigmatismo miópico o hipermetrópico simple respectivamente).
- Astigmatismo compuesto: en este tipo de astigmatismo ninguno de los dos meridianos enfoca la luz en la retina. Puede darse el caso de que los dos meridianos converjan antes de la retina (astigmatismo miópico compuesto) o después de la misma (astigmatismo hipermetrópico compuesto). También puede darse el caso de que un meridiano converja antes de la retina y otro después (astigmatismo mixto). [52]

En el hombre, se sabe desde hace tiempo que existe una cierta relación entre el astigmatismo interno y externo del ojo de tal manera que el astigmatismo corneal es compensado con el astigmatismo interno. En 1890, Javal propuso una relación matemática para el astigmatismo global del ojo, [59] que posteriormente fue simplificada por Grovesnor y colaboradores en la que simplemente se sugiere que el astigmatismo total del ojo es igual al astigmatismo corneal menos el astigmatismo interno, al cual se le da un valor de media dioptría ($A_t = A_c - 0,5$). [60]

2.5.5 Presbicia

Durante mucho tiempo no hubo una clara distinción entre la hipermetropía y la presbicia, debido a que habitualmente los primeros síntomas de la hipermetropía aparecen cuando la amplitud de acomodación resulta insuficiente para compensar esta falta de potencia refractiva. Por ello, en la mayoría de los casos, la hipermetropía en niños e individuos jóvenes pasa desapercibida, sobre todo si su grado es bajo. En los casos en los que el grado es elevado o bien el individuo presente una amplitud de acomodación disminuida, los síntomas principales suelen ser la dificultad para realizar tareas en visión cercana y cefaleas en la región frontal por la astenopia o esfuerzo acomodativo. [52]

Conforme el individuo envejece, éste va perdiendo gradualmente su capacidad de acomodación en un proceso denominado como presbicia o presbiopía. Por tanto, la visión de objetos cercanos se va haciendo cada vez más borrosa conforme el individuo se hace más viejo. Los mecanismos propuestos para la presbiopía incluyen la reducción en la contractilidad del músculo ciliar, cambios en el índice de refracción del cristalino, cambios en la posición relativa entre los cuerpos ciliares y cristalino, así como pérdida de la elasticidad tanto de las fibras como de la cápsula del cristalino. [23]

2.5.6 Anisometropía

En la anisometropía, los componentes ópticos de los dos ojos de un mismo individuo difieren en su poder de refracción. Las diferencias en dichos poderes de refracción causan una cierta discrepancia en el tamaño de la imagen retiniana que se forma en la retina de cada ojo, hecho que se conoce con el nombre de aniseiconía [61] Dichas diferencias de tamaño en las imágenes retinianas son compensadas por el cerebro hasta un cierto punto, a partir del cual son interpretadas como distintas y se produce la diplopía o visión doble. En la especie humana, como norma general se acepta a groso modo que por cada dioptría de defecto refractivo la imagen retiniana varía en un 1 %. [61] En humanos, la aniseiconía se considera clínicamente relevante cuando la diferencia en el tamaño de la imagen retiniana supera el 4 %, aunque algunas personas empiezan a manifestar signos de cansancio ocular, dolores de cabeza y alteraciones en la visión con diferencias de tan solo el 2 %. [62] A diferencia de lo que ocurren en la especie humana, no existen en la literatura consultada datos acerca de dichas tolerancias en los animales domésticos.

En el hombre, el campo visual binocular es mayor que cualquiera de sus campos visuales monoculares. El campo visual normal para cada ojo se extiende hasta los 60 grados hacia

arriba, 75 hacia abajo (135 en todo el meridiano vertical), 60 nasalmente y 100 temporalmente (160 grados en todo el meridiano horizontal). En visión binocular, el campo visual horizontal se extiende desde los 160 hasta los 200 grados con un solapamiento central de los campos monoculares de 120 grados. [61] En el equino la situación es notablemente distinta. Basado en relaciones anatómicas, se estima que el campo de visión monocular en el meridiano horizontal que puede observar un ojo cuando este fija su mirada en un punto, puede llegar a ser de hasta 190 o 195 grados aproximadamente, mientras que en el meridiano vertical puede llegar hasta los 178 grados. Cuando se combinan los campos visuales de ambos ojos, el campo visual llega a ser de hasta 350 grados y así se completa prácticamente una esfera de visión alrededor del cuerpo con solamente algunos puntos ciegos. El solapamiento de los campos visuales monoculares ocurre en la parte frontal y bajo la nariz y está en torno a los 55 o 65 grados, [1] sugiriendo algunos autores que puede llegar hasta los 80 grados. [29]

2.5.7 Acomodación

Como ya se ha descrito brevemente con anterioridad, en general el ojo tiene la capacidad de variar su poder refractor para poder enfocar objetos que se encuentran a diferentes distancias en su campo visual. Este cambio en el poder refractor del ojo es posible gracias a las modificaciones que se producen en las estructuras refractivas del ojo debido al estímulo de una imagen borrosa o desenfocada en la retina. [63] Este mecanismo de acomodación varía según la especie animal habiéndose descrito mecanismos que involucran cambios en la curvatura de la córnea, cambios en la distancia relativa entre córnea y retina, así como variaciones en la curvatura o posición del cristalino entre otros. [64] En los primates y el humano se produce un abombamiento del cristalino aumentando así su curvatura y por tanto su poder refractor. Dicho abombamiento es posible gracias a la contracción del músculo ciliar (por inervación parasimpática) que hace que las fibras zonulares que sujetan al cristalino se relajen, y éste último gracias a su naturaleza elástica se torne más curvo. [64] El poder de acomodación puede llegar a ser de hasta 35 D en el mono Rhesus joven o hasta 10-12 D en niños. [65] [11] Sin embargo, en otras especies la acomodación se produce por un desplazamiento del cristalino más que por un cambio de curvatura en el mismo. Algunas especies utilizan este mecanismo de acomodación debido a la naturaleza escasamente elástica del cristalino como ocurre en el gato. [66] En dicha especie se produce un desplazamiento anteroposterior de hasta 0,6 mm lo que se traduce en un poder de acomodación de entre 2 y 8 D. [20] En el perro sin embargo, el poder de acomodación se ha descrito como algo menor, entre 1 y 3 D. [20] [45] Existen incluso especies que se describen como carentes totalmente de

acomodación como es el caso de algunos roedores tales como la ardilla gris, debido posiblemente a una falta de desarrollo del músculo ciliar. [67]

En el caso de los ungulados, se sabe que su acomodación es muy pobre a pesar de que muchos de ellos poseen un músculo ciliar desarrollado. [68] El porqué de esta falta de poder de acomodación se encuentra todavía en estudio. Inicialmente se pensó en la posibilidad de que la contracción del músculo ciliar, lejos de producir una relajación y por tanto abombamiento del cristalino, podría producir un aplanamiento en la zona ecuatorial, con el consiguiente efecto en el poder de acomodación. [69] Posteriormente se sugirió que la acomodación del caballo podría ser estática en lugar de dinámica, es decir, sin apenas intervención del cambio de curvatura o desplazamiento del cristalino. [70] Basado en los estudios de Nicolas [70] en los que se observó que la longitud anteroposterior del globo ocular del caballo era mayor en la zona dorsal que la ventral autores como Duke-Elder propusieron que esta anatomía proporcionaba una acomodación estática del ojo equino y por tanto tan solo con levantar la cabeza, los objetos cercanos en el suelo podrían ser mejor enfocados, lo que se conoce como *retina en rampa*. [71] Estudios posteriores han indicado que a pesar de la existencia pequeñas variaciones en la distancia del punto nodal del ojo a la retina, los caballos no poseen una verdadera retina en rampa, así como dicho mecanismo de acomodación. [29] [14] A pesar de ello todavía hoy día en algunos libros de texto se sustenta esta teoría. [72] De cualquier forma, sea cual sea su mecanismo de acomodación, se le considera poco importante, estando en torno a una dioptría. [14]

En optometría humana, la acomodación está ampliamente estudiada. A pesar de que como ya se ha visto, en las especies animales domésticas los mecanismos de acomodación pueden variar de forma considerable con respecto al el humano, los amplios conocimientos que existen en el hombre pueden ayudar a comprender mejor la acomodación en el equino. Según la clasificación hecha por Heath en 1956, la acomodación tiene cuatro componentes básicas que son: [52]

- Acomodación refleja: se trata de un ajuste involuntario de la potencia ocular que se produce como respuesta a un desenfoque en la imagen retiniana cuando éste es relativamente pequeño. La acomodación refleja es la componente más importante de la acomodación tanto en visión monocular como binocular.
- Acomodación vergencial: se produce por la relación estrecha que existe entre los mecanismos neurológicos de la acomodación y la convergencia. Esta componente

de la acomodación se produce por la disparidad de las imágenes retinianas en la visión binocular, independientemente del desenfoque de las imágenes.

- Acomodación proximal: es la acomodación que se produce por la proximidad, real o aparente, de un objeto. En visión binocular su contribución es pequeña, adquiriendo gran relevancia en visión binocular.
- Acomodación tónica: se manifiesta cuando hay estímulo visual en absoluto a diferencia de las tres anteriores, depende de la ametropía y es muy variable entre individuos.

La distancia lineal desde el punto remoto al punto próximo se denomina rango de acomodación.

2.5.8 Afaquia y lentes intraoculares

Debido al importante papel refractivo del cristalino, después de la cirugía de cataratas el ojo afáquico (sin cristalino) equino queda normalmente con un alto grado de hipermetropía que está en torno a las +8 o +10,5 D. [73] A pesar de que la facoemulsificación y la implantación de lentes intraoculares intracapsulares son prácticas habituales en humanos y cada vez más en perros y gatos, el ojo equino se ha dejado frecuentemente afáquico tras la cirugía de cataratas. [74] En medicina humana se realizan pruebas biométricas de rutina para calcular la potencia de la lente intraocular necesaria para dejar el ojo emétrope tras la cirugía. Estas pruebas biométricas no se realizan de forma rutinaria en veterinaria, utilizándose lentes intraoculares de potencia fija, con amplia difusión en perros y no tanta en caballos. En perros se ha adoptado la potencia ideal en torno a 40-41,5 D, siendo el rango de 1,5 D debido a las diferencias en la anatomía de las diferentes razas. [23] En el caballo, sin embargo, este tema se encuentra todavía en estudio. Se sabe que es posible implantar lentes intraoculares, y algunos autores han conseguido implantar lentes intraoculares rígidas de +22,5 D, aunque consiguiendo una marcada hipercorrección del ojo, dejándolo con un estado refractivo notablemente miope. [75] Un reciente estudio concluye que lentes intraoculares plegables de +14 D proporcionan un estado refractivo post-quirúrgico en el caballo de tan solo +0,4 D. [74]

2.6 EVALUACIÓN DEL ESTADO DE REFRACCIÓN

Existen varios métodos para evaluar el estado de refracción de un individuo. Si dichos métodos se clasifican en función de si la medida de la refracción depende o no de la respuesta o juicio del paciente ante las acciones del examinador, nos encontraremos con métodos de evaluación subjetivos u objetivos respectivamente.

- Métodos subjetivos:

Requieren colaboración activa por parte del paciente. En oftalmología humana son muy populares y se basan principalmente en la lectura de de optotipos tales como el test de Snellen entre otros, cuantificándose la refracción mediante la interposición de lentes oftálmicas hasta conseguir la mejor agudeza visual referida por el paciente. En oftalmología veterinaria, los métodos subjetivos para determinar la refracción son inviables a día de hoy, al menos tal y como se utilizan en oftalmología humana. Las pruebas de sorteo de obstáculos, respuesta a la amenaza o seguimiento de objetos se utilizan únicamente como pruebas para cuantificar de forma grosera la agudeza visual y no para cuantificar la refracción.

- Métodos objetivos:

Las técnicas de refracción objetiva son aquellas en las que el examinador, utilizando algún instrumento optométrico, mide la eventual ametropía del ojo mientras el paciente sometido a examen tiene una actitud totalmente pasiva. No requieren por tanto una colaboración activa por parte del paciente y actualmente se puede llevar a cabo mediante refractómetros automáticos denominados autorrefractómetros o mediante retinoscopia. [52] Como ya ha quedado explicado anteriormente, los métodos subjetivos de evaluación de la refracción gozan de gran difusión en optometría humana. Los métodos objetivos se usan en muchos casos como un complemento eficaz para establecer una primera aproximación del poder refractor del ojo. Sin embargo, en determinadas circunstancias estos métodos pasan a ser la única fuente de información posible en pacientes que no colaboran, como pueden ser niños pequeños o personas con problemas de comunicación. En el caso de los animales domésticos, los métodos objetivos son la principal fuente de información ya que la colaboración por parte del paciente es muy difícil de valorar en la práctica clínica.

2.6.1 Refracción objetiva automática

La refracción objetiva automática puede realizarse de modo automático con una serie de instrumentos sofisticados y especialmente diseñados que se conocen genéricamente con el nombre de autorrefractómetros. Basados en diferentes principios de funcionamiento, estos instrumentos realizan una serie de medidas de la refracción ocular en diferentes meridianos proyectando luz sobre la retina y analizando el reflejo o bien la imagen que se forma en ella. Tras esto, procesan esta información y presentan normalmente el resultado de la compensación en la manera de esfera, cilindro y eje. Los principios físicos en los que se basan los autorrefractómetros son básicamente tres: enfoque de retículo, retinoscopia y principio de desdoblamiento de Scheiner. [52]

Desde un punto de vista clínico, estos refractómetros automáticos son de uso muy sencillo. Basta con que el operador alinee el eje visual ocular del paciente con el instrumento, momento en el cual el instrumento indica al operador que puede proceder a la toma de medidas pulsando el botón del mando que el refractómetro lleva incorporado.

La exactitud y precisión de estos instrumentos ha ido mejorando con el paso del tiempo. Hace años varios estudios mostraban diferencias significativas entre los resultados entre diferentes modelos, y la retinoscopia se mantenía como la técnica objetiva más fiable. [76] [77] Sin embargo, a día de hoy dichas diferencias se han ido reduciendo aunque la retinoscopia se sigue manteniendo como la técnica más precisa en determinados casos. [78] [79]

En oftalmología veterinaria, los refractómetros automáticos (figura 6) tienen el inconveniente de que están diseñados para acoplarse a la anatomía humana y no a las diferentes particularidades anatómicas existentes entre las diversas especies animales. Este hecho, sumado al elevado coste de estos instrumentos, hace que a día de hoy el interés en los autorrefractómetros para la evaluación de la refracción en oftalmología veterinaria sea escaso. No obstante, existen autorrefractómetros de mano que de alguna manera podrían atenuar los citados inconvenientes (figura 7).



Figura 6: Autorrefractómetro AR-800®



Figura 7: Autorrefractómetro de mano Retinomax K-Plus 2®

2.6.2 Retinoscopia

La retinoscopia es el estudio del estado refractivo ocular mediante el análisis de la luz reflejada en la retina -reflexión difusa-, que se observa cuando se refleja un haz luminoso a través de su pupila. Esta técnica, que tiene su origen en el siglo XIX, es considerada por muchos autores como el método más importante de refracción objetiva. Desde su invención, la técnica ha recibido varios nombres y actualmente también se la conoce como esquiascopia –de scia: sombra-. El término retinoscopia fue acuñado por Parent en 1880, y ya en 1926 J. Copeland patenta el retinoscopio de franja, momento a partir del cual esta técnica adquiere una creciente popularidad entre optometristas y oftalmólogos. [52]

Al igual que la autorrefractometría, la retinoscopia se usa en humanos bien para establecer una primera estimación del estado de refracción o bien como única fuente de información en los mismos casos descritos anteriormente. En el caso de la veterinaria, la retinoscopia se hace la fuente de información más valiosa gracias no solo a ser un método objetivo sino a ser muy versátil a la hora de adaptarse a las peculiaridades anatómicas de las diferentes especies animales. El escaso coste y facilidad de transporte del material necesario la convierten en una opción atractiva para el oftalmólogo veterinario. No obstante, a diferencia de la autorrefractometría, requiere de un examinador experimentado para obtener resultados satisfactorios.

2.6.3 Fundamentos de la retinoscopia

El examen retinoscópico de un ojo consiste en iluminar la retina del ojo a examinar con un haz de luz, que normalmente tiene una vergencia variable, y observar el reflejo del mismo que emerge por su pupila a través del instrumento óptico destinado a tal fin, que no es otro que el retinoscopio.

2.6.3.1 Retinoscopio

El retinoscopio que conocemos hoy día, es fruto de la evolución del concepto original descrito por Cuignet en 1873 (figura. 8). Éste se basaba en un espejo plano con un agujero en el centro a modo de mirilla con un mango para su sujeción. La luz con la que se iluminaba el ojo provenía de una fuente de luz externa que se orientaba adecuadamente para que se reflejara en el espejo del retinoscopio y penetrase por la pupila del ojo del paciente a

examinar. Éste modelo original (que se puede encontrar a día de hoy todavía) ha sufrido modificaciones importantes a lo largo de los años, como las introducidas por Copeland en varias ocasiones. [55]

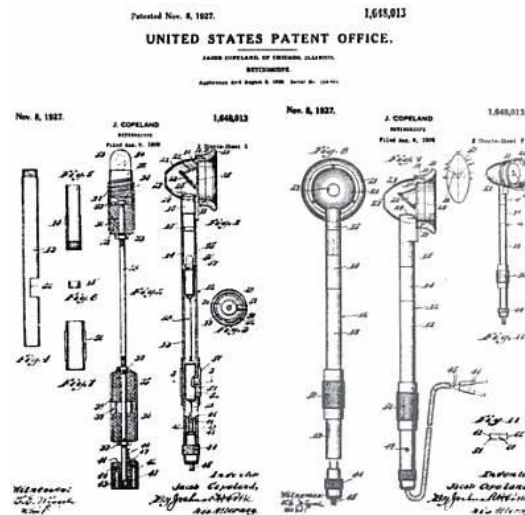


Figura 8: Diseño del retinoscopio original de Cuignet 1873. [55]

El retinoscopio que podemos encontrar hoy día tiene un diseño más complejo y se puede dividir en un sistema de proyección y otro de observación: [55]

- **Sistema de proyección:** tiene la función de iluminar la retina y está formado por:
 - **Fuente de luz:** compuesto por una lámpara con un filamento lineal que proyecta una línea o franja de luz. Así mismo, la lámpara se puede rotar mediante una manivela que permite cambiar la angulación del filamento, y así emitir rayos de luz pudiendo barrer los 360 grados.
 - **Espejo:** situado en la cabeza del instrumento, el espejo se encarga de cambiar la dirección de la trayectoria de la luz que emite lámpara para que salga por el lugar adecuado en la cabeza del retinoscopio.
 - **Lente condensadora:** situada entre la lámpara y el espejo, se encarga de focalizar los rayos que salen del filamento en el espejo.
 - **Manivela de enfoque:** la manivela varía la distancia entre la lámpara y la lente y permite que el retinoscopio proyecte rayos que bien pueden divergir (efecto de espejo plano) o bien pueden converger (efecto de espejo cóncavo). En la mayoría

de los retinoscopios, la manivela cambia el foco cambiando la distancia espejo-lámpara.

- **Sistema de observación:** permite ver el reflejo retiniano. La luz reflejada desde la retina penetra en el retinoscopio, pasa a través de una apertura en el espejo, y entra por la mirilla en la parte trasera de la cabeza del retinoscopio, donde se coloca el ojo del observador.

2.6.3.2 Observación del reflejo retiniano

La luz que llega a la retina desde el retinoscopio sufre una reflexión difusa -no especular- de modo que parte de esta luz vuelve a emerger por la pupila del ojo y puede ser observada por un examinador que se sitúe detrás de la pupila del retinoscopio. Al observar la retina en la misma dirección en la que se está iluminando, el retinoscopista ve en la pupila del ojo del sujeto la imagen desenfocada de la zona iluminada. Esta imagen es el llamado reflejo retiniano, que dependiendo del tipo de retinoscopio, tendrá una forma u otra. El reflejo no tiene porqué necesariamente cubrir toda la extensión de la pupila por lo que por fuera de sus bordes ésta aparece oscura o en sombras. Ante un barrido del haz de iluminación, el reflejo - con sus correspondientes bordes o sombras- se moverá dentro de la extensión pupilar. Entre otros parámetros, el sentido y la rapidez del movimiento de los reflejos observados en relación con el movimiento del haz de iluminación son los parámetros que utiliza el examinador para evaluar el error refractivo que presenta el ojo. [52]

2.6.3.3 Tipos de reflejos retinoscópicos

Como hemos visto, al iluminar el fondo del ojo, éste devuelve un reflejo que sale del ojo con una angulación variable según sea el estado refractivo. Al hacer un barrido sobre la superficie anterior del ojo, se pueden encontrar tres situaciones básicas que definen los 3 tipos principales de reflejos retinoscópicos (figura 9) que son: [55]

Reflejo directo: es aquel en el que el reflejo del fondo del ojo se mueve en la misma dirección en la que lo hace la fuente de luz que lo ilumina. Por ejemplo, si desplazamos la fuente de luz hacia la derecha, el reflejo de fondo se moverá hacia ese mismo lado. Esta situación ocurre cuando el retinoscopista observa los rayos que emergen del ojo antes de que converjan en un punto (el punto remoto).

Reflejo inverso: es aquel en el que el reflejo del fondo del ojo se mueve en dirección contraria en la que lo hace la fuente de luz que lo ilumina. En este caso, si desplazamos la luz

hacia la derecha, el reflejo de fondo se moverá hacia la izquierda. Esta situación ocurre cuando el retinoscopista observa los rayos que emergen del ojo después de que hayan convergido en un punto (punto remoto).

Reflejo de neutralidad: es el reflejo del fondo del ojo en el que no se observa movimiento cuando se desplaza la fuente de luz de un lado a otro, sino una situación de completa iluminación o sombra pupilar. En esta situación no existe movimiento directo ni inverso ya que el retinoscopista se encuentra situado justamente en el punto remoto y lo que se observa es el punto conjugado de la retina en el espacio objeto.

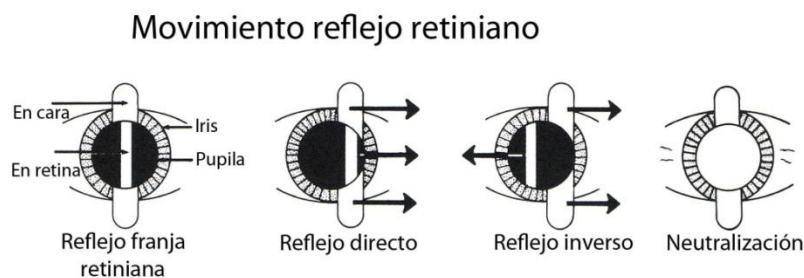


Figura 9: Movimiento del reflejo retiniano. Nótese el movimiento del reflejo retiniano dentro y fuera de la pupila. Nótese el reflejo de neutralidad a la derecha de la imagen con la pupila completamente iluminada. [55]

2.6.3.4 Compensación óptica de ametropías mediante retinoscopia

Con la retinoscopia lo que se busca es encontrar dónde se encuentra el punto remoto y de esa manera determinar el estado de refracción del ojo en cuestión. Si el retinoscopista se sitúa a una teórica distancia infinita del ojo a examinar, los rayos que emergen de un ojo emétrope o hipermétrope no habrán convergido en su punto remoto, por lo que se observará un reflejo directo en ambos casos. En el caso de un ojo miope de -1 D , los rayos habrán convergido en su punto remoto a la distancia de 1 metro del ojo y luego habrán divergido, por lo que el retinoscopista observaría un reflejo inverso. Por tanto, podemos afirmar que cuando se observen reflejos directos el punto remoto estará detrás del observador, y cuando se observen reflejos inversos el punto remoto del ojo estará delante del observador. Si el retinoscopista se sitúa ahora a 1 metro de distancia, en los ojos emétropes e hipermétropes seguirá observando reflejos directos, mientras que en el ojo miope de -1 D , lo que observará será la neutralidad, ya que se encontrará justamente en el punto remoto de ese ojo. [55]

2.6.3.5 Lente de trabajo y lente compensadora. Distancia de trabajo

Ya que no es posible colocarse a una distancia infinita del ojo para observar los reflejos retinoscópicos (aunque el infinito óptico se considera a una distancia de 6 metros [55]), existe la posibilidad de hacer como si efectivamente sí se estuviese, colocando una lente convergente de focal equivalente a la distancia a la que el retinoscopista se coloque para realizar la evaluación retinoscópica. Esta lente se conoce como *lente de trabajo*, y la distancia a la que el examinador se coloca para realizar la retinoscopia se conoce como *distancia de trabajo*. Esta distancia de trabajo, se puede expresar en dioptrías, simplemente haciendo la inversa de la longitud expresada en metros. [55]

Para la búsqueda del punto remoto una vez colocado el examinador a la distancia adecuada, lo que se hace es utilizar una lente convergente o divergente en función del tipo de reflejo observado, que consiga llevar el punto remoto al infinito. Esta lente recibe el nombre de *lente compensadora* y es la que nos informará de la localización del punto remoto y por tanto del estado refractivo del ojo. [55]

La utilización de la lente de trabajo es opcional, y en el caso de que no se utilice lente de trabajo alguna, habrá que tener en cuenta la distancia a la que se ha realizado la retinoscopia para una vez obtenidos los valores finales de la refracción, sustraer de estos la distancia de trabajo expresada en dioptrías (la inversa de la distancia expresada en metros). [55]

2.6.3.6 Estados refractivos y su evaluación retinoscópica

Como ya ha quedado explicado con anterioridad, con la retinoscopia lo que se hace es localizar el lugar del espacio donde se encuentra el punto remoto del ojo a evaluar. Mediante la interpretación de los reflejos retinoscópicos y la cuantificación mediante lentes compensadoras se determina la localización del citado punto remoto.

Independientemente del tipo de reflejo con el que se comienza la evaluación retinoscópica, lo que se pretende es llegar al reflejo de neutralidad. El valor de la lente compensadora que nos proporcione dicha situación será el valor de la retinoscopia neta (si hemos colocado una lente de trabajo), o de una retinoscopia bruta (si no hemos colocado distancia de trabajo). En el primer caso, la potencia de la lente compensadora será el estado refractivo final del ojo (o meridiano) examinado. En el segundo caso, para obtener el valor

neto de la refracción, habrá que sustraer la distancia de trabajo expresada en dioptrías a la potencia de la lente compensadora. [55]

La evaluación retinoscópica en los estados refractivos existentes, sería la siguiente: [55]

Emetropía:

En el ojo emétrope, no hay defecto de refracción. Los rayos que provienen de un objeto muy alejado (rayos paralelos) convergen en la retina. Por tanto, el conjugado de la retina es el infinito, y allí estará su punto remoto. El retinoscopista colocado a un metro de distancia, con una lente de trabajo de +1 D observará el reflejo de neutralidad.

En el caso de la emetropía no se requerirá ninguna lente compensadora para llevar el punto remoto de ese ojo al infinito (figura 10). [55]

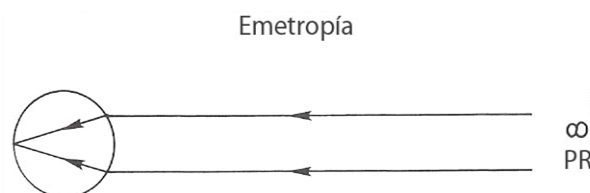


Figura 10: emetropía. El punto remoto está en el infinito.

Ametropías:

En el caso de ojos no emétopes o amétopes, los rayos que entran paralelos en el ojo no convergen en la retina y su punto no estará en el infinito ($R \neq 0$). Para llevar el punto remoto al infinito, en la mayoría de los casos será necesario pues colocar una lente compensadora delante del ojo de una determinada potencia (excepto en el caso de algunas hipermetropías) y hacer así la retina y el infinito conjugados entre sí.

Ametropías esféricas:

En el ojo miope, el conjugado de la retina en el espacio objeto está a una distancia finita del vértice corneal. Los rayos que proceden pues del infinito no convergen en la retina sino en un punto anterior a ésta. En un ojo miope de 2 D, colocado el retinoscopista a una distancia de 1 metro del ojo, éste observará reflejos inversos, ya que el punto remoto estará situado delante del examinador. Para alcanzar la neutralidad, se deberá colocar una lente compensadora esférica (de igual potencia en todos sus meridianos) de -2D (figura 11). [55]

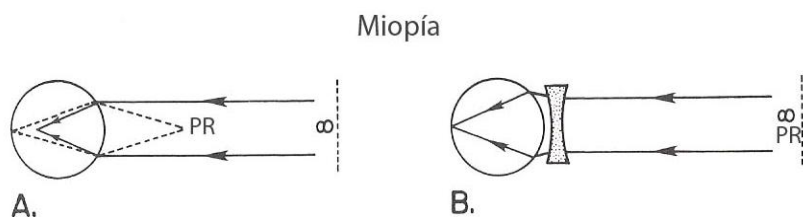


Figura 11: Miopía. El punto remoto se encuentra a una distancia finita del vértice corneal. Se necesita colocar una lente esférica divergente delante del ojo para hacer la retina y el infinito conjugados entre sí.

En el ojo hipermetrope, el conjugado de la retina en el espacio objeto está más allá del infinito, o dicho de otra forma, el conjugado del infinito en el espacio imagen está por detrás de la retina. En un ojo hipermetrope de 2 D, el punto remoto se encontrará más allá del infinito, o dicho de otro modo, el conjugado del infinito se formaría virtualmente 50 cm por detrás de la retina. En estas circunstancias, el retinoscopista observaría reflejos directos, ya que el punto remoto se encontraría por delante de él. Para alcanzar la neutralidad y conocer el estado de refracción, se debería colocar una lente compensadora de + 2 D (figura 12). [55]

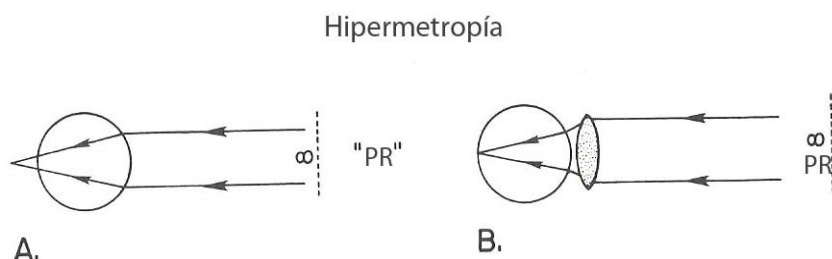


Figura 12: Hipermetropía. El conjugado del punto remoto se encuentra por detrás de la retina. Se necesita colocar una lente esférica convergente delante del ojo para hacer la retina y el infinito conjugados entre sí.

Astigmatismo:

En el caso de ametropías esféricas como es el astigmatismo, nos encontramos con que el conjugado de la retina en el espacio objeto está a diferentes distancias según el meridiano que se examine (figura 13). En este tipo de ametropía, para llevar el punto remoto al infinito hay que tener en cuenta el meridiano que estamos examinando, ya que nos podemos encontrar ante un astigmatismo miópico o hipermetrópico, simple o compuesto, o mixto. En un astigmatismo hipermetrópico simple de 2 D por ejemplo, en el que el ojo es emétrope en el meridiano vertical e hipermetrope de 2 D en el horizontal, para alcanzar la neutralidad en ambos, habría que compensar exclusivamente el meridiano horizontal, ya que el vertical es emétrope. El retinoscopista mediante el retinoscopio de franja, observaría neutralidad en el meridiano vertical, y reflejo directo en el horizontal, ya que en este último el punto remoto se

encontraría detrás del examinador. Para compensar este tipo de ametropía hay que recurrir a lentes cilíndricas o tóricas (figura 14). Estas lentes se caracterizan por tener solamente curvatura en uno de sus ejes, teniendo por tanto potencia dióptrica tan sólo en un plano determinado y no en el resto. Las lentes cilíndricas se pueden combinar con lentes esféricas (que tienen la misma potencia en todos sus ejes) para conseguir llevar al infinito dos planos que converjan en distintos puntos dentro del ojo, situación que ocurre en los astigmatismos compuestos y mixtos. [55]

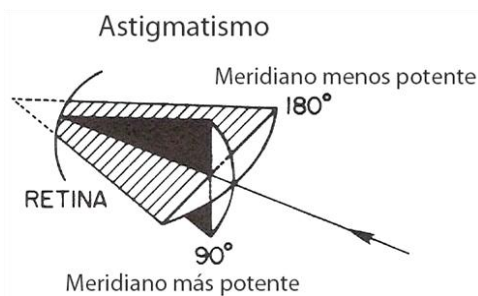


Figura 13: Astigmatismo hipermetrópico simple. El conjugado del punto remoto del meridiano vertical (90°) es la retina, y el del meridiano horizontal (180°) está detrás de la retina.

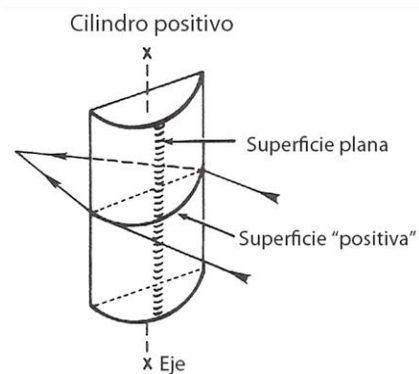


Figura 14: Lente cilíndrica o tórica con potencia solamente en el meridiano horizontal, necesaria para compensar un astigmatismo hipermetrópico simple.

2.6.3.7 Características de los reflejos retinoscópicos

En general, los reflejos retinoscópicos no solo tienen la característica de la direccionalidad, sino que tienen otras características básicas, que bien interpretadas nos ayudarán a saber si nos encontramos cerca o lejos de la neutralidad y por tanto del punto remoto. Dichas características son: [55]

- **Velocidad:** cuanto más lejos nos encontramos del punto remoto, el reflejo retinoscópico se desplaza más lentamente que cuando estamos más cerca. Por tanto, errores refractivos grandes conllevan movimientos de los reflejos lentos y errores refractivos pequeños conllevan movimientos de los reflejos rápidos. En la neutralidad, como ya se ha explicado anteriormente, la pupila está completamente cubierta de luz y no se observa movimiento alguno.

- **Brillo:** el reflejo es más brillante cuanto más cerca nos encontramos de la neutralidad y por tanto del punto remoto. Por el contrario es más pálido cuanto más lejos del mismo nos encontramos.
- **Anchura:** la franja reflejada por la retina es más estrecha conforme más alejados estamos del punto remoto y más ancha cuanto más cerca. Cuando llegamos a la neutralidad, la franja es tan ancha que cubre por completo el diámetro pupilar y no se observa franja ninguna.

A modo de resumen, podemos sintetizar lo anterior en que los errores refractivos grandes darán como resultado reflejos retinoscópicos poco brillantes o pálidos, de movimiento lento y de franja estrecha. Por el contrario, los errores refractivos pequeños, resultaran en reflejos brillantes, de movimiento rápido y de franja ancha. [55]

2.6.3.8 Fuentes de error en la retinoscopia

La retinoscopia es una técnica de refracción objetiva muy fiable siempre y cuando sea practicada de manera adecuada. Tanto es así, que la principal fuente de error en esta técnica suele ser el propio examinador. Los errores más frecuentes que se suelen cometer en la práctica retinoscópica son: [52]

- Distancia de trabajo incorrecta: ocurre al trabajar a una distancia diferente de la que se utilizará luego como referencia para obtener la compensación a partir de la neutralización.
- Trabajar fuera del eje visual: cuando el eje visual del ojo examinado no coincide con el eje de observación retinoscópico, se induce astigmatismo por incidencia oblicua.
- Error inducido por la acomodación: se produce cuando el individuo fija su vista en un punto próximo. En estos casos la acomodación inducida falsea el valor de la esfera de la refracción retinoscópica.
- Utilización incorrecta del espejo cóncavo: si durante la utilización del retinoscopio en la configuración de espejo cóncavo (en lugar de espejo plano), se enfoca la imagen del filamento sobre la pupila del ojo examinado, se obtiene la neutralización del reflejo retinoscópico independientemente de la ametropía. Esta situación a evitar se denomina falso neutro.

2.6.4 Formas de expresar los defectos de refracción

Los resultados de una refracción se pueden expresar de varias maneras. En la práctica optométrica humana, ya sea llevada a cabo por oftalmólogos u ópticos, la forma corriente de expresar el defecto de refracción es mediante la fórmula oftálmica (la lente necesaria para compensar el defecto de refracción). En el caso de una ametropía esférica (sin astigmatismo), ya sea miopía o hipermetropía, solo estará compuesta de un valor, que será negativo o positivo respectivamente. En el caso de una ametropía esférica (con astigmatismo), se expresan varios valores, en los que se tiene en cuenta la diferente potencia que posee el ojo según el meridiano. En el siguiente ejemplo de un ojo con astigmatismo hipermetrópico compuesto, con unos valores de +3,00 D en el eje horizontal (180°) y +2,00 D en el vertical (90°), serían equivalentes las siguientes fórmulas oftálmicas:

1.- Con el cilindro del mismo signo que el esférico:

$$+2,00 +1,00 \text{ a } 90^\circ$$

2.- Con el cilindro de signo contrario que el esférico:

$$+3,00 -1,00 \text{ a } 180^\circ$$

3.- Con 2 cilindros cruzados.

$$+2,00 \text{ cilindro } \times 180 +3,00 \text{ cilindro } 90^\circ$$

En la primera situación, se asignará el eje de menor potencia como esférico y la diferencia entre ambos ejes como cilindro. Transponiéndolo a la segunda situación, el esférico sería la máxima potencia y el cilindro la diferencia entre ejes pero con signo contrario y a 90 grados del eje anterior. Si se desea usar la nomenclatura de los cilindros cruzados, uno será la potencia menor al eje menor y el otro la potencia total al eje mayor. [80]

Otra forma de expresar el defecto de refracción es mediante el equivalente esférico. El equivalente esférico es un valor que expresa el círculo de menor confusión en una ametropía cilíndrica. Es decir, es un valor que reemplaza a los valores de refracción por un valor medio de los dos obtenidos en los dos meridianos examinados (con pérdida de información, puesto que un mismo equivalente esférico puede corresponder a astigmatismos bien distintos) [52]. Se obtiene mediante la suma algebraica del valor de la esfera y la mitad del valor del cilindro manteniendo ambos su signo. En el primer ejemplo anterior, el equivalente esférico sería +2,50D. $[(2,00 + (1/2)*(-1,00))] = 2,50$.

Otra manera de expresar las ametropías cilíndricas es mediante la potencia meridional y la representación vectorial del astigmatismo. Esta técnica es más exacta que ninguna de las anteriores, aunque también es mucho más tediosa de aplicar y no se utiliza en la práctica clínica diaria. Furlan y colaboradores detallan esta técnica en su libro sobre fundamentos de optometría y refracción ocular. [52]

2.6.5 Midriasis y cicloplegia

Como ya se ha explicado con anterioridad, en determinados defectos refractivos tales como algunos tipos de hipermetropía, el cristalino se encuentra acomodado incluso para ver objetos muy alejados. Por tanto, a la hora de evaluar el estado de refracción, hay que tener en cuenta si el ojo que estamos evaluando se encuentra acomodando o no. Para llevar a cabo esta tarea, en los seres humanos el especialista puede optar por técnicas como el método de la miopización o la inducción ciclopléctica. En la primera, se trata de relajar la acomodación miopizando el ojo a base de interponer lentes convergentes. Para la inducción ciclopléctica se utilizan fármacos cicloplécticos, que paralizarán la acción de los músculos ciliares, haciendo que el cristalino quede en su posición más plana. En la práctica oftalmológica tanto humana como veterinaria se usan fármacos midriáticos cicloplécticos tales como la tropicamida o el ciclopentolato. Ambos tienen efectos midriáticos y cicloplécticos, tardan poco tiempo en empezar a actuar y además la duración de su efecto es relativamente corta comparada con otros fármacos midriático/cicloplécticos como es el caso de la atropina. [81]

2.7 DATOS EXISTENTES EN ANIMALES

2.7.1 Modelos esquemáticos de ojo

El modelo esquemático humano más popular ha sido el propuesto por Gullstrand, así como el de Le Grand, aunque posteriormente han aparecido otros modelos más sofisticados como el de Navarro y colaboradores [11] [12] [82] Existen varios modelos esquemáticos de ojos animales, uno de los primeros propuesto por Mathiessen a finales del siglo XIX, aunque basándose casi exclusivamente en las mediciones de los parámetros de un solo ojo. [13] Ya en la segunda mitad del siglo XX, Vakkur y Bishop desarrollaron un modelo esquemático para el gato, y Coile y O'Keefe varios modelos para sendas especies animales. [83] [13]

Sivak y Allen, así como Knill y colaboradores calcularon en los años 70 diferentes parámetros ópticos para el ojo equino. [14] [15] Estos parámetros se obtuvieron haciendo mediciones *in situ* en ojos enucleados de caballos sacrificados. Basándose en estos parámetros, otros autores han calculado los estados refractivos en reposo correspondientes, resultando ambos marcadamente hipermetropes, con un valor de +6,5 D para el modelo de Sivak y Allen y de +12 D para el modelo de Knill y colaboradores [73] A diferencia de los anteriores, el modelo esquemático propuesto por Coile y O'Keefe predice un estado refractivo medio de menos de +1 D, valor que se aleja bastante de las predicciones anteriores. [13] En la tabla 3 se muestran los parámetros principales obtenidos por los distintos autores en los modelos de ojo propuestos.

Tabla 3: Parámetros principales de los diferentes modelos esquemáticos de ojo propuestos para el equino por diferentes autores. Se incluye a modo de comparación el modelo esquemático del ojo humano de Gullstrand.

Medida	Sivak y Allen 1975 [14]	Knill y col. 1977 [15]	Coile y O'Keefe 1988 [13]	Gullstrand [11]
R_c sup _{ant} córnea	17,2 mm	21,0 mm	17,2 mm	7,7 mm
R_c sup _{post} córnea	-	18,0 mm	18,25 mm	6,8 mm
R_c sup _{ant} cristalino	15,0 mm	11,4 mm	15,0 mm	10,0 mm
R_c sup _{post} cristalino	-10,5 mm	-10,0 mm	-10,5 mm	-6,0 mm
Índice refracción corneal	1,369	1,370	1,369	1,376
Índice refracción humor acuoso	1,335	1,335	1,335	1,336
Índice refracción humor vítreo	1,335	1,335	1,335	1,336
Índice refracción cristalino	1,383-1,429	1,42	1,49	1,41
Espesor central cristalino	12,6 mm	12,3 mm	12,4 mm	3,6 mm
Longitud axial globo	40,6 mm	37,8 mm	41,6 mm	24,39 mm
F cornea en aire	+19,45 D	+15,67 D	+19,62 D	+43,05 D
F cristalino en aire	+14,88 D	+15,41 D	+23,83 D	+19,11 D
F total ojo	+31,6 D	-	+38,55 D	+58,6 D
Refracción estimada	+6,5 D	+12 D	+0,6 D	-

2.7.2 Refracción por retinoscopia en el animal vivo

Desde que se descubrió la retinoscopia a finales del siglo XIX, el estudio del estado de refracción en los animales domésticos se ha popularizado mucho, dentro del mundo de la investigación al menos, suponemos que debido a que se trata de técnica objetiva y a que el retinoscopio es un instrumento relativamente barato y fácil de transportar.

De todas las especies domésticas de interés veterinario, el perro ha sido la especie donde más estudios sobre el estado de refracción se han hecho hasta la fecha. Un estudio relativamente reciente en Estados Unidos recoge datos sobre 1440 perros de diferentes razas, estableciendo un estado de refracción medio de $-0,05 \pm 1,36$ D (emetropía). [84] En ese mismo estudio se encuentran razas con estados refractivos dentro de la miopía ($\leq -0,50$ D), como el Rottweiler o el Collie y razas dentro de la hipermetropía ($\geq +0,50$ D) como el Pastor Australiano o el Malamute de Alaska. Durante los años noventa, Murphy y colaboradores estudiaron ampliamente la visión y el estado de refracción en esta especie, e incluso publicaron un estudio evaluando el impacto de los defectos de refracción sobre la agudeza visual en perros de raza Beagle. [85] [40] Para ello evaluaron la respuesta nerviosa a través de potenciales evocados visuales de los perros interponiendo lentes de potencia creciente entre los estímulos luminosos y el ojo de los individuos examinados. Con este método determinaron que un desenfoque de 2 dioptrías reducía la agudeza visual del perro Beagle en aproximadamente un octavo.

En el caso del gato, existen trabajos muy relevantes desde los años sesenta y setenta acerca de la calidad óptica de su sistema visual, así como diferentes parámetros afectando a su agudeza visual [86] [87]. En un estudio muy reciente sobre 98 gatos se obtuvo un estado de refracción medio de $-0,78 \pm 1,37$ D (SD) encontrándose diferencias significativas con la edad, siendo los gatos menores de 4 meses más miopes que los mayores de 1 año. Se encontraron también diferencias con la raza, siendo los gatos domésticos de pelo corto significativamente más propensos a ser miopes que los de pelo medio o los gatos domésticos de pelo largo. [88]

En cuanto al caballo, existen datos desde finales del siglo XIX, aunque los estudios anteriores a la primera mitad del siglo XX no han sido tenidos en cuenta prácticamente en la literatura moderna. En los libros de oftalmología equina se toma como valor estimado de refracción para el ojo equino la emetropía, o la ligera hipermetropía. [1] Sin embargo, los estudios modernos muestran resultados dispares. En estudios recientes como el de Grinninger y colaboradores [89] o el de Stuhr y colaboradores [90] se obtienen valores muy cercanos a la emetropía, con valores parecidos tanto de miopía como de hipermetropía. Sin embargo, otros

autores obtienen mayor frecuencia de casos de hipermetropía o de miopía. [73] [91] A pesar de esta diferencia en la frecuencia de las ametropías encontradas, todos ellos coinciden en que los valores medios se encuentran cercanos a la emetropía.

En cuanto al número de muestra, los estudios en el equino que se pueden encontrar en la literatura moderna son escasos si los comparamos con estudios en otras especies como el perro. [84] [85] [92] [93] El estudio con un número mayor de animales evaluados hasta la fecha es de 2010 con 156 ejemplares (aunque se examina un solo ojo por animal) seguido de un estudio de 1978 con 108 caballos (215 ojos) y de otro con 82 caballos de 1999. [89] [91] [90] El resto de estudios que se pueden encontrar tienen números de muestra muy inferiores, lo cual nos da idea del nivel de profundidad con el que ha estudiado esta especie hasta la fecha. [73] [94] [95] [29]

Si el número de ejemplares estudiados en los diversos estudios es bajo comparado con otras especies, lo mismo ocurre con las especies y razas equinas evaluadas. Es importante destacar al mismo tiempo que al ser los estudios sobre el estado de refracción en las especies domésticas realizados en otros países, hasta la fecha las razas más populares en nuestro país no han sido evaluadas. No existen estudios donde se evalúen caballos las razas Pura Raza Española o Pura Raza Árabe por ejemplo.

OBJETIVOS

3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- 1.- Determinar el estado de refracción del ojo equino en las razas más frecuentes en la región de Andalucía.
- 2.- Valorar la posible existencia de diferencias en el estado refractivo entre grupos poblacionales equinos diferentes, incluyendo raza, edad y sexo.

3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- 3.- Comprobar si la cicloplegia tienen alguna influencia en la determinación del estado refractivo en el ojo equino evaluado mediante retinoscopia.
- 4.- Valorar si la técnica retinoscópica es válida para poder evaluar el estado refractivo en el examen oftalmológico rutinario.

MATERIAL Y MÉTODOS

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. MATERIAL

4.1.1. Animales

En este estudio participaron 371 equinos de diferentes razas, 232 machos y 139 hembras con edades comprendidas entre los 3 meses y los 33 años de edad. A continuación (tabla 4) se muestra la distribución del número de animales de cada grupo que participaron en el estudio.

Tabla 4: Distribución y número de ejemplares de animales utilizados en este estudio.

Grupo o raza	Nº ejemplares
<i>Grupo cruzados</i>	68
<i>Pura Raza Español</i>	97
<i>Pura Raza Árabe</i>	74
Anglo-Árabe	25
Hispano-Árabe	12
Centro-Europeo	18
Lusitano	21
Mestizo de razas	26
Poni	14
Grupo de burros	16
Total	371

Los individuos fueron seleccionados de entre los pacientes del Hospital Clínico Veterinario de la Universidad Córdoba, así como de entre los animales pertenecientes a yegüadas, ganaderías y propietarios de la Comunidad Autónoma Andaluza que quisieron participar en el estudio.

El grupo denominado como Mestizo de razas, está formado por diferentes caballos de pura raza, o cruzados de pura raza, en tan bajo número que no tienen la suficiente entidad

para formar un grupo propio. Dicho grupo incluye las razas Pura Raza Inglés, Cuarto de Milla, Frisón, el denominado como Marismeño y un conjunto de cruces de estas y las demás razas incluidas en el estudio. La diferencia con el grupo denominado como Cruzado, es que en este último no existe ninguna raza definida en su ascendencia directa mientras que en el grupo del mestizo se incluyen animales con ascendencia directa de alguna de las razas previamente mencionadas.

La toma de medidas se inició en febrero de 2009 y finalizó en mayo de 2012.

Los criterios de inclusión a los que los animales se sometieron fueron:

- No presentar ninguna enfermedad ocular previa.
- No presentar anomalías oculares que pudieran alterar la interpretación de los reflejos retinoscópicos.
- No haber sido sometidos a ninguna intervención quirúrgica ocular.
- No estar en tratamiento farmacológico.

De los 371 equinos que participaron en el estudio se descartaron 16 por no cumplir alguno de los criterios de inclusión. Al final por tanto se dispuso de 720 ojos de 355 individuos con una edad media de $9,2 \pm 5,6$ (años \pm desviación típica).

4.1.2. Material de exploración oftalmológica

- Para comprobar la integridad del segmento anterior se utilizó el examen biomicroscópico mediante la lámpara de hendidura portátil Kowa SL5, (Kowa Company Ltd. Tokio, Japón).
- Para comprobar la integridad del segmento posterior, se utilizó la oftalmoscopia directa mediante el oftalmoscopio Heine Beta 200 (Heine. Herrsching, Alemania). En los casos evaluados en el Hospital Clínico Veterinario de la Universidad Córdoba, se utilizó la además la oftalmoscopia indirecta mediante el oftalmoscopio Heine Omega 100 (Heine. Herrsching, Alemania).

4.1.3. Material para la evaluación refractiva ocular

- Retinoscopio de franja Reister (Ri-tinoscope. Riester, Alemania).
- Barras de lentes oftálmicas Luneau (Luneau Ophtalmologie, Chartes Cedex, Francia).

4.1.4. Evaluación de la iluminación ambiental:

Para evaluar la iluminación ambiental se utilizó un luxómetro PCE-L335 (PCE Ibérica. Tobarra-Albacete, España).

4.1.5. Valoración cilcoplégica

Para obtener la cicloplegia se utilizó tropicamida al 1 % (Colircusí Tropicamida®, Alcon Cusí S.A. Barcelona).

4.2. MÉTODO:

4.2.1. Cicloplegia

Para provocar la cicloplegia, se instiló 0,1 ml de solución oftálmica de tropicamida al 1 % en ambos ojos de un grupo de 13 animales (26 ojos) elegidos al azar.

Debido a la dificultad que a veces plantea la instilación de colirios en los ojos de los equinos, se optó por la instilación mediante jeringa de la solución oftálmica de tropicamida al 1%.

La retinoscopia se realizó antes y 30 minutos después de la citada instilación.

4.2.2. Retinoscopia

La retinoscopia de franja fue la técnica empleada para evaluar el estado de refracción, usando el retinoscopio Ri-tinoscope (Riester, Juningen, Alemania) y las barras de retinoscopia Luneau (Luneau Ohtalmologie, Chartes Cedex, Francia). La retinoscopia fue realizada por el mismo examinador en todos los casos. Las distintas partes del retinoscopio se muestran en las figuras 15 y 16.



Figura 15: Cabeza del retinoscopio Ri-tinoscope.



Figura 16: Mango y cabeza del retinoscopio

Para la realización de la retinoscopia, en todo momento se buscó un lugar de trabajo adecuado, tanto por dimensiones como por iluminación ambiental. Se seleccionó el espacio aquel en el que tanto el animal, el examinador y los colaboradores que fueran a participar en la prueba estuvieran cómodos, con objeto de no crear un ambiente estresante para el animal que pudiera dificultar la colaboración del mismo y por lo tanto la evaluación retinoscópica. Así mismo el ambiente luminoso de la zona escogida fue lo suficientemente oscuro para obtener una buena dilatación pupilar y observar suficientemente contrastados los reflejos retinoscópicos. Para la consecución de dicho ambiente luminoso se hicieron evaluaciones

preliminares con ayuda del luxómetro LCE 335 (PCE-Ibérica, Albacete, España) el cual nos ayudó a establecer un rango de iluminación de base mínimo para la observación de los reflejos retinoscópicos.

La posición del examinador con respecto al ojo del animal incluye tanto la distancia del retinoscopio al ojo del animal a evaluar (distancia de trabajo), como el ángulo de visión que tiene el examinador con respecto al fondo del ojo evaluado donde se producen los reflejos retinoscópicos. La distancia de trabajo fue siempre la longitud del brazo del examinador, la cual medida con una cinta métrica corresponde a 67 cm. En cuanto al ángulo de visión del examinador, se realizó siempre perpendicular al plano pupilar del ojo examinado. Para asegurar que tanto la distancia de trabajo como el plano retinoscópico se mantuvieran en los rangos adecuados, se contó con la presencia de un colaborador que vigiló tanto la distancia de trabajo como el ángulo formado por el retinoscopio y el ojo a examinar.

4.2.3. Técnica retinoscópica

Colocado el examinador a la distancia de su brazo del ojo a examinar, con una mano sujeta el retinoscopio e ilumina el ojo a evaluar. El examinador observa los reflejos del fondo del ojo iluminado mirando a través de la mirilla que la cabeza del retinoscopio lleva incorporada. En todo momento el retinoscopio se encuentra configurado en modo de espejo plano (manivela abajo en el modelo utilizado).

Con la otra mano se sujeta la barra de lentes, convergentes o divergentes (figura 17) la cual se irá intercambiando según corresponda en cada caso como se muestra en la figura 18.



Figura 17: Barras de lentes. Convergentes (negra), divergentes (roja).



Figura 18: Posición del examinador durante la retinoscopia. Perpendicular al plano pupilar y situado a la distancia de su brazo (67 cm aproximadamente).

Se empieza evaluando los reflejos retinoscópicos sin interponer aún barra de lentes alguna. Para ello se desplaza la franja de luz barriendo la pupila del ojo a examinar de un lado a otro, primero en el meridiano horizontal y luego en el vertical. Con esto se pretende saber a grandes rasgos el estado refractivo del ojo examinado. En dichos reflejos el examinador tiene que interpretar el movimiento directo o inverso de los reflejos, la velocidad de desplazamiento de dichos reflejos, así como la intensidad luminosa y anchura de los mismos. De igual modo, se tiene que interpretar si los reflejos presentan o no las mismas características en los dos meridianos perpendiculares examinados.

Una vez detectado el tipo de reflejo, se compensa el defecto refractivo de cada meridiano de forma independiente mediante sendas lentes esféricas. Para ello se interpone la barra de lentes correspondiente delante del ojo buscando la potencia dióptrica que proporcione la neutralidad (siempre comenzando desde el reflejo con movimiento inverso). Dicho procedimiento se realiza en los dos meridianos perpendiculares examinados obteniendo así dos valores de refracción. En los casos en los que una lente proporcione un movimiento en un sentido y la inmediatamente siguiente proporcione un movimiento en sentido contrario (en lugar de la neutralidad), se procederá a hacer una interpolación de la potencia dióptrica compensadora de dichas lentes. Por tanto, en muchos de los casos la refracción de un meridiano puede tomar valores de $\pm 0,25$ D a pesar de que los incrementos de potencia de las lentes contenidas en las barras de esquiascopia utilizadas son de $\pm 0,50$ D (hasta el valor de ± 4 D, a partir del cual los incrementos son de $\pm 1,00$ D).

Para calcular el valor neto de la refracción, se realiza la sustracción de la distancia de trabajo expresada en dioptrías al valor obtenido en la retinoscopia. En nuestro caso la distancia de trabajo es de 67 cm, que corresponde a aproximadamente 1,5 dioptrías (la inversa de la distancia de trabajo expresada metros es $1/0,67$ m $\approx 1,5$ D).

Una vez obtenidos los valores netos de refracción de cada meridiano se calcula tanto el astigmatismo (la diferencia en valor absoluto de dichos valores) como el equivalente esférico (la media de la refracción obtenida de los dos meridianos evaluados). Para obtener un valor medio por animal de cada uno de estos parámetros, se realiza la media de los ojos derecho e izquierdo de cada animal.

La anisometropía se obtiene calculando la diferencia en valor absoluto del equivalente esférico del ojo derecho e izquierdo del mismo animal.

4.3. CONFIGURACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

4.3.1. Diseño experimental y selección de los animales

Como ya ha quedado establecido en el capítulo de los objetivos, este estudio persigue hacer una descripción general del estado de refracción del ojo equino y prestar especial atención a posibles diferencias de dicho estado refractivo entre los grupos más frecuentes en la población equina local andaluza. Para ello, se ha hecho una descripción de los parámetros visuales más representativos de la refracción ocular que son el estado de refracción medio, la distribución de las ametropías más comunes como son la miopía, la hipermetropía y el astigmatismo, así como la anisometropía en todos los grupos participantes en el estudio.

Para las comparaciones estadísticas entre las distintas variables objeto de estudio, se escogieron tan solo tres de los grupos raciales participantes debido a ser los más numerosos en nuestra muestra y reflejo de la población equina de la zona. Dichos grupos fueron el de individuos "*Pura Raza Española*", "*Pura Raza Árabe*" y el grupo formado por los "*Cruzados*". Los animales se agruparon en tres grupos de edades formados por: el grupo de los jóvenes, cuya edad era igual o inferior a los 5 años, el grupo de los adultos, con edades superiores a los 5 años hasta los 14 inclusive y por último, el grupo de los geriátricos, formado por los individuos mayores de 14 años.

4.3.2. Cálculo de las variables objeto de estudio

Cálculo del estado de refracción medio:

El estado de refracción de cada individuo se obtuvo como el promedio de los equivalentes esféricos de los dos ojos de un mismo animal. El estado de refracción medio es la media aritmética del estado de refracción de los individuos evaluados. Se muestra mediante la media expresada en dioptrías \pm error típico de la media.

Cálculo de la distribución de los estados de refracción:

En este estudio se ha considerado un individuo miope, aquel cuyo estado refractivo es igual o inferior a -0,50 D. De igual forma, se ha considerado un individuo hipermetrope aquel

cuyo estado refractivo es igual o superior a +0,50 D. La emetropía se ha considerado en individuos cuyo estado refractivo es superior a -0,50 D e inferior a +0,50 D.

Los distintos estados refractivos se expresan en porcentajes, que indican el número de animales encontrados de cada estado refractivo en concreto con respecto del total de animales evaluados.

Astigmatismo:

El astigmatismo es el valor resultante de la diferencia de la refracción neta obtenida entre los dos meridianos examinados expresado en valor absoluto. Un ojo se diagnosticó como astigmata cuando éste tomó valores iguales o superiores a $|0,50|$ D. Así mismo se consideró un individuo astigmata cuando la media del astigmatismo de sus dos ojos era igual o superior a $|0,50|$ D. Se muestra mediante la media expresada en dioptrías \pm error típico de la media.

Anisometropía:

Se calculó la anisometropía como la diferencia en valor absoluto del equivalente esférico del ojo derecho e izquierdo de un mismo animal. Se diagnosticó la presencia de anisometropía en un individuo cuando ésta era igual o superior a $|1,00|$ D. Se muestra mediante la media expresada en dioptrías \pm error típico de la media.

A continuación se resumen las variables estudiadas con sus magnitudes y unidades (tabla 5).

Tabla 5: Cálculo de las variables de estudio y unidades.

Variables	Forma de calcular las variables	Magnitud y unidades
<i>Estado de refracción por ojo</i>	Media de la refracción obtenida de los meridianos perpendiculares examinados.	Equivalente esférico Dioptrías ± error típico
<i>Estado de refracción por animal</i>	Media del estado refractivo de los dos ojos de un mismo animal.	Equivalente esférico Dioptrías ± error típico
<i>Distribución de los estados refractivos</i>	Valor porcentual de cada estado refractivo.	Porcentaje
<i>Astigmatismo</i>	Valor absoluto de la diferencia de la refracción obtenida entre meridianos principales.	Dioptrías ± Error típico
<i>Anisometropía</i>	Valor absoluto de la diferencia de la refracción obtenida entre de los dos ojos de un mismo animal.	Dioptrías ± Error típico

4.3.3. Análisis de datos

Se realizó un análisis de estadística descriptiva, obteniendo la media, error típico, valores máximo y mínimo para los datos de la refracción de cada meridiano evaluado, el equivalente esférico, así como para los datos de astigmatismo y anisometropía.

Para comprobar la posible existencia de diferencias entre las variables de estudio (estado refractivo medio, astigmatismo y anisometropía) entre los distintos grupos considerados se hizo un análisis desde un punto de vista tanto cuantitativo como cualitativo de las mismas. En el análisis cuantitativo se compararon los valores medios de nuestras variables, mientras que en el cualitativo se compararon las variables categorizadas. De este modo, el estado refractivo medio se dividió en tres nuevas variables, de nombres “miopes”, “hipermétropes” y “emétropes”. Cada una de estas nuevas variables se reconvirtió en variable dicotómica, representando presencia o no presencia del estado refractivo concreto en cada caso. El astigmatismo se categorizó de igual forma en astígmata o no astígmata.

Para comprobar la normalidad de los datos en las variables cuantitativas se realizó una prueba de Kolmogorov-Smirnoff. Para la comparación de medias se utilizaron pruebas no paramétricas tales como el estadístico U de Mann-Whitney en los casos de muestras independientes y el test de los rangos de Wilcoxon en los casos de muestras relacionadas.

Para el estudio de las variables cualitativas se utilizó el estadístico Chi-cuadrado o Fisher según correspondiera.

Se utilizó un modelo multivariante de regresión logística para evaluar el riesgo de los individuos a padecer un determinado tipo de ametropía por el hecho de pertenecer a un determinado grupo. Previamente los estados refractivos de miopía, hipermetropía y emetropía así como el astigmatismo se categorizaron en variables dicotómicas en base a los rangos considerados ya descritos previamente para cada caso. Dichas variables se tomaron como dependientes, mientras que como variables independientes se consideraron las que resultaron estadísticamente significativas en el análisis bivariante mediante el estadístico Chi-cuadrado. Las variables independientes que se sometieron a dicha prueba fueron la edad, el sexo y la raza.

Para comprobar la existencia o no de correlación entre el estado de refracción y la edad, se utilizó una correlación lineal de Spearman.

El análisis informático de los datos se realizó mediante la aplicación estadística SPSS 15.0 para Windows.

RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1. COMPARACIÓN DEL ESTADO DE REFRACCIÓN ANTES Y DESPUÉS DE LA CICLOPLEGIA

En el grupo de 13 animales seleccionados para este fin, el estado de refracción medio \pm el error típico (ET) obtenido antes de aplicar la solución oftálmica de tropicamida fue de $-0,69 \pm 0,35$ D para el ojo derecho y $-0,75 \pm 0,38$ D para el ojo izquierdo. La refracción media por animal fue de $-0,72 \pm 0,37$ D. La refracción obtenida tras 25-30 minutos de la aplicación de la tropicamida fue de $-0,79 \pm 0,34$ D para el ojo derecho y $-0,70 \pm 0,30$ D para el ojo izquierdo. La refracción media obtenida por animal en este caso fue de $-0,75 \pm 0,31$ D.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el estado de refracción antes y después de la aplicación de la solución oftálmica de tropicamida en ninguno de los ojos de cada animal, derecho e izquierdo, así como en la media de los dos ojos de un mismo animal ($p = 0,059$; $p = 0,905$; $p = 0,530$ respectivamente).

5.2. ANÁLISIS DE LOS DATOS

A continuación se detallan los resultados obtenidos en nuestro estudio. Se describen el estado de refracción medio, la distribución de las ametropías más comunes, el astigmatismo y la anisometropía en los diferentes grupos estudiados. Las comparaciones estadísticas se muestran inmediatamente después los epígrafes correspondientes. Para dichas comparaciones se han utilizado el conjunto de animales formado por los animales Pura Raza Española, Pura Raza Árabe y el grupo de los animales cruzados.

5.2.1. Conjunto total de animales:

- Estado de refracción medio:

El estado de refracción medio se obtuvo de un total de 371 equinos (720 ojos) en estudio, de los cuales solo 351 presentaban sus dos ojos visuales.

El valor medio de la refracción obtenida expresado en equivalente esférico \pm (ET) fue de $-0,26 \pm 0,04$ D para el ojo derecho y $-0,22 \pm 0,04$ D para el izquierdo.

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,24 \pm 0,04$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 6 y figura 19.

Tabla 6: Valores del estado de refracción medio. Se muestra el equivalente esférico en dioptrías tanto por ojo como por individuo.

Refracción media	Núm. casos	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Ojo derecho	355	-0,26	0,04	-3,00	+1,25
Ojo izquierdo	365	-0,22	0,04	-3,38	+1,25
Individuo	351	-0,24	0,04	-2,81	+1,13

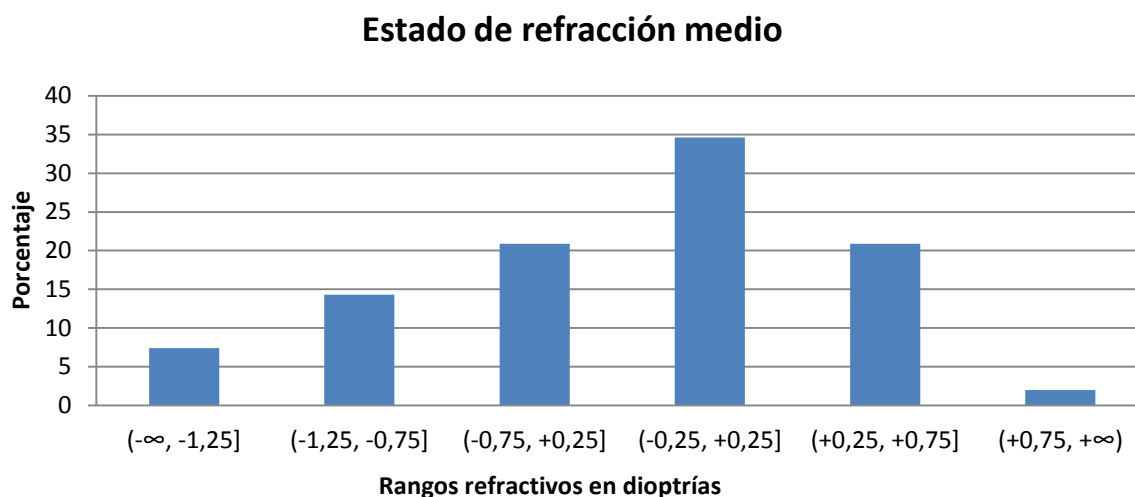


Figura 19: Histograma de la frecuencia de presentación del estado de refracción medio del conjunto total de la muestra. Los datos están agrupados en rangos de $\pm 0,50$ dioptrías.

- **Distribución de estados de refracción:**

Como ya quedó reflejado en la parte de material y métodos, se ha considerado la miopía aquel estado de refracción $\leq -0,50$ D, la hipermetropía aquel $\geq +0,50$ D mientras que la emetropía se ha considerado el estado refractivo comprendido entre estos dos valores. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 7 y figura 20.

De los 720 ojos examinados (355 ojos derechos y 365 ojos izquierdos), 249 fueron considerados miopes (130 ojos derechos y 119 ojos izquierdos), lo que supone un 34,6 % del total, con un valor máximo de miopía de -3,00 D.

En cuanto a individuos miopes (media del estado de refracción del ojo derecho e izquierdo de un mismo animal $\leq -0,50$ D), 108 animales se consideraron como tales, lo que supone un 30,8 % del total de los animales examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la miopía dentro de este grupo fue de $-1,09 \pm 0,05$ D con un valor máximo de miopía de -2,81 D.

Con respecto a la hipermetropía, 103 ojos fueron considerados hipermétropes (52 ojos derechos y 51 ojos izquierdos), lo que supone un 14,3 % del total de ojos evaluados, con un valor máximo de hipermetropía de +1,25 D.

En lo que concierne a caballos hipermétropes (media del estado de refracción del ojo derecho e izquierdo de un mismo animal $\geq +0,50$ D), 40 fueron considerados como tales, lo que supone un 11,4 % del total de animales examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía dentro de este grupo fue de $+0,66 \pm 0,03$ D con un valor máximo de hipermetropía de +1,13 D.

Con respecto a la emetropía, 368 ojos fueron considerados emétropes (173 ojos derechos y 195 ojos izquierdos) lo que supone un 51,1 % del total de ojos evaluados.

En lo concerniente a caballos emétropes, 203 fueron considerados como tales, lo que supone un 57,8 % del total de individuos evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,03 \pm 0,02$ con un valor mínimo de -0,44 D y un valor máximo de +0,44 D.

Tabla 7: Valores de la frecuencia de presentación de las ametropías esféricas y la emetropía en el conjunto total de la muestra. Se muestran los datos por individuo.

Distribución estados refractivos	Num. Casos	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Miopía	108	30,8	-1,09	0,05	-2,81	-0,50
Hipermetropía	40	11,4	+0,66	0,03	+0,50	+1,13
Emetropía	203	57,8	+0,03	0,02	-0,44	+0,44

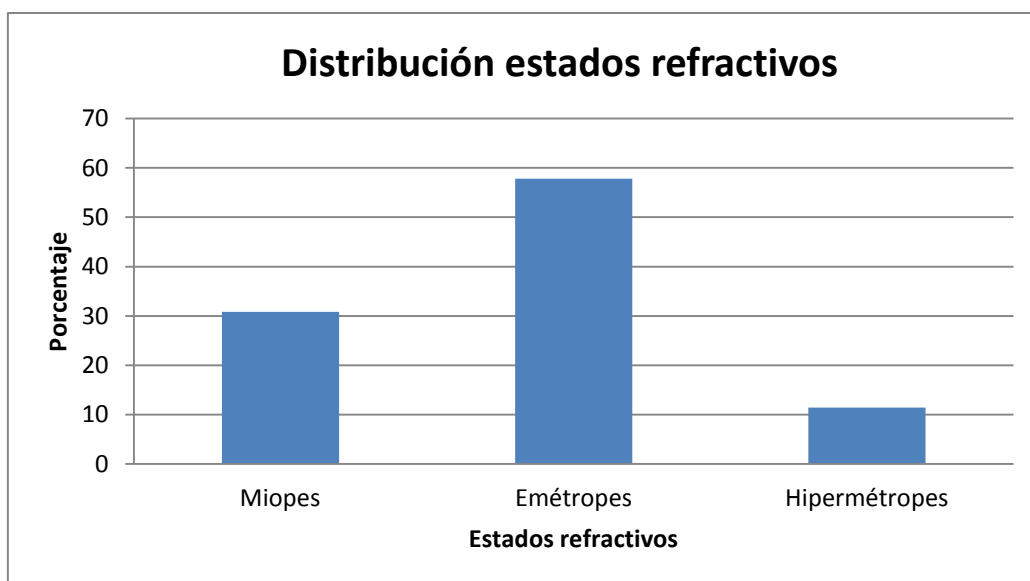


Figura 20: Histograma de la frecuencia de presentación de las ametropías esféricas y de la emetropía del conjunto total de la muestra.

- **Astigmatismo**

Se consideró la presencia de astigmatismo cuando la diferencia entre los dos meridianos examinados de un ojo igualaba o superaba el valor de 0,50 D. Así, de los 720 ojos examinados, en 272 se diagnosticó este astigmatismo (127 ojos derechos y 145 ojos izquierdos), lo que supone un 37,8 % del total. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 8.

En número de individuos astígmata encontrados (considerados como tales aquellos con la media del astigmatismo entre el ojo derecho e izquierdo de un mismo animal $\geq 0,50$ D) fue de 82, lo que supone un 23,3 % del total de animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de astigmatismo en este grupo fue de $|0,66| \pm 0,03$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D.

Tabla 8: Valores de la frecuencia de presentación del astigmatismo $\geq 0,50$ dioptrías en el conjunto total de la muestra. Se muestra la prevalencia tanto por ojo como por individuo.

Astigmatismo $\geq 0,50$ D	Numero casos	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Ojo derecho	127	35,8	$ 0,62 $	0,02	$ 0,50 $	$ 2,00 $
Ojo izquierdo	145	39,7	$ 0,65 $	0,03	$ 0,50 $	$ 2,50 $
Individuo	82	23,3	$ 0,66 $	0,03	$ 0,50 $	$ 1,25 $

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla (aquel en el que el meridiano vertical presenta mayor poder refractor que el horizontal) se encontró en 169 ojos de un total de 272, lo que supone un 62,1 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla (aquel en el que el meridiano vertical presenta menor poder refractor que el horizontal) se encontró en 103 ojos lo que supone un 37,9 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas esta diferencia resultó ser estadísticamente significativa ($p < 0,001$). La refracción media fue de $-0,38 \pm 0,05$ D para el meridiano horizontal y de $-0,19 \pm 0,06$ D para el vertical.

- **Anisometropía:**

Se diagnosticó la presencia de anisometropía cuando la diferencia entre el equivalente esférico de un ojo con respecto al ojo contralateral del mismo individuo era igual o superior a 1,00 D. De este modo, de los 351 animales estudiados con sus dos ojos visuales, tan solo 13 presentaron esta característica, lo cual representa un 3,7 % del total. El valor medio de anisometropía encontrada fue de $|1,36| \pm 0,12$ D con un valor máximo de $|2,25|$ D.

5.2.2. Factores asociados al estado refractivo: Sexo

- Estado de refracción medio:

Machos:

El estado de refracción medio dentro del grupo de los machos se obtuvo en 232 individuos (451 ojos). Su valor medio de refracción y error típico fue de $-0,41 \pm 0,05$ D para el ojo derecho y $-0,36 \pm 0,05$ para el izquierdo.

El estado refractivo medio por animal (media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,38 \pm 0,05$ D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 9 y figura 21.

Hembras:

El estado de refracción medio dentro del grupo de las hembras se obtuvo en 139 hembras (269 ojos). Los valores medios de la refracción y error típico obtenidos fueron de $-0,01 \pm 0,05$ D para el ojo derecho y $+0,01 \pm 0,05$ para el izquierdo.

El estado refractivo medio por animal (media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $+0,01 \pm 0,05$ D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 9 y figura 21.

Tabla 9: Valores del estado de refracción medio de machos y hembras. Se muestra el equivalente esférico en dioptrías tanto por ojo como por individuo.

Refracción media	Num. casos	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
♀ Ojo derecho	132	-0,01	0,05	-2,50	+1,25
♀ Ojo izquierdo	137	+0,01	0,05	-2,75	+1,25
♀ Individuo	130	+0,01	0,05	-2,50	+1,13
♂ Ojo derecho	223	-0,41	0,05	-3,00	+1,00
♂ Ojo izquierdo	228	-0,36	0,05	-3,38	+1,00
♂ Individuo	221	-0,38	0,05	-2,81	+1,00

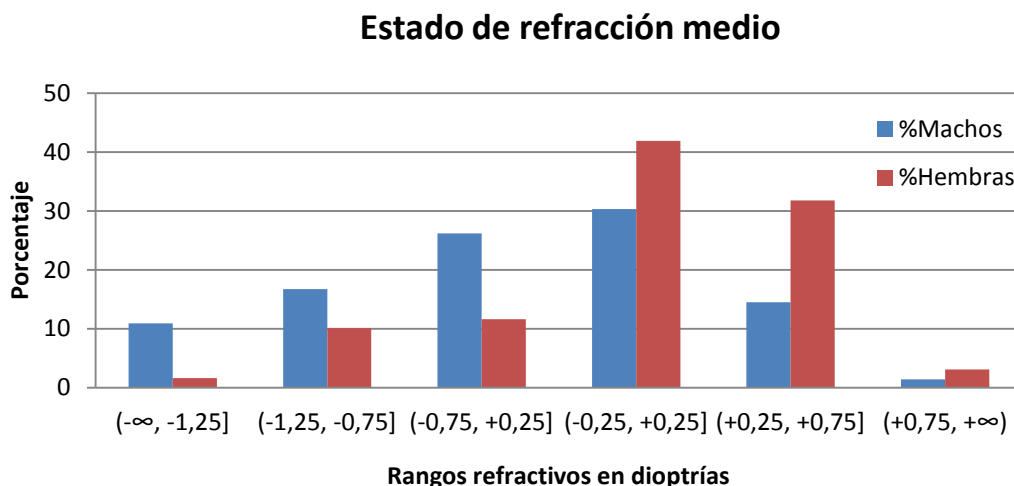


Figura 21: Histograma de la frecuencia de presentación del estado de refracción medio de machos y hembras. Los datos están agrupados en rangos de $\pm 0,50$ dioptrías.

Aplicando el estadístico U de Mann-Whitney, el estado de refracción medio resultó ser estadísticamente diferente entre los machos y las hembras ($p < 0,001$), existiendo mayor número de machos con valores negativos que las hembras.

- **Distribución de estados de refracción:**

Machos:

De los 451 ojos examinados (223 ojos derechos y 228 ojos izquierdos), 193 fueron considerados miopes (100 ojos derechos y 93 ojos izquierdos), lo que supone un 30,8 % del total, con un valor máximo de miopía de -3,38 D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 10 y figura 22.

En cuanto a machos miopes, 85 se consideraron como tales, lo que supone un 38,5 % del total de los 221 examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la miopía dentro de este grupo fue de $-1,12 \pm 0,05$ D con un valor máximo de miopía de -2,81 D.

En lo que concierne a la hipermetropía, 54 ojos fueron considerados hipermétropes (23 ojos derechos y 31 ojos izquierdos), lo que supone un 12,0 % del total de ojos evaluados, con un valor máximo de hipermetropía de +1,00 D.

Con respecto a machos hipermétropes, 20 fueron considerados como tales, lo que supone un 9,0 % del total de individuos examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía dentro de este grupo fue de $+0,66 \pm 0,03$ D con un valor máximo de hipermetropía de +1,00 D.

En cuanto a la emetropía, 204 ojos fueron considerados emétopes (100 ojos derechos y 104 ojos izquierdos) lo que supone un 45,2 % del total de ojos evaluados.

Con respecto a machos emétopes, 116 fueron considerados como tales, lo que supone un 52,5 % del total de individuos evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $-0,02 \pm 0,02$ con un valor mínimo de $-0,44$ D y un valor máximo de $+0,44$ D.

Hembras:

De los 269 ojos examinados (132 ojos derechos y 137 ojos izquierdos), 56 fueron considerados miopes (30 ojos derechos y 26 ojos izquierdos), lo que supone un 20,8 % del total, con un valor máximo de miopía de $-2,75$ D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 10 y figura 22.

En lo concerniente a hembras miopes, 23 se consideraron como tales, lo que supone un 17,7 % del total de animales examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la miopía dentro de este grupo fue de $-0,95 \pm 0,10$ D con un valor máximo de miopía de $-2,50$ D.

En cuanto a la hipermetropía, 49 ojos fueron considerados hipermétropes (29 ojos derechos y 20 ojos izquierdos), lo que supone un 18,2 % del total de los 269 ojos de las hembras evaluadas, con un valor máximo de hipermetropía de $+1,25$ D.

Con respecto a hembras hipermétropes, 20 fueron consideradas como tales, lo que supone un 15,4 % del total de hembras examinadas con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía dentro de este grupo fue de $+0,67 \pm 0,04$ D con un valor máximo de hipermetropía de $+1,13$ D.

En cuanto a la emetropía, 164 ojos fueron considerados emétopes (79 ojos derechos y 91 ojos izquierdos) lo que supone un 61,0 % del total de los 269 ojos evaluados en el grupo de las hembras.

En lo relativo a hembras emétopes, 87 fueron considerados como tales, lo que supone un 66,9 % del total de las hembras evaluadas con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $-0,02 \pm 0,10$ D con un valor mínimo de $-0,44$ D y un valor máximo de $+0,44$ D.

Tabla 10: Valores de la frecuencia de presentación de las ametropías esféricas de machos y hembras. Se muestran los datos por individuo.

Distribución estados refractivos	Num. Animales	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
♀ Miopes	23	17,7	-0,95	0,10	-2,50	-0,50
♀ Hipermétropes	20	15,4	+0,67	0,04	+0,50	+1,13
♀ Emétropes	87	66,9	-0,02	0,10	-0,44	+0,44
♂ Miopes	85	38,5	-1,12	0,05	-2,81	-0,50
♂ Hipermétropes	20	9,0	+0,66	0,03	+0,50	+1,00
♂ Emétropes	116	52,5	-0,02	0,02	-0,44	+0,44

El estadístico exacto de Fisher proporciona una significancia $p < 0,001$, indicando que existe diferencia estadísticamente significativa entre machos y hembras con respecto a la miopía, siendo los primeros más miopes que las segundas. No ocurrió así en el caso de la hipermetropía donde no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre individuos de distinto sexo ($p = 0,664$). Sin embargo las hembras resultaron ser estadísticamente más emétropes que los machos ($p = 0,002$).

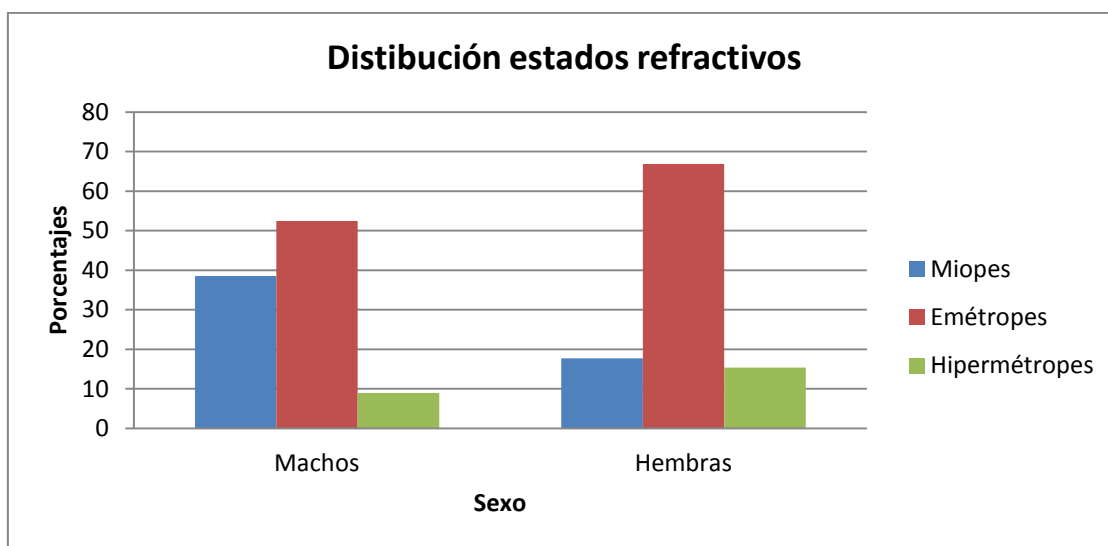


Figura 22: Histograma de la frecuencia de presentación de las ametropías esféricas y de la emetropía de machos y hembras.

- Astigmatismo:

Machos:

De los 451 ojos examinados dentro del grupo de los machos, 173 ojos (78 ojos derechos y 95 ojos izquierdos) presentaron astigmatismo $\geq 0,50$ D lo que supone un 38,4 % del total.

Con respecto a machos astígmata, 58 se diagnosticaron como tales, lo que supone un 26,2 % del total de animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de astigmatismo en este grupo fue de $|0,66| \pm 0,03$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 11.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 113 ojos de un total de 173, lo que supone un 65,3 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en tan solo 60 ojos, lo que supone un 34,7%. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ($p < 0,001$). El valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $-0,31 \pm 0,81$ mientras que el del meridiano vertical fue de $-0,55 \pm 0,98$ D.

Hembras:

De los 269 ojos examinados dentro del grupo de las hembras, 99 ojos (49 ojos derechos y 50 ojos izquierdos) presentaron astigmatismo $\geq 0,50$ D lo que supone un 36,8 % del total.

Con respecto a hembras astígmata, 25 se diagnosticaron como tales, lo que supone un 19,2 % del total de hembras evaluadas con sus dos ojos visuales. Dicho valor tan bajo se explica debido a que en muchos de los casos, cuando el astigmatismo de uno de los ojos igualaba o superaba las 0,50 D, el ojo contralateral permanecía por debajo de dicho valor, haciendo que la media no llegase a la citada media dioptría. El valor medio de astigmatismo en este grupo fue de $|0,69| \pm 0,05$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 11.

Entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 56 ojos de un total de 99, lo que supone un 56,4 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en 43 ojos lo que supone 43,4 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,26$). El valor medio de refracción para el meridiano horizontal fue de $+0,02 \pm 0,74$ D y de $-0,08 \pm 0,71$ D para el meridiano vertical.

Tabla 11: Valores de la frecuencia de presentación del astigmatismo $\geq 0,50$ dioptrías en el conjunto de machos y hembras. Se muestra la prevalencia por individuo.

Astigmatismo \geq 0,50 D	Numero casos	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Hembras	25	19,2	0,69	0,05	0,50	1,25
Machos	58	26,2	0,65	0,03	0,50	2,50
Total	83	23,3	0,66	0,03	0,50	1,25

La prevalencia de los individuos machos astígmata resultó ser significativamente mayor que la de las hembras como indica el estadístico de Fisher ($p = 0,049$)

- **Anisometropía:**

Machos:

De los 221 machos analizados con sus dos ojos visuales, tan solo 8 mostraron un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D, lo que supone un 3,6 % del total. El valor medio de anisometropía encontrado fue de $|1,38| \pm 0,14$ D con un valor máximo de $|2,13|$ D.

Hembras:

De las 130 hembras analizadas con sus dos ojos visuales, 5 de ellas mostraron dicho grado de anisometropía lo que supone un 3,8 % de total. El valor medio de anisometropía entre las hembras fue de $|1,32| \pm 0,24$ D con un valor máximo de $|2,25|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 12.

Tabla 12: Valores de la frecuencia de presentación de la anisometropía $\geq 1,00$ dioptría en machos y hembras.

Anisometropía \geq 1,00 D	Num. casos	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Hembras	5	3,8	1,32	0,24	1,00	2,25
Machos	8	3,6	1,38	0,14	1,00	2,13

5.2.3. Factores asociados al estado refractivo: Edad

- Estado de refracción medio:

Jóvenes:

De los 76 animales evaluados (147 ojos) de edad inferior a 5 años, el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,04 \pm 0,08$ D para el ojo derecho (72 ojos) y $+0,04 \pm 0,07$ para el izquierdo (75 ojos).

El estado refractivo medio por animal fue de $-0,01 \pm 0,07$ D con un valor mínimo de $-2,63$ D y máximo de $+0,75$ D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 13 y figura 23.

Adultos:

De los 206 animales evaluados (402 ojos) con edades comprendidas entre 5 años y 14 años, el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,36 \pm 0,05$ D para el ojo derecho (198 ojos) y $-0,33 \pm 0,05$ para el izquierdo (204 ojos).

El estado refractivo medio por fue de $-0,34 \pm 0,05$ D con un valor mínimo de $-2,81$ D y máximo de $+1,00$ D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 13 y figura 23.

Geriátricos:

De los 76 animales evaluados (145 ojos) de edad superior a 14 años, el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,26 \pm 0,10$ D para el ojo derecho (72 ojos) y $+0,24 \pm 0,11$ para el izquierdo (73 ojos).

El estado refractivo medio por animal fue de $-0,24 \pm 0,10$ D con un valor mínimo de $-2,63$ D y máximo de $+1,13$ D. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 13 y figura 23.

Tabla 13: Valores del estado de refracción medio de jóvenes (≤ 5 años), adultos (5-14 años) y geriátricos (> 14 años). Se muestra el equivalente esférico en dioptrías tanto por ojo como por individuo.

Refracción media	Num. casos	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
(≤ 5) OD	72	-0,03	0,08	-3,00	+0,75
(≤ 5) OI	75	+0,04	0,07	-2,63	+1,00
(≤ 5) Individuo	71	-0,01	0,07	-2,63	+0,75
(5-14] OD	198	-0,36	0,05	-2,88	+1,00
(5-14] OI	204	-0,33	0,05	-3,00	+1,00
(5-14] Individuo	197	-0,34	0,05	-2,81	+1,00
(> 14) OD	72	-0,26	0,10	-2,50	+1,25
(> 14) OI	73	-0,24	0,11	-3,38	+1,25
(> 14) Individuo	70	-0,24	0,10	-2,63	+1,13

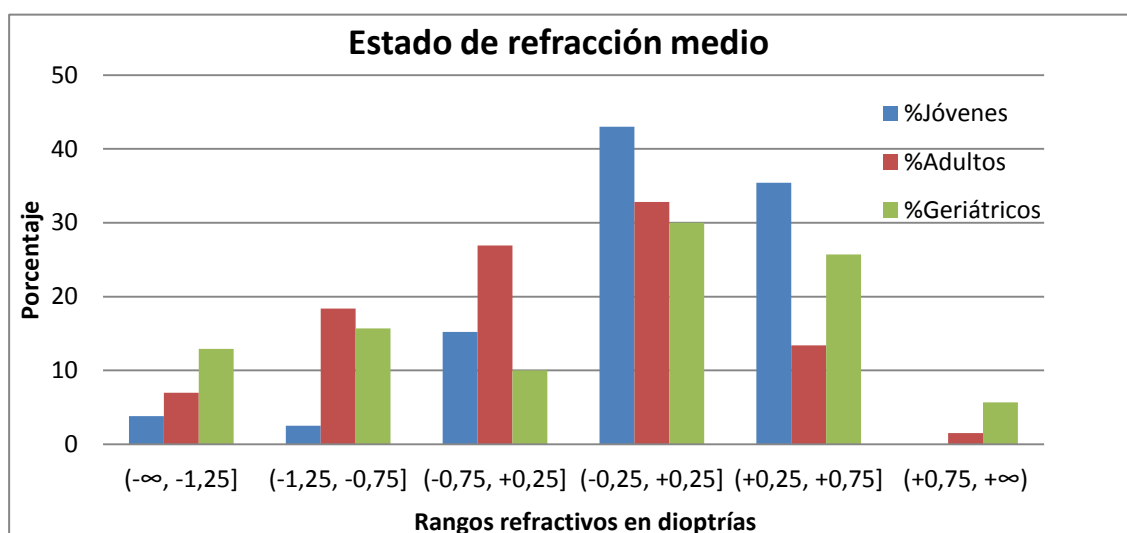


Figura 23: Histograma de la frecuencia de presentación del estado de refracción medio de jóvenes, adultos y geriátricos. Los datos están agrupados e n rangos de $\pm 0,50$ dioptrías.

Aplicando test no paramétricos para muestras independientes, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el estado de refracción medio entre individuos pertenecientes al grupo de los jóvenes y al de los adultos ($p < 0,001$), siendo el estado de refracción medio de estos últimos más tendente a valores negativos que el de los primeros. No ocurrió así sin embargo, entre los jóvenes y los geriátricos y estos y los adultos.

Al realizar una correlación lineal de Spearman con todo el rango de edades, no se observó una correlación estadísticamente significativa entre la edad y el estado de refracción medio.

Sin embargo, si se limita dicha esta correlación hasta los 14 años (inicio de la geriatría), dicha correlación aparece con una alta significación ($p < 0,001$).

- **Distribución de estados de refracción:**

Jóvenes:

De los 147 ojos examinados (72 ojos derechos y 75 ojos izquierdos), 27 fueron considerados miopes (12 ojos derechos y 15 ojos izquierdos), lo que supone un 18,4 % del total, con un valor máximo de miopía de -3,00 D.

En lo concerniente a animales miopes, 10 se consideraron como tales, lo que supone un 14,1 % del total de los 71 jóvenes examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la miopía dentro de este grupo fue de $-1,11 \pm 0,26$ D con un valor máximo de miopía de -2,63 D.

En lo relativo a la hipermetropía, 30 ojos fueron considerados hipermétropes (14 ojos derechos y 16 ojos izquierdos), lo que supone un 20,4 % del total de ojos evaluados, con un valor máximo de hipermetropía de +1,00 D.

Con respecto a animales hipermétropes, 10 fueron considerados como tales, lo que supone un 14,1 % del total de los animales jóvenes examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía dentro de este grupo fue de $+0,61 \pm 0,03$ D con un valor máximo de hipermetropía de +0,75 D.

En cuanto a la emetropía, 90 ojos fueron considerados emétropes (46 ojos derechos y 44 ojos izquierdos) lo que supone un 61,2 % del total de los 147 ojos evaluados.

En lo concerniente a animales jóvenes emétropes, 51 fueron considerados como tales, lo que supone un 71,8 % del total de 71 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $-0,08 \pm 0,04$ con un valor mínimo de -0,38 D y un valor máximo de +0,44 D.

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 14 y figura 24.

Adultos:

De los 402 ojos examinados dentro de los animales adultos, 163 fueron considerados miopes (84 ojos derechos y 79 ojos izquierdos), lo que supone un 40,5 % del total, con un valor máximo de miopía de -3,00 D.

En lo relativo a animales miopes, 72 animales se consideraron como tales, lo que supone un 36,5 % del total de los 197 adultos examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la miopía dentro de este grupo fue de $-1,03 \pm 0,06$ D con un valor máximo de miopía de -2,81 D.

Con respecto a la hipermetropía, 33 ojos fueron considerados hipermétropes (16 ojos derechos y 17 ojos izquierdos), lo que supone un 8,2 % del total de los 402 ojos de los adultos evaluados, con un valor máximo de hipermetropía de +1,00 D.

En cuanto a adultos hipermétropes, 13 fueron considerados como tales, lo que supone un 6,6 % del total de 197 adultos examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía dentro de este grupo fue de $+0,67 \pm 0,05$ D con un valor máximo de hipermetropía de +1,00 D.

En lo que concierne a la emetropía, 206 ojos fueron considerados emétropes (98 ojos derechos y 108 ojos izquierdos) lo que supone un 51,2 % del total de los 402 ojos evaluados en el grupo de los adultos.

Con respecto a animales emétropes, 112 fueron considerados como tales, lo que supone un 56,8 % del total de los 197 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $-0,01 \pm 0,02$ D con un valor mínimo de -0,44 D y un valor máximo de +0,44 D.

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 14 y figura 24.

Geriátricos:

De los 145 ojos examinados dentro de los animales geriátricos, 55 fueron considerados miopes (31 ojos derechos y 24 ojos izquierdos), lo que supone un 37,9 % del total, con un valor máximo de miopía de -3,38 D.

Con respecto a animales miopes, 24 animales fueron consideraron como tales, lo que supone un 34,3 % del total de los 70 animales geriátricos examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la miopía dentro de este grupo fue de $-1,27 \pm 0,13$ D con un valor máximo de miopía de -2,63 D.

En cuanto a la hipermetropía, 35 ojos fueron considerados hipermétropes (19 ojos derechos y 16 ojos izquierdos), lo que supone un 24,1 % del total de los 145 ojos de los animales geriátricos evaluados, con un valor máximo de hipermetropía de +1,25 D.

Con relación a los animales geriátricos hipermétropes, 15 fueron considerados como tales, lo que supone un 21,4 % del total de los 70 geriátricos examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía dentro de este grupo fue de $+0,70 \pm 0,05$ D con un valor máximo de hipermetropía de $+1,13$ D.

En cuanto a la emetropía, 55 ojos fueron considerados emétropes (22 ojos derechos y 33 ojos izquierdos) lo que supone un 37,9 % del total de los 145 ojos evaluados en el grupo de los geriátricos.

Con respecto a animales emétropes, 31 fueron considerados como tales, lo que supone un 44,3 % del total de los 70 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,09 \pm 0,04$ D con un valor mínimo de $-0,38$ D y un valor máximo de $+0,38$ D.

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 14 y figura 24.

Tabla 14: Valores de la frecuencia de presentación de las ametropías esféricas y la emetropía de jóvenes, adultos y geriátricos. Se muestran los datos por individuo.

Refracción media	Num. casos	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
(≤ 5) Miopes	10	14,1	-1,11	0,26	-2,63	-0,50
(≤ 5) Hipermétropes	10	14,1	+0,61	0,03	+0,75	+0,75
(≤ 5) Emétropes	51	71,8	-0,08	0,04	-0,38	-0,38
(5-14] Miopes	72	36,5	-1,03	0,06	-2,81	-0,50
(5-14] Hipermétropes	13	6,6	+0,67	0,05	+0,50	+1,00
(5-14] Emétropes	112	56,8	-0,01	0,02	-0,44	+0,44
(> 14) Miopes	24	34,3	-1,27	0,13	-2,63	-0,50
(> 14) Hipermétropes	15	21,4	+0,70	0,05	+0,50	+1,13
(> 14) Emétropes	31	44,3	+0,09	0,04	-0,38	+0,38

En la miopía, al comparar los diferentes grupos de edades, la Chi-cuadrado de Pearson proporcionó una significancia $p = 0,001$ indicando la existencia de diferencias significativas entre individuos pertenecientes a los diferentes grupos de edades. Dichas diferencias se encuentran tanto entre jóvenes con adultos ($p < 0,001$) como entre jóvenes y geriátricos ($p = 0,029$). En ambos casos tanto los adultos como los geriátricos presentaron mayor prevalencia de miopes que los jóvenes. Sin embargo dichas diferencias dejaron de ser significativas entre los adultos y los geriátricos ($p = 0,504$).

En el caso de la hipermetropía, se observaron diferencias estadísticamente significativas como indica la Chi-cuadrado de Pearson ($p = 0,047$). Analizando los grupos dos a dos, se vio como las diferencias se encuentran exclusivamente entre los adultos y los geriátricos ($p = 0,031$), siendo la prevalencia de hipermétropes más elevada entre éstos últimos. No se encontraron diferencias entre los jóvenes y adultos ni entre los jóvenes y geriátricos ($p = 0,099$ y $p = 0,851$ respectivamente).

Al igual que en el caso anterior, en la emetropía se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de edades como lo indica el estadístico Chi-cuadrado ($p = 0,042$). Analizando los grupos dos a dos se comprobó que las dichas diferencias se encuentran entre los jóvenes y los adultos y jóvenes y geriátricos ($p = 0,036$ y $p = 0,038$ respectivamente) siendo los jóvenes los más emétropes con respecto a los adultos como a los geriátricos.

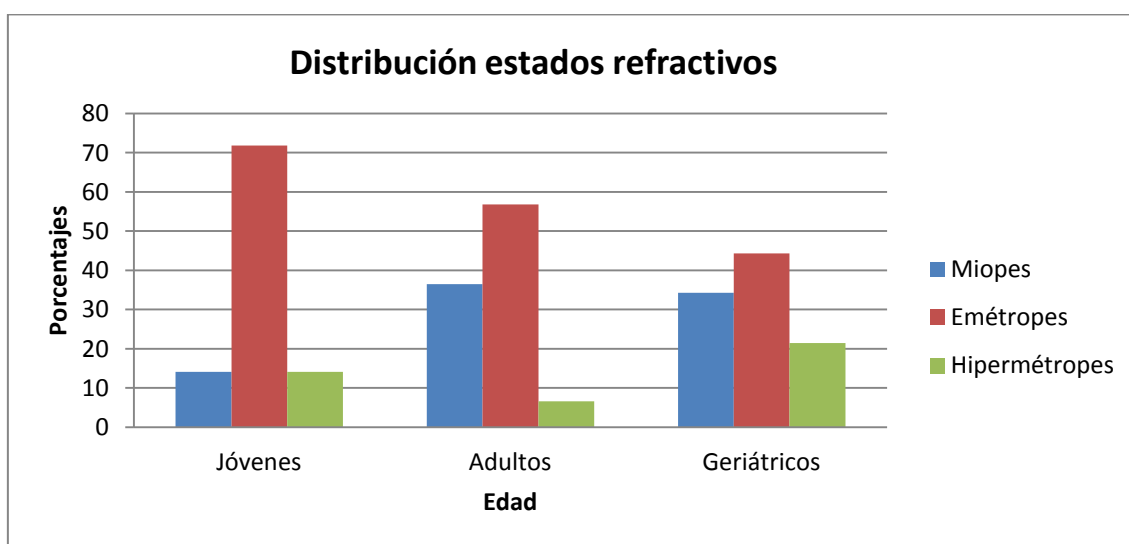


Figura 24: Histograma de la frecuencia de presentación de las ametropías esféricas y de la emetropía de jóvenes, adultos y geriátricos.

- **Astigmatismo:**

Jóvenes:

De los 147 ojos examinados dentro del grupo de los jóvenes, 60 ojos (26 ojos derechos y 34 ojos izquierdos) presentaron astigmatismo $\geq 0,50$ D lo que supone un 40,8 % del total.

El número de jóvenes astigmatas encontrados (considerados como tales aquellos cuyo promedio de astigmatismo entre el ojo derecho e izquierdo de un mismo animal es igual o superior a 0,50 D) fue de 17, lo que supone un 23,9 % del total de 71 animales jóvenes

evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de astigmatismo en este grupo fue de $|0,68| \pm 0,08$ D con un valor máximo de $|2,50|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 35 ojos de un total de 60, lo que supone un 58,3 %, frente a los 25 ojos de astigmatismo en contra de la regla, lo que supone un 41,7 %. Estas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas aplicando los test no paramétricos para muestras emparejadas ($p = 0,563$). Los valores refractivos medios fueron de $+0,06 \pm 0,06$ D para el meridiano horizontal y de $-0,04 \pm 0,67$ D para el meridiano vertical.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 15.

Adultos:

De los 402 ojos examinados dentro del grupo de los adultos, 141 ojos (64 ojos derechos y 77 ojos izquierdos) presentaron astigmatismo $\geq 0,50$ D lo que supone un 35,1 % del total.

El número de adultos astígmatas encontrados (considerados como tales aquellos cuyo promedio de astigmatismo entre el ojo derecho e izquierdo de un mismo animal es igual o superior a 0,50 D) fue de 38, lo que supone un 19,2 % del total de 197 animales adultos evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de astigmatismo en este grupo fue de $|0,66| \pm 0,04$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 96 ojos de un total de 141 lo que supone un 68,1 %, frente a los 45 de astigmatismo en contra de la regla lo que supone un 31,9 %. Los valores refractivos medios fueron de $-0,32 \pm 0,75$ D para el meridiano horizontal y de $-0,57 \pm 0,84$ D para el meridiano vertical. Dichas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ($p < 0,001$) aplicando los test no paramétricos para muestras emparejadas.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 15.

Geriátricos:

De los 145 ojos examinados dentro del grupo de los geriátricos, 67 ojos (35 ojos derechos y 32 ojos izquierdos) presentaron astigmatismo $\geq 0,50$ D lo que supone un 46,2 % del total.

El número de animales astígmatas encontrados (considerados como tales aquellos cuyo promedio de astigmatismo entre el ojo derecho e izquierdo de un mismo animal es igual o superior a 0,50 D) fue de 24, lo que supone un 34,3 % del total de 70 animales jóvenes

evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de astigmatismo en este grupo fue de $|0,67| \pm 0,05$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 36 ojos de un total de 67 lo que supone un 53,7 %, frente a los 31 de astigmatismo en contra de la regla lo que supone un 46,3 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas esta diferencia no resultó ser estadísticamente significativa ($p = 0,438$). La refracción media fue de $-0,14 \pm 0,98$ D para el meridiano horizontal y de $-0,27 \pm 1,14$ D para el vertical.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 15.

Tabla 15: Valores de la frecuencia de presentación del astigmatismo $\geq 0,50$ dioptrías en jóvenes, adultos y geriátricos. Se muestra la prevalencia por individuo.

Astigmatismo \geq 0,5 D	Num. casos	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Jóvenes	17	23,9	0,68	0,08	0,50	2,50
Adultos	38	19,2	0,66	0,04	0,50	1,25
Geriátricos	24	34,3	0,67	0,05	0,50	1,25

La prueba Chi-cuadrado de Pearson no reveló diferencias estadísticamente significativas entre los individuos astígmata entre los grupos de individuos de diferentes edades ($p = 0,223$)

- **Anisometropía:**

Jóvenes:

En el caso de los jóvenes, de los 71 animales con sus dos ojos visuales evaluados, tan solo 1 mostró un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D, lo que supone un 1,4 % del total. El valor de anisometropía encontrado en este caso fue de $|1,00|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 16.

Adultos:

En el caso de las adultos, de los 197 analizados con sus dos ojos visuales, 8 de ellos mostraron dicho grado de anisometropía lo que supone un 4,1 % de total. El valor medio de anisometropía entre las adultos fue de $|1,27| \pm 0,09$ D con un valor máximo de $|1,75|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 16.

Geriátricos:

Entre los geriátricos, se encontraron 4 animales con anisometropía $\geq 1,00$ lo que supone un 5,7 % del total de los 70 animales dentro de este grupo de edad. El valor medio encontrado fue de $|1,62| \pm 0,33$ D con un valor máximo de $|2,25|$ D.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 16.

Tabla 16: Valores de la frecuencia de presentación de la anisometropía $\geq 1,00$ dioptría de jóvenes, adultos y geriátricos.

Anisometropía \geq 1,00 D	Num. casos	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Jóvenes	1	1,4	$ 1,00 $	-	$ 1,00 $	$ 1,00 $
Adultos	8	4,1	$ 1,27 $	0,04	$ 1,00 $	$ 1,75 $
Geriátricos	4	5,7	$ 1,62 $	0,33	$ 1,00 $	$ 2,25 $

5.2.4. Factores asociados al estado refractivo: Raza

Grupo de Cruzados:

- Estado de refracción medio:

De los 66 animales cruzados evaluados (130 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,06 \pm 0,09$ D para el ojo derecho (64 ojos) y $+0,03 \pm 0,08$ para el izquierdo (66 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,02 \pm 0,08$ D con un valor mínimo de $-2,00$ D y máximo de $+1,13$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- Distribución de estados de refracción:

Dentro de los cruzados, se encontraron 31 ojos miopes (18 derechos y 13 izquierdos) lo que supone un 23,8 % del total de los 130 ojos examinados con un valor máximo de miopía de $-2,75$ D.

Sin embargo, tan solo 14 animales con sus dos ojos visuales fueron considerados miopes, lo que supone un 21,9 % del total de cruzados. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-0,98 \pm 0,13$ D con un valor máximo de $-2,00$ D.

En cuanto a la hipermetropía, 37 ojos fueron considerados hipermétropes (20 ojos derechos y 17 izquierdos), lo que supone un 28,5 % del total de los 130 ojos examinados con un valor máximo de hipermetropía de $1,25$ D.

Con respecto a cruzados hipermétropes, 15 fueron considerados como tales, lo que supone un 23,4 % del total de los 64 animales con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía encontrado dentro de este grupo fue de $+0,73 \pm 0,05$ D con un valor máximo de $+1,13$ D.

En cuanto a la emetropía, 62 ojos fueron considerados emétropes (26 ojos derechos y 36 ojos izquierdos) lo que supone un 47,7 % del total de los 130 ojos evaluados.

En lo concerniente a animales emétropes, 35 fueron considerados como tales, lo que supone un 54,7 % del total de los 64 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor

medio de la refracción en este grupo fue de $+0,04 \pm 0,04$ D con un valor mínimo de $-0,38$ D y un valor máximo de $+0,38$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo:**

57 ojos (30 derechos y 27 izquierdos) fueron considerados como astígmatas dentro del grupo de los cruzados, lo que supone un 43,8 % del total de los 130 ojos analizados.

El número de caballos cruzados astígmatas encontrado fue de 16, lo que supone un 25 % del total de los 64 animales cruzados evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,70| \pm 0,07$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 39 ojos de un total de 57, lo que supone un 68,4 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en tan solo 18 ojos, lo que supone un 31,6 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,001$). El valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $+0,01 \pm 0,74$ D mientras que el del meridiano vertical fue de $-0,22 \pm 0,77$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

De los 64 caballos cruzados analizados con sus dos ojos visuales, tan solo 2 de ellos mostraron un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D, lo que supone un 3,1 % del total. El valor de anisometropía encontrado fue de $|1,50|$ D y $|2,25|$ D para cada uno de los casos.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Grupo de Españoles:

- **Estado de refracción medio:**

De los 97 caballos españoles evaluados (189 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,39 \pm 0,07$ D para el ojo derecho (92 ojos) y $-0,25 \pm 0,07$ para el izquierdo (97 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,31 \pm 0,06$ D con un valor mínimo de $-2,81$ D y máximo de $+0,75$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

Dentro de este grupo, se encontraron 80 ojos miopes (42 derechos y 38 izquierdos) lo que supone un 42,3 % del total de los 189 ojos examinados con un valor máximo de miopía de -2,75 D.

Sin embargo, tan solo 14 animales con sus dos ojos visuales fueron considerados miopes, lo que supone un 21,9 % del total de cruzados. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-0,98 \pm 0,13$ D con un valor máximo de -2,00 D.

En cuanto a la hipermetropía, 20 ojos fueron considerados hipermétropes (10 ojos derechos y 10 izquierdos), lo que supone un 10,6 % del total de los 189 ojos examinados con un valor máximo de hipermetropía de +1,00 D.

Con respecto a españoles hipermétropes, 6 fueron considerados como tales, lo que supone un 6,5 % del total de los 92 animales con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía encontrado dentro de este grupo fue de $+0,59 \pm 0,04$ D con un valor máximo de +0,75 D.

En cuanto a la emetropía, 89 ojos fueron considerados emétropes (40 ojos derechos y 49 ojos izquierdos) lo que supone un 47,1 % del total de los 189 ojos evaluados.

Con relación a animales emétropes, 52 fueron considerados como tales, lo que supone un 56,5 % del total de los 92 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $-0,01 \pm 0,03$ D con un valor mínimo de -0,38 D y un valor máximo de +0,44 D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo**

Dentro de este grupo, 77 ojos (41 derechos y 36 izquierdos) fueron considerados como astígmatas, lo que supone un 40,7 % del total de los 189 ojos analizados.

Los individuos astígmatas diagnosticados fueron 24, lo que supone un 26,1 % del total de los 92 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,67| \pm 0,05$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 47 ojos de un total de 77, lo que supone un 61,1 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en 30 ojos, lo que supone un 38,9 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,016$). El valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $-0,24 \pm 0,71$ D mientras que el del meridiano vertical fue de $-0,45 \pm 0,88$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

De los 92 caballos españoles analizados con sus dos ojos visuales, en este caso 4 de ellos mostraron un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D, lo que supone un 4,3 % del total. El valor medio de anisometropía encontrado fue de $|1,34| \pm 0,14$ D con un valor máximo de $|1,75|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Grupo de Árabes:

- **Estado de refracción medio:**

De los 74 animales cruzados evaluados (143 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,31 \pm 0,10$ D para el ojo derecho (71 ojos) y $-0,28 \pm 0,09$ para el izquierdo (72 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,30 \pm 0,10$ D con un valor mínimo de $-2,63$ D y máximo de $+0,63$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

Dentro de este grupo, 44 ojos se diagnosticaron como miopes (24 derechos y 20 izquierdos) lo que supone un 30,8 % del total de los 143 ojos examinados con un valor máximo de miopía de $-3,00$ D.

En cuanto a animales miopes, 19 fueron considerados tales, lo que supone un 27,53 % del total de los 69 árabes analizados con sus dos ojos visuales. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-1,34 \pm 0,16$ D con un valor máximo de $-2,63$ D.

Con respecto a la hipermetropía, 8 ojos fueron considerados hipermétropes (5 ojos derechos y 3 izquierdos), lo que supone un 10,6 % del total de los 143 ojos examinados con un valor máximo de hipermetropía de +0,75 D.

En cuanto a animales hipermétropes, 3 fueron considerados como tales, lo que supone un 4,3 % del total de los 69 animales examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía encontrado dentro de este grupo fue de $+0,58 \pm 0,02$ D con un valor máximo de +0,63 D.

Con relación a la emetropía, 91 ojos fueron considerados emétropes (42 ojos derechos y 49 ojos izquierdos) lo que supone un 66,3 % del total de los 143 ojos evaluados.

En cuanto a animales emétropes, 47 fueron considerados como tales, lo que supone un 68,1 % del total de los 69 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,08 \pm 0,04$ D con un valor mínimo de -0,44 D y un valor máximo de +0,44 D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo**

Se diagnosticaron 47 ojos (20 derechos y 27 izquierdos) astígmatas dentro del grupo de los árabes, lo que supone un 32,9 % del total de los 143 ojos analizados.

El número de individuos astígmatas encontrado fue de 11, lo que supone un 15,9 % del total de los 69 animales examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,63| \pm 0,07$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 26 ojos de un total de 47, lo que supone un 55,3 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en tan solo 21 ojos, lo que supone un 44,7 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,890$). El valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $-0,43 \pm 0,89$ D mientras que el del meridiano vertical fue de $-0,47 \pm 0,95$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

De los 69 individuos árabes analizados con sus dos ojos visuales, 3 de ellos mostraron un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D, lo que supone un 4,3 % del total. El valor medio de anisometropía encontrado fue de $|1,08| \pm 0,08$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Grupo de Anglo-Árabes:

- **Estado de refracción medio:**

De los 25 animales anglo-árabes evaluados (47 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,22 \pm 0,18$ D para el ojo derecho (22 ojos) y $-0,33 \pm 0,17$ para el izquierdo (25 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,25 \pm 0,18$ D con un valor mínimo de $-2,50$ D y máximo de $+0,75$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

Dentro de este grupo, 13 ojos se diagnosticaron como miopes (6 derechos y 7 izquierdos) lo que supone un 27,7 % del total de los 47 ojos examinados con un valor máximo de miopía de $-2,38$ D.

Con respecto a animales miopes, 5 fueron considerados tales, lo que supone un 27,53 % del total de los 22 anglo-árabes analizados con sus dos ojos visuales. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-1,54 \pm 0,33$ D con un valor máximo de $-2,50$ D.

En cuanto a la hipermetropía, 7 ojos fueron considerados hipermétropes (4 ojos derechos y 3 izquierdos), lo que supone un 14,9 % del total con un valor máximo de hipermetropía de $+0,75$ D.

En lo concerniente a animales hipermétropes, 3 fueron diagnosticados como tales, lo que supone un 4,1 % del total de los 22 animales examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía encontrado dentro de este grupo fue de $+0,60 \pm 0,08$ D con un valor máximo de $+0,75$ D.

En cuanto a la emetropía, 27 ojos fueron considerados emétropes (12 ojos derechos y 15 ojos izquierdos) lo que supone un 57,4 % del total de los 47 ojos evaluados.

Con respecto a animales emétopes, 14 fueron considerados como tales, lo que supone un 63,6 % del total de los 22 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,03 \pm 0,07$ D con un valor mínimo de $-0,38$ D y un valor máximo de $+0,44$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo**

15 ojos (7 derechos y 8 izquierdos) fueron considerados como astigmatas dentro del grupo de los cruzados, lo que supone un 31,9 % del total de los 47 ojos analizados.

Se diagnosticaron 8 individuos astigmatas, lo que supone un 25 % del total de los 64 animales cruzados evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,58| \pm 0,03$ D con un valor máximo de $|0,75|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 6 ojos de un total de 15, lo que supone un 40 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en 9 ojos, lo que supone un 60 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,839$). El valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $-0,13 \pm 0,75$ D mientras que el del meridiano vertical fue de $-0,12 \pm 1,03$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

De los 22 individuos analizados en este grupo con sus dos ojos visuales, tan solo 1 presentó un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D, lo que supone un 4,54 % del total. El valor de anisometropía encontrado en este único caso fue de $|1,13|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Grupo de Hispano-Árabes:

- **Estado de refracción medio:**

De los 12 animales Hispano-árabes evaluados (23 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,30 \pm 0,19$ D para el ojo derecho (11 ojos) y $-0,43 \pm 0,24$ para el izquierdo (25 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,27 \pm 0,17$ D con un valor mínimo de $-1,56$ D y máximo de $+0,44$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

Entre los Hispano-Árabes, 7 ojos se diagnosticaron como miopes (3 derechos y 4 izquierdos) lo que supone un 30,4 % del total de los 23 ojos examinados con un valor máximo de miopía de $-2,50$ D.

En cuanto a animales miopes, 3 fueron considerados tales, lo que supone un 27,3 % del total de los 11 Hispano-Árabes analizados con sus dos ojos visuales. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-1,00 \pm 0,29$ D con un valor máximo de $-1,56$ D.

Con relación a la hipermetropía, tan solo 2 ojos fueron considerados hipermétropes (1 ojo derecho y 1 izquierdo), lo que supone un 8,7 % del total de los 23 ojos examinados con un valor máximo de hipermetropía de $+0,63$ D.

En cuanto a animales hipermétropes, ningún animal cumplió el requisito de tener la un estado refractivo promedio de sus dos ojos $\geq +0,50$ D.

Con respecto a la emetropía, 14 ojos fueron considerados emétropes (7 ojos derechos y 7 ojos izquierdos) lo que supone un 60,9 % del total de los 23 ojos evaluados.

En cuanto a animales emétropes, 8 fueron diagnosticados como tales, lo que supone un 72,7 % del total de los 11 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,01 \pm 0,10$ D con un valor mínimo de $-0,31$ D y un valor máximo de $+0,44$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo**

8 ojos (2 derechos y 6 izquierdos) fueron considerados como astigmatas en este grupo, lo que supone un 34,8 % del total de los 23 ojos analizados. Se diagnosticaron 2 individuos astigmatas, lo que supone un 18,2 % del total de los 11 individuos Hispano-Árabes evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,81| \pm 0,31$ D con un valor máximo de $|1,13|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 5 ojos de un total de 8, lo que supone un 62,5 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en 9 ojos, lo que supone un 37,5 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,831$). El valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $-0,47 \pm 0,91$ D mientras que el del meridiano vertical fue de $-0,47 \pm 1,28$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

De los 11 individuos analizados con sus dos ojos visuales, ninguno mostró un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Grupo de Lusitanos:

- **Estado de refracción medio:**

De los 21 animales Lusitanos evaluados (41 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,35 \pm 0,19$ D para el ojo derecho (21 ojos) y $-0,43 \pm 0,22$ para el izquierdo (20 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,41 \pm 0,21$ D con un valor mínimo de $-2,63$ D y máximo de $+0,75$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

Dentro de este grupo, 16 ojos se diagnosticaron como miopes (8 derechos y 8 izquierdos) lo que supone un 39,0 % del total de los 41 ojos examinados con un valor máximo de miopía de $-3,00$ D.

En lo que concierne a individuos miopes, 7 fueron diagnosticados como tales, lo que supone un 35 % del total de los 20 lusitanos evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-1,39 \pm 0,30$ D con un valor máximo de $-2,63$ D.

Con respecto a la hipermetropía, 8 ojos fueron considerados hipermétropes (4 ojos derechos y 4 izquierdos), lo que supone un 19,5 % del total de los 41 ojos examinados con un valor máximo de hipermetropía de +0,88 D.

En cuanto a animales hipermétropes, 4 se consideraron como tales, lo que supone un 20,0 % del total de los individuos examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de hipermetropía encontrado dentro de este grupo fue de $+0,64 \pm 0,06$ D con un valor máximo de +0,75 D.

Con respecto a la emetropía, 17 ojos fueron considerados emétropes (9 ojos derechos y 8 ojos izquierdos) lo que supone un 41,5 % del total de los 41 ojos evaluados.

En cuanto a individuos emétropes, 9 fueron considerados como tales, lo que supone un 45,0 % del total de lusitanos evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $-0,10 \pm 0,08$ D con un valor mínimo de -0,44 D y un valor máximo de +0,44 D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo**

11 ojos (6 derechos y 5 izquierdos) fueron considerados como astígmatas dentro del grupo de los lusitanos, lo que supone un 26,8 % del total de los 41 ojos analizados.

Se diagnosticaron 5 individuos astígmatas, lo que supone un 25,0 % del total de los 20 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,65| \pm 0,10$ D con un valor máximo de $|1,00|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 6 ojos de un total de 11, lo que supone un 54,5%, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente 5 ojos, lo que supone un 45,5 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,330$). El valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $-0,18 \pm 0,60$ D mientras que el del meridiano vertical fue de $-0,45 \pm 1,10$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

De los 20 animales evaluados con sus dos ojos visuales en este grupo, tan solo 1 de ellos mostró un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D, lo que supone un 5 % del total. El valor de anisometropía encontrado en este único caso fue de $|1,00|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Centro-Europeos:

- **Estado de refracción medio:**

De los 18 animales centro-europeos evaluados (35 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,29 \pm 0,19$ D para el ojo derecho (18 ojos) y $-0,39 \pm 0,22$ para el izquierdo (17 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,33 \pm 0,17$ D con un valor mínimo de $-2,31$ D y máximo de $+0,38$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

Dentro de este grupo, 13 ojos se diagnosticaron como miopes (8 derechos y 5 izquierdos) lo que supone un 37,1 % del total de los 35 ojos examinados con un valor máximo de miopía de $-3,38$ D.

En cuanto a individuos miopes, 5 fueron considerados tales, lo que supone un 29,4 % del total de los 17 centro-europeos evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-1,19 \pm 0,28$ D con un valor máximo de $-2,31$ D.

Con relación a la hipermetropía, tan solo el ojo izquierdo de un animal se diagnosticó como hipermetrope, con un valor de $+0,50$ D, mientras que el ojo contralateral presentó un valor de $+0,25$ D. El promedio de sus dos ojos fue de $+0,38$ D (por debajo de las $+0,50$ D) razón por la cual el individuo en conjunto no se consideró como hipermetrope.

Con respecto a la emetropía, 21 ojos fueron considerados emétopes (10 ojos derechos y 11 ojos izquierdos) lo que supone un 66,0 % del total de los 35 ojos evaluados.

En cuanto a individuos emétopes, 12 fueron considerados como tales, lo que supone un 70,6 % del total de los 17 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,03 \pm 0,07$ D con un valor mínimo de $-0,38$ D y un valor máximo de $+0,38$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo**

9 ojos (5 derechos y 4 izquierdos) fueron considerados como astígmatas dentro del grupo de los cruzados, lo que supone un 25,7 % del total de los 35 ojos analizados.

4 individuos fueron diagnosticados como astígmatas, lo que supone un 23,5 % del total de los 17 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,72| \pm 0,14$ D con un valor máximo de $|1,13|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 8 ojos de un total de 9, lo que supone un 88,9 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en tan solo 1 ojo, lo que supone un 11,1 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas estas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,020$). El valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $-0,50 \pm 0,83$ D mientras que el del meridiano vertical fue de $-1,13 \pm 1,37$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

De los 17 animales evaluados con sus dos ojos visuales, un animal presentó un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D, lo que supone un 5,9 % del total. El valor encontrado fue de $|2,13|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Mestizo de razas:

- **Estado de refracción medio:**

De los 26 animales evaluados dentro de este grupo (52 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,33 \pm 0,10$ D para el ojo derecho (26 ojos) y $-0,37 \pm 0,12$ para el izquierdo (26 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,35 \pm 0,10$ D con un valor mínimo de $-1,13$ D y máximo de $+0,63$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

Con respecto a la miopía, 27 ojos se diagnosticaron como miopes (12 derechos y 15 izquierdos) lo que supone un 51,9 % del total de los 52 ojos examinados con un valor máximo de miopía de -1,50 D.

En cuanto a animales miopes, 13 fueron considerados tales, lo que supone un 50,0 % del total. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-0,81 \pm 0,05$ D con un valor máximo de -1,13 D.

Con respecto a la hipermetropía, 4 ojos fueron considerados hipermétropes (1 ojos derechos y 3 izquierdos), lo que supone un 7,7 % del total de los 52 ojos examinados con un valor máximo de hipermetropía de +0,75 D.

En cuanto a individuos hipermétropes, tan solo 1 se diagnosticó como tal (con un valor de +0,62 D), lo que supone un 3,8 % del total de individuos examinados con sus dos ojos visuales en este grupo.

En lo relativo a la emetropía, 21 ojos fueron considerados emétopes (13 ojos derechos y 8 ojos izquierdos) lo que supone un 40,4 % del total de los 52 ojos evaluados.

En cuanto a animales emétopes, 12 fueron considerados como tales, lo que supone un 46,2 % del total de los 26 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,07 \pm 0,08$ D con un valor mínimo de -0,38 D y un valor máximo de +0,38 D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo**

16 ojos (8 derechos y 8 izquierdos) fueron considerados como astígmatas en este grupo, lo que supone un 30,8 % del total de los 52 ojos analizados.

Se diagnosticaron 2 individuos astígmatas, lo que supone un 7,7 % del total de los 26 animales cruzados evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,56| \pm 0,06$ D con un valor máximo de $|0,63|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 8 ojos de un total de 16, lo que supone exactamente un 50 %, mientras que el astigmatismo en contra de la regla estuvo presente en los otros 8 ojos, lo que supone el otro 50 %. En este caso no existen diferencias por lo que no se aplicó ninguna prueba estadística. El

valor medio de la refracción del meridiano horizontal fue de $-0,36 \pm 0,70$ D mientras que el del meridiano vertical fue de $-0,36 \pm 0,59$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

Dentro de este grupo, un individuo presentó un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D del total de los 26 animales con sus dos ojos visuales, lo que supone un 3,8 % del total. El valor encontrado en este caso fue $|1,00|$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Grupo de Ponis:

- **Estado de refracción medio:**

De los 14 ponis evaluados (28 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,04 \pm 0,17$ D para el ojo derecho (14 ojos) y $-0,02 \pm 0,19$ para el izquierdo (14 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,03 \pm 0,17$ D con un valor mínimo de $-1,00$ D y máximo de $+0,75$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

En lo relativo a la miopía, 9 ojos se diagnosticaron como miopes (5 derechos y 4 izquierdos) lo que supone un 32,1 % del total de los 28 ojos examinados con un valor máximo de miopía de $-1,25$ D.

En cuanto a individuos miopes, 4 fueron considerados tales, lo que supone un 28,6 % del total. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-0,89 \pm 0,05$ D con un valor máximo de $-1,00$ D.

Con respecto a la hipermetropía, 9 ojos fueron considerados hipermétropes (4 ojos derechos y 5 izquierdos), lo que supone un 32,1% del total de los 28 ojos examinados con un valor máximo de hipermetropía de $+0,75$ D.

En cuanto a individuos hipermétropes, 5 se diagnosticaron como tales, lo que supone un 35,7 % del total de individuos examinados con sus dos ojos visuales.

En lo concerniente a la emetropía, 10 ojos fueron considerados emétopes (5 ojos derechos y 5 ojos izquierdos) lo que supone un 35,7 % del total de los 28 ojos evaluados.

En cuanto a animales emétopes, 5 fueron considerados como tales, lo que supone un 35,7 % del total de los 14 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,03 \pm 0,13$ D con un valor mínimo de $-0,38$ D y un valor máximo de $+0,38$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo:**

14 ojos (7 derechos y 7 izquierdos) fueron considerados como astígmatas dentro del grupo de los ponis, lo que supone un 50,0 % del total de los 28 ojos analizados con un valor máximo de 1,25 D.

4 individuos fueron diagnosticados como astígmatas, lo que supone un 28,6 % del total de los 14 animales evaluados con sus dos ojos visuales. El valor medio encontrado dentro de este grupo fue de $|0,75| \pm 0,18$ D con un valor máximo de $|1,25|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 12 ojos de un total de 14 lo que supone un 85,7 %, frente a los 2 ojos de astigmatismo en contra de la regla lo que supone un 14,3 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas esta diferencia resultó ser estadísticamente significativa ($p = 0,018$). La refracción media fue de $+0,39 \pm 0,63$ D para el meridiano horizontal y de $-0,09 \pm 0,67$ D para el vertical.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

En este grupo, ningún animal presentó un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Grupo del burro:

- **Estado de refracción medio:**

De los 16 burros analizados (32 ojos), el estado de refracción medio \pm error típico fue de $-0,10 \pm 0,22$ D para el ojo derecho (16 ojos) y $-0,10 \pm 0,22$ para el izquierdo (16 ojos).

El estado refractivo medio por animal (la media aritmética de la refracción de ambos ojos) fue de $-0,10 \pm 0,21$ D con un valor mínimo de $-2,50$ D y máximo de $+1,00$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 17 y figura 25.

- **Distribución de estados de refracción:**

En lo relativo a la miopía, 9 ojos se diagnosticaron como miopes (4 derechos y 5 izquierdos) lo que supone un 28,1 % del total de los 32 ojos examinados con un valor máximo de miopía de $-2,50$ D.

En cuanto a individuos miopes, 4 fueron considerados tales, lo que supone un 25,0 % del total. El valor medio de miopía dentro de este grupo fue de $-1,22 \pm 0,44$ D con un valor máximo de $-2,50$ D.

Con respecto a la hipermetropía, 7 ojos fueron considerados hipermétropes (3 ojos derechos y 4 izquierdos), lo que supone un 21,9 % del total de los 32 ojos examinados con un valor máximo de hipermetropía de $+1,25$ D.

Con respecto a individuos hipermétropes, 3 se diagnosticaron como tales, lo que supone un 18,8 % del total de individuos examinados con sus dos ojos visuales.

En cuanto a la emetropía, 16 ojos fueron considerados emétropes (9 ojos derechos y 7 ojos izquierdos) lo que supone un 50,0 % del total de los 32 ojos evaluados.

En lo que concierne a animales emétropes, 9 se diagnosticaron como tales, lo que supone un 56,3 % del total de los 16 individuos examinados con sus dos ojos visuales. El valor medio de la refracción en este grupo fue de $+0,11 \pm 0,11$ D con un valor mínimo de $-0,38$ D y un valor máximo de $+0,44$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la figura 26 y tabla 18.

- **Astigmatismo**

18 ojos (6 derechos y 12 izquierdos) fueron considerados como astígmatas en el grupo de los burros, lo que supone un 50 % del total de los 32 ojos analizados con un valor máximo de astigmatismo de 1,25 D. 7 individuos fueron diagnosticados como astígmatas, lo que supone un 43,8 % del total de los 16 animales evaluados con sus dos ojos visuales.

El valor medio de astigmatismo encontrado dentro de este grupo fue de $|0,63| \pm 0,09$ D con un valor máximo de $|1,13|$ D.

De entre los ojos con astigmatismo $\geq 0,50$ D, el astigmatismo a favor de regla estuvo presente en 12 ojos de un total de 18 lo que supone un 66,7 %, frente a los 6 de astigmatismo en contra de la regla lo que supone un 33,3 %. Aplicando test no paramétricos para muestras emparejadas esta diferencia no resultó ser estadísticamente significativa ($p = 0,101$). La refracción media fue de $-0,07 \pm 1,11$ D para el meridiano horizontal y de $-0,33 \pm 1,06$ D para el vertical.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 19.

- **Anisometropía:**

En este grupo, ningún animal presentó un grado de anisometropía $\geq 1,00$ D.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 20.

Tabla 17: Valores del estado de refracción medio expresado en dioptrías de los diferentes grupos raciales analizados así como del burro. Se muestran los datos por individuo.

Refracción media	Num. animales	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Cruzados	64	-0,02	0,08	-2,00	+1,13
Españoles	92	-0,32	0,06	-2,81	+0,75
Árabes	69	-0,30	0,10	-2,63	+0,63
Anglo-Árabe	22	-0,25	0,18	-2,50	+0,75
Hispano-Árabe	11	-0,26	0,17	-1,56	+0,44
Lusitano	20	-0,40	0,21	-2,63	+0,75
Centro-Europeo	17	-0,33	0,17	-2,31	+0,38
Poni	14	-0,03	0,17	-1,00	+0,75
Otras razas	26	-0,35	0,10	-1,13	+0,63
Burro	16	-0,10	0,21	-2,50	+1,00

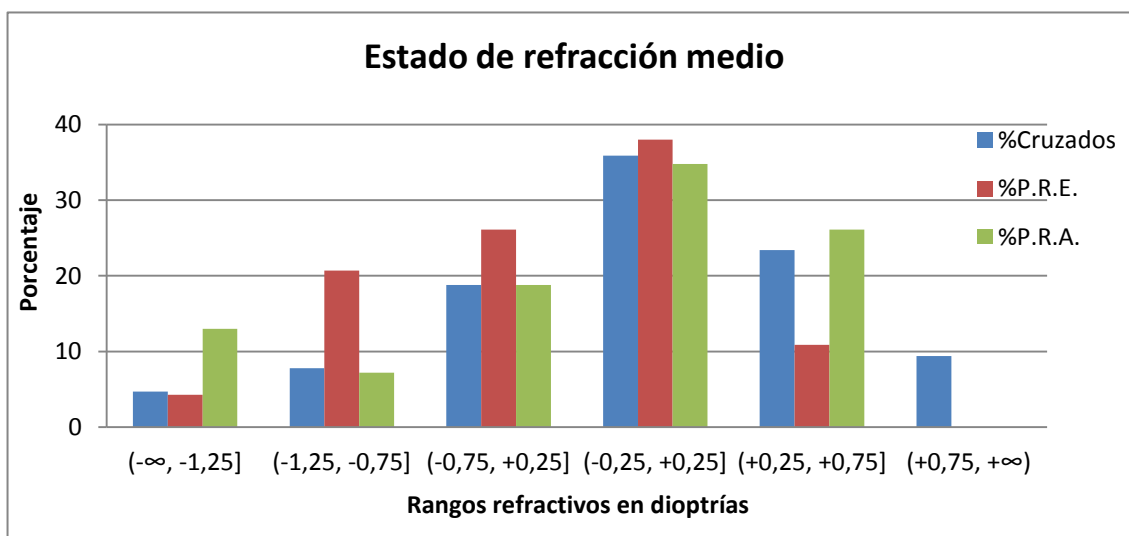


Figura 25: Histograma del estado de refracción medio del Pura Raza Español, Pura Raza Árabe y del grupo del Cruzado.

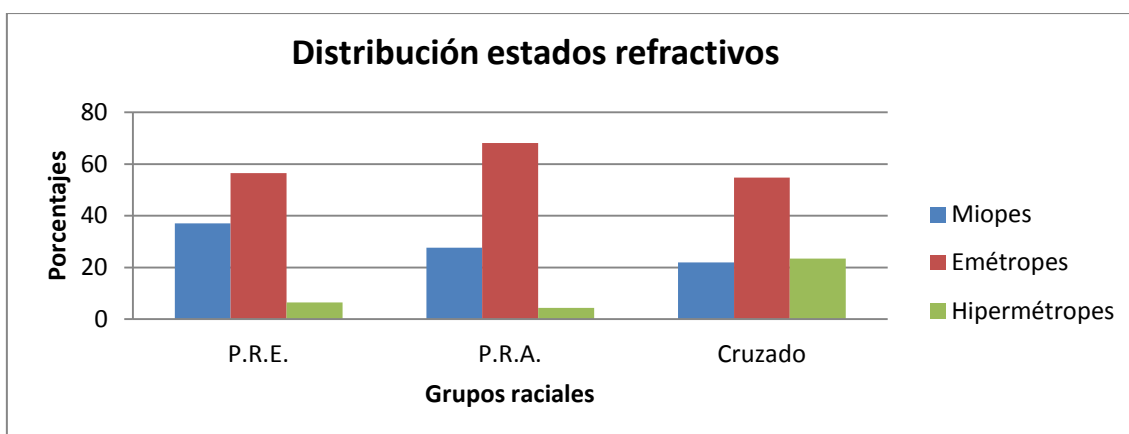


Figura 26: Frecuencia de presentación de las ametropías esféricas y la emetropía del grupo del Pura Raza Español, del Pura Raza Árabe y del grupo del Cruzado

Tabla 18: Frecuencia de presentación de las ametropías esféricas y la emetropía de todos los grupos raciales analizados incluido el grupo del burro.

Estados refractivos	Num. casos	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Cruzados						
Miopes	14	21,9	-0,97	0,13	-2,00	-0,50
Hipermetropes	15	23,4	0,73	0,05	+0,50	+1,13
Emétropes	35	54,7	0,03	0,04	-0,38	+0,38
Españoles						
Miopes	34	37,0	-0,94	0,08	-2,81	-0,50
Hipermetropes	6	6,5	0,59	0,04	0,50	+0,75
Emétropes	52	56,5	-0,01	0,03	-0,38	+0,44
Árabes						
Miopes	19	27,6	-1,37	0,16	-2,63	-0,50
Hipermetropes	3	4,3	0,58	0,02	+0,56	+0,63
Emétropes	47	68,1	+0,08	0,04	-0,44	+0,44
Anglo-Árabe						
Miopes	5	22,7	-1,54	0,32	-2,50	-0,69
Hipermetropes	3	13,6	+0,60	0,08	+0,50	+0,75
Emétropes	14	63,6	+0,02	0,07	-0,38	+0,44
Hispano-Árabe						
Miopes	3	27,3	-1,00	0,28	-1,56	-0,63
Hipermetropes	-	-	-	-	-	-
Emétropes	8	72,7	+0,01	0,10	-0,31	+0,44
Lusitano						
Miopes	7	35	-1,39	0,30	-2,63	-0,50
Hipermetropes	4	20	+0,64	0,06	+0,50	+0,75
Emétropes	9	45	-0,10	0,08	-0,44	+0,44
Centro-Europeo						
Miopes	5	29,4	-1,19	0,28	-2,31	-0,81
Hipermetropes	-	-	-	-	-	-
Emétropes	12	70,6	+0,03	0,07	-0,38	+0,38
Ponis						
Miopes	4	28,6	-0,89	0,05	-1,00	-0,75
Hipermetropes	5	35,7	+0,60	0,05	+0,50	+0,75
Emétropes	5	35,7	+0,03	0,13	-0,38	+0,38
Otras razas						
Miopes	13	50	-0,81	0,05	-1,13	-0,50
Hipermetropes	1	3,8	+0,63	-	+0,63	+0,63
Emétropes	12	46,2	+0,07	0,08	-0,38	+0,38
Burros						
Miopes	4	25	-1,21	0,44	-2,50	-0,50
Hipermetropes	3	18,8	+0,75	0,13	+0,63	+1,00
Emétropes	9	56,2	+0,11	0,11	-0,38	+0,44

.Tabla 19: Valores de la frecuencia de presentación del astigmatismo $\geq 0,50$ dioptrías de todos los grupos raciales analizados incluido el grupo del burro. Se muestra la prevalencia por individuo.

Astigmatismo \geq 0,50 D	Numero animales	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Cruzados	16	25	0,70	0,07	0,50	1,25
Españoles	24	26,1	0,67	0,05	0,50	1,25
Árabes	11	15,9	0,63	0,07	0,50	1,25
Anglo-Árabe	8	36,4	0,57	0,03	0,50	0,75
Hispano-Árabe	2	18,2	0,81	0,31	0,50	1,13
Lusitano	5	25	0,65	0,10	0,50	1,00
Centro-Europeo	4	23,5	0,72	0,14	0,50	1,13
Poni	4	28,6	0,75	0,18	0,50	1,25
Otras razas	2	7,7	0,56	0,06	0,50	0,63
Burro	7	43,8	0,63	0,09	0,50	1,25

Tabla 20: Valores de la frecuencia de presentación de la anisometropía $\geq 1,00$ dioptría en los grupos raciales analizados incluido el grupo del burro.

Anisometropía \geq 1,00 D	Numero animales	%	Media	E.T.	Mínimo	Máximo
Cruzados	2	3,1	1,88	0,38	1,50	2,25
Españoles	4	4,3	1,34	0,14	1,13	1,75
Árabes	3	4,3	1,08	0,08	1,00	1,25
Anglo-Árabe	1	4,5	1,13	-	-	-
Hispano-Árabe	0	-	-	-	-	-
Lusitano	1	5	1,00	-	-	-
Centro-Europeo	1	5,9	2,13	-	-	-
Poni	0	-	-	-	-	-
Mestizo de razas	1	3,8	1,00	-	-	-
Burro	0	-	-	-	-	-

Aplicando la prueba de Kruskal-Wallis, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el estado de refracción medio entre los tres grupos raciales considerados para esta prueba ($p = 0,009$). Analizando los grupos por parejas, el estadístico U de Mann-Whitney reveló que el estado de refracción medio resultó ser estadísticamente diferente entre los grupos de los animales cruzados con respecto a los españoles ($p = 0,002$), siendo el estado de refracción medio de este último más tendente a valores negativos que el primero. A pesar de

que el grupo de los cruzados con respecto al de los árabes no mostró diferencias estadísticamente significativas, se observó una tendencia hacia valores negativos del árabe con respecto al cruzado que podría ser confirmada con mayores números de muestra ($p = 0,090$).

Desde el punto de vista cualitativo, en cuanto a la distribución de los estados de refracción encontramos lo siguiente:

En cuanto a la miopía, la prueba de Chi-Cuadrado de Pearson no reveló diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los grupos raciales estudiados, aunque se observó una marcada tendencia hacia la miopía del grupo del Pura Raza Español con respecto al grupo del cruzado ($p = 0,053$).

En el caso de la hipermetropía, la prueba Chi-Cuadrado de Pearson sí reveló diferencias estadísticamente significativas entre los grupos raciales estudiados. Estas diferencias se hallaron tanto entre el grupo del Pura Raza Español con respecto al grupo del cruzado ($p = 0,004$), como entre el grupo del Pura Raza Árabe con respecto al cruzado ($p = 0,002$). En ambos casos la prevalencia de hipermétropes fue mayor en el grupo de cruzados que en el de españoles y árabes.

En cuanto al astigmatismo $\geq 0,50$ D, aplicando las mismas pruebas no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tres grupos raciales analizados ($p = 0,882$).

5.3. PROBABILIDAD-RIESGO DE PADECER UNA AMETROPÍA:

Si realizamos modelos de regresión logística binaria, tomando como variables dependientes las variables refractivas analizadas, y como independientes los factores de riesgo que del análisis bivariante resultan con influencia significativa en cada caso, obtenemos un modelo predictivo que nos informa de la probabilidad o riesgo de padecer una ametropía al que está sometido cada uno de los grupos de riesgo considerados.

Comenzando con la miopía como variable dependiente y como independientes las que han resultado estadísticamente significativas en el análisis bivariante, es decir, el sexo y la edad, obtenemos que los animales machos presentan mayor riesgo de padecer miopía que las hembras (OR: 3,69 [1,83-7,48] $p < 0,001$). Por otro lado, los animales tanto adultos (OR: 4,28 [1,83-9,99] $p = 0,001$) como geriátricos (OR: 3,87 [1,41-10,65] $p = 0,009$) presentan mayor riesgo de padecer miopía que los jóvenes ($p = 0,003$).

Tomando la hipermetropía como variable dependiente y como independientes las que han resultado estadísticamente significativas en el análisis bivariante, es decir, la raza y el sexo obtenemos que los animales cruzados presentan mayor riesgo de padecer hipermetropía que los árabes (OR: 7,52 [1,99-28,42] $p = 0,003$). De igual modo, los cruzados presentan mayor riesgo de padecer hipermetropía que los españoles (OR: 4,63 [1,61-13,35] $p = 0,002$).

Considerando por último la emetropía como variable dependiente y como independientes las que han resultado estadísticamente significativas en el análisis bivariante, es decir, la edad y el sexo obtenemos que los animales jóvenes presentan mayor probabilidad de ser emétopes que los geriátricos (OR: 3,01 [1,33-7,17] $p = 0,025$). De igual modo, las hembras presentan mayor probabilidad de ser emétopes que los machos (OR: 2,78 [1,52-5,08] $p = 0,001$).

En cuanto al astigmatismo, de nuestros resultados se obtiene que solamente el sexo ha sido el factor de riesgo que ha resultado estadísticamente influyente para esta variable por lo que no se aplica el modelo de regresión logística. Se asume por tanto que los machos en general presentan mayor probabilidad de presentar astigmatismo que las hembras.

La anisometropía no resultó estar influenciada estadísticamente por ninguno de los factores de riesgo considerados.

ANEXO: Resumen de los parámetros refractivos obtenidos en cada grupo analizado.

Tabla 21: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados en el conjunto total de la muestra.

Conjunto total de animales						
	GLOBAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,24 ± 0,39 D	-0,38 ± 0,05 D	+0,01 ± 0,05 D	-0,03 ± 0,08 D	-0,32 ± 0,05 D	-0,25 ± 0,10 D
Meridiano Vertical OD	-0,28 ± 0,04 D	-0,44 ± 0,05 D	-0,01 ± 0,05 D	-0,05 ± 0,08 D	-0,40 ± 0,05 D	-0,27 ± 0,11 D
Meridiano Horizontal OI	-0,17 ± 0,04 D	-0,29 ± 0,05 D	+0,03 ± 0,06 D	+0,09 ± 0,08 D	-0,27 ± 0,05 D	-0,19 ± 0,11 D
Meridiano Vertical OI	-0,28 ± 0,04 D	-0,43 ± 0,06 D	-0,03 ± 0,06 D	-0,02 ± 0,08 D	-0,39 ± 0,05 D	-0,29 ± 0,12 D
Equivalente- esférico OD	-0,26 ± 0,38 D	-0,41 ± 0,05 D	-0,01 ± 0,05 D	-0,04 ± 0,08 D	-0,36 ± 0,05 D	-0,26 ± 0,10 D
Equivalente- esférico OI	-0,22 ± 0,04 D	-0,36 ± 0,05 D	+0,01 ± 0,05 D	+0,04 ± 0,07 D	-0,33 ± 0,05 D	-0,24 ± 0,11 D
Equivalente- esférico ODI	-0,24 ± 0,38 D	-0,38 ± 0,05 D	0,01 ± 0,05 D	-0,01 ± 0,07 D	-0,34 ± 0,05 D	-0,24 ± 0,10 D
Astigmatismo OD	0,28 ± 0,02 D	0,28 ± 0,02 D	0,29 ± 0,03 D	0,23 ± 0,03 D	0,26 ± 0,02 D	0,38 ± 0,05 D
Astigmatismo OI	0,32 ± 0,19 D	0,33 ± 0,02 D	0,29 ± 0,03 D	0,36 ± 0,05 D	0,30 ± 0,02 D	0,34 ± 0,05 D
Astigmatismo ODI	0,30 ± 0,14 D	0,31 ± 0,02 D	0,29 ± 0,02	0,30 ± 0,03 D	0,28 ± 0,02 D	0,36 ± 0,03 D
Anisometropía	0,28 ± 0,02 D	0,28 ± 0,02 D	0,27 ± 0,03 D	0,22 ± 0,03 D	0,27 ± 0,02 D	0,33 ± 0,04 D

Tabla 22: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo de los Cruzados.

CRUZADOS						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	+0,02 ± 0,09 D	-0,16 ± 0,14 D	+0,19 ± 0,09 D	+0,04 ± 0,12 D	-0,06 ± 0,16 D	+0,15 ± 0,16 D
Meridiano Vertical OD	-0,09 ± 0,10 D	-0,30 ± 0,16 D	+0,13 ± 0,10 D	+0,04 ± 0,12 D	-0,33 ± 0,16 D	+0,11 ± 0,17 D
Meridiano Horizontal OI	+0,09 ± 0,09 D	-0,07 ± 0,13 D	+0,26 ± 0,12 D	+0,29 ± 0,14 D	+0,01 ± 0,14 D	+0,24 ± 0,14 D
Meridiano Vertical OI	-0,03 ± 0,09 D	-0,17 ± 0,15 D	+0,11 ± 0,09 D	+0,18 ± 0,16 D	-0,12 ± 0,13 D	+0,04 ± 0,18 D
Equivalente-esférico OD	-0,06 ± 0,09 D	-0,23 ± 0,15 D	+0,11 ± 0,10 D	+0,04 ± 0,12 D	-0,23 ± 0,16 D	+0,13 ± 0,16 D
Equivalente-esférico OI	+0,03 ± 0,08 D	-0,12 ± 0,13 D	+0,19 ± 0,09 D	+0,23 ± 0,14 D	-0,06 ± 0,13 D	+0,14 ± 0,15 D
Equivalente-esférico ODI	-0,02 ± 0,08 D	-0,18 ± 0,13 D	+0,14 ± 0,08 D	+0,07 ± 0,08 D	-0,14 ± 0,14 D	+0,13 ± 0,15 D
Astigmatismo OD	0,28 ± 0,04 D	0,30 ± 0,05 D	0,26 ± 0,05 D	0,00 ± 0,00 D	0,29 ± 0,06 D	0,31 ± 0,05 D
Astigmatismo OI	0,31 ± 0,05 D	0,31 ± 0,07 D	0,31 ± 0,07 D	0,25 ± 0,08 D	0,30 ± 0,07 D	0,35 ± 0,10 D
Astigmatismo ODI	0,30 ± 0,05 D	0,31 ± 0,05 D	0,29 ± 0,05 D	0,15 ± 0,04 D	0,30 ± 0,05 D	0,34 ± 0,06 D
Anisometropía	0,30 ± 0,05 D	0,20 ± 0,05 D	0,39 ± 0,07 D	0,19 ± 0,05 D	0,29 ± 0,06 D	0,26 ± 0,05 D

Tabla 23: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo del Pura Raza Español.

PURA RAZA ESPAÑOL						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,35 ± 0,07 D	-0,37 ± 0,08 D	-0,22 ± 0,13 D	+0,04 ± 0,10 D	-0,57 ± 0,08 D	-0,35 ± 0,21 D
Meridiano Vertical OD	-0,43 ± 0,08 D	-0,46 ± 0,09 D	-0,29 ± 0,16 D	-0,04 ± 0,11 D	-0,63 ± 0,10 D	-0,56 ± 0,21 D
Meridiano Horizontal OI	-0,20 ± 0,07 D	-0,20 ± 0,08 D	-0,18 ± 0,13 D	+0,19 ± 0,09 D	-0,44 ± 0,09 D	-0,21 ± 0,17 D
Meridiano Vertical OI	-0,30 ± 0,07 D	-0,34 ± 0,09 D	-0,14 ± 0,14 D	-0,04 ± 0,12 D	-0,47 ± 0,10 D	-0,29 ± 0,23 D
Equivalente-esférico OD	-0,39 ± 0,07 D	-0,42 ± 0,08 D	-0,26 ± 0,13 D	-0,01 ± 0,10 D	-0,60 ± 0,09 D	-0,45 ± 0,17 D
Equivalente-esférico OI	-0,25 ± 0,07 D	-0,27 ± 0,08 D	-0,17 ± 0,13 D	+0,07 ± 0,09 D	-0,45 ± 0,09 D	-0,25 ± 0,20 D
Equivalente-esférico ODI	-0,32 ± 0,06 D	-0,35 ± 0,07 D	-0,18 ± 0,10 D	+0,03 ± 0,09 D	-0,45 ± 0,09 D	-0,31 ± 0,16 D
Astigmatismo OD	0,30 ± 0,04 D	0,29 ± 0,04 D	0,35 ± 0,12 D	0,29 ± 0,05 D	0,23 ± 0,04 D	0,60 ± 0,18 D
Astigmatismo OI	0,31 ± 0,04 D	0,33 ± 0,04 D	0,26 ± 0,07 D	0,41 ± 0,09 D	0,27 ± 0,04 D	0,25 ± 0,07 D
Astigmatismo ODI	0,31 ± 0,04 D	0,31 ± 0,03 D	0,31 ± 0,08 D	0,36 ± 0,06 D	0,25 ± 0,03 D	0,44 ± 0,10 D
Anisometropía	0,35 ± 0,03 D	0,34 ± 0,04 D	0,35 ± 0,08 D	0,21 ± 0,04 D	0,37 ± 0,05 D	0,57 ± 0,09 D

Tabla 3: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo del Pura Raza Árabe.

PURA RAZA ÁRABE						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,32 ± 0,10 D	-0,64 ± 0,15 D	-0,02 ± 0,10 D	-0,11 ± 0,19 D	-0,36 ± 0,13 D	-0,58 ± 0,24 D
Meridiano Vertical OD	-0,30 ± 0,10 D	-0,67 ± 0,16 D	+0,07 ± 0,09 D	-0,17 ± 0,18 D	-0,37 ± 0,14 D	-0,29 ± 0,22 D
Meridiano Horizontal OI	-0,24 ± 0,09 D	-0,51 ± 0,15 D	+0,01 ± 0,10 D	-0,06 ± 0,16 D	-0,27 ± 0,14 D	-0,44 ± 0,23 D
Meridiano Vertical OI	-0,32 ± 0,10 D	-0,67 ± 0,16 D	-0,01 ± 0,10 D	-0,07 ± 0,12 D	-0,46 ± 0,15 D	-0,35 ± 0,26 D
Equivalente-esférico OD	-0,31 ± 0,10 D	-0,65 ± 0,15 D	+0,02 ± 0,09 D	-0,14 ± 0,18 D	-0,36 ± 0,13 D	-0,43 ± 0,23 D
Equivalente-esférico OI	-0,28 ± 0,09 D	-0,59 ± 0,15 D	-0,01 ± 0,10 D	-0,06 ± 0,14 D	-0,36 ± 0,14 D	-0,39 ± 0,24 D
Equivalente-esférico ODI	-0,30 ± 0,10 D	-0,62 ± 0,15 D	+0,02 ± 0,09 D	-0,10 ± 0,16 D	-0,37 ± 0,14 D	-0,41 ± 0,24 D
Astigmatismo OD	0,25 ± 0,03 D	0,28 ± 0,05 D	0,23 ± 0,04 D	0,25 ± 0,05 D	0,23 ± 0,04 D	0,33 ± 0,10 D
Astigmatismo OI	0,32 ± 0,03 D	0,35 ± 0,05 D	0,29 ± 0,03 D	0,33 ± 0,04 D	0,34 ± 0,05 D	0,25 ± 0,07 D
Astigmatismo ODI	0,29 ± 0,03 D	0,31 ± 0,04 D	0,26 ± 0,03 D	0,29 ± 0,03 D	0,28 ± 0,04 D	0,29 ± 0,07 D
Anisometropía	0,22 ± 0,03 D	0,25 ± 0,04 D	0,20 ± 0,05 D	0,23 ± 0,05 D	0,20 ± 0,05 D	0,27 ± 0,10 D

Tabla 4: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo del Lusitano.

LUSITANOS						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,33 ± 0,18 D	-0,65 ± 0,19 D	+0,46 ± 0,08 D	+0,35 ± 0,06 D	-0,41 ± 0,21 D	-1,50 ± 0,00 D
Meridiano Vertical OD	-0,37 ± 0,22 D	-0,75 ± 0,25 D	+0,58 ± 0,08 D	+0,50 ± 0,11 D	-0,41 ± 0,21 D	-2,25 ± 0,75 D
Meridiano Horizontal OI	-0,41 ± 0,22 D	-0,84 ± 0,23 D	+0,58 ± 0,11 D	+0,50 ± 0,14 D	-0,41 ± 0,20 D	-2,25 ± 0,75 D
Meridiano Vertical OI	-0,45 ± 0,23 D	-0,77 ± 0,25 D	+0,29 ± 0,04 D	+0,25 ± 0,59 D	-0,41 ± 0,19 D	-2,13 ± 0,88 D
Equivalente-esférico OD	-0,35 ± 0,19 D	-0,70 ± 0,21 D	+0,52 ± 0,06 D	+0,43 ± 0,06 D	-0,41 ± 0,21 D	-1,88 ± 0,38 D
Equivalente-esférico OI	-0,43 ± 0,22 D	-0,80 ± 0,24 D	+0,44 ± 0,23 D	+0,38 ± 0,34 D	-0,41 ± 0,19 D	-2,19 ± 0,81 D
Equivalente-esférico ODI	-0,41 ± 0,21 D	-0,79 ± 0,22 D	+0,48 ± 0,13 D	+0,42 ± 0,19 D	-0,41 ± 0,20 D	-2,03 ± 0,59 D
Astigmatismo OD	0,27 ± 0,08 D	0,30 ± 0,10 D	0,21 ± 0,08 D	0,25 ± 0,08 D	0,21 ± 0,06 D	0,75 ± 0,75 D
Astigmatismo OI	0,26 ± 0,09 D	0,14 ± 0,05 D	0,54 ± 0,27 D	0,63 ± 0,39 D	0,18 ± 0,07 D	0,13 ± 0,75 D
Astigmatismo ODI	0,28 ± 0,06 D	0,23 ± 0,06 D	0,38 ± 0,14 D	0,47 ± 0,19 D	0,20 ± 0,05 D	0,44 ± 0,31 D
Anisometropía	0,24 ± 0,06 D	0,21 ± 0,06 D	0,29 ± 0,15 D	0,41 ± 0,21 D	0,16 ± 0,04 D	0,44 ± 0,31 D

Tabla 5: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo del Anglo-Árabe.

ANGLO-ÁRABE						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,27 ± 0,17 D	-0,38 ± 0,22 D	-0,10 ± 0,06 D	-0,54 ± 0,44 D	-0,10 ± 0,17 D	-0,50 ± 0,75 D
Meridiano Vertical OD	-0,17 ± 0,19 D	-0,35 ± 0,22 D	-0,45 ± 0,24 D	-0,42 ± 0,42 D	-0,10 ± 0,19 D	-0,00 ± 1,01 D
Meridiano Horizontal OI	-0,29 ± 0,18 D	-0,40 ± 0,24 D	0,00 ± 0,13 D	-0,46 ± 0,50 D	-0,22 ± 0,20 D	-0,42 ± 0,67 D
Meridiano Vertical OI	-0,36 ± 0,18 D	-0,50 ± 0,24 D	0,00 ± 0,20 D	-0,50 ± 0,45 D	-0,40 ± 0,23 D	-0,00 ± 0,63 D
Equivalente-esférico OD	-0,22 ± 0,18 D	-0,37 ± 0,21 D	-0,28 ± 0,15 D	-0,48 ± 0,43 D	-0,10 ± 0,16 D	-0,25 ± 0,88 D
Equivalente-esférico OI	-0,33 ± 0,17 D	-0,45 ± 0,23 D	0,00 ± 0,13 D	-0,48 ± 0,47 D	-0,31 ± 0,20 D	-0,21 ± 0,64 D
Equivalente-esférico ODI	-0,25 ± 0,18 D	-0,38 ± 0,22 D	+0,19 ± 0,21 D	-0,48 ± 0,45 D	-0,16 ± 0,18 D	-0,23 ± 0,76 D
Astigmatismo OD	0,31 ± 0,07 D	0,29 ± 0,08 D	0,35 ± 0,19 D	0,13 ± 0,06 D	0,38 ± 0,10 D	0,50 ± 0,29 D
Astigmatismo OI	0,31 ± 0,07 D	0,35 ± 0,08 D	0,21 ± 0,11 D	0,13 ± 0,06 D	0,38 ± 0,10 D	0,42 ± 0,08 D
Astigmatismo ODI	0,31 ± 0,05 D	0,30 ± 0,06 D	0,33 ± 0,11 D	0,13 ± 0,03 D	0,39 ± 0,06 D	0,46 ± 0,11 D
Anisometropía	0,27 ± 0,06 D	0,27 ± 0,07 D	0,28 ± 0,08 D	0,13 ± 0,03 D	0,36 ± 0,09 D	0,29 ± 0,15 D

Tabla 24: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo del Hispano-Árabe.

HISPANO-ÁRABE						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,32 ± 0,19 D	-0,42 ± 0,21 D	+0,13 ± 0,38 D	-0,17 ± 0,30 D	-0,21 ± 0,21 D	-1,5 D
Meridiano Vertical OD	-0,27 ± 0,20 D	-0,28 ± 0,24 D	-0,25 ± 0,25 D	+0,17 ± 0,08 D	-0,25 ± 0,20 D	-1,75 D
Meridiano Horizontal OI	-0,40 ± 0,21 D	-0,48 ± 0,25 D	0,00 ± 0,25 D	-0,14 ± 0,42 D	-0,38 ± 0,27 D	-1,25 D
Meridiano Vertical OI	-0,46 ± 0,30 D	-0,53 ± 0,36 D	-0,13 ± 0,13 D	+0,33 ± 0,36 D	-0,59 ± 0,36 D	-1,75 D
Equivalente-esférico OD	-0,30 ± 0,19 D	-0,35 ± 0,22 D	-0,06 ± 0,31 D	0,00 ± 0,13 D	-0,23 ± 0,20 D	-1,63 D
Equivalente-esférico OI	-0,43 ± 0,24 D	-0,50 ± 0,29 D	-0,06 ± 0,19 D	+0,08 ± 0,29 D	-0,48 ± 0,31 D	-1,50 D
Equivalente-esférico ODI	-0,27 ± 0,17 D	-0,31 ± 0,21 D	-0,06 ± 0,06 D	+0,04 ± 0,20 D	-0,21 ± 0,15 D	-1,56 D
Astigmatismo OD	0,27 ± 0,09 D	0,25 ± 0,10 D	0,38 ± 0,13 D	0,50 ± 0,25 D	0,18 ± 0,07 D	0,25 D
Astigmatismo OI	0,40 ± 0,12 D	0,45 ± 0,14 D	0,13 ± 0,13 D	0,83 ± 0,25 D	0,22 ± 0,13 D	0,50 D
Astigmatismo ODI	0,31 ± 0,09 D	0,32 ± 0,12 D	0,50 ± 0,05 D	0,67 ± 0,23 D	0,14 ± 0,04 D	0,38 D
Anisometropía	0,26 ± 0,05 D	0,21 ± 0,05 D	0,27 ± 0,06 D	0,25 ± 0,13 D	0,29 ± 0,07 D	0,13 D

Tabla 25: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo del Poni.

PONI						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	+0,02 ± 0,18 D	+0,28 ± 0,17 D	-0,45 ± 0,34 D	-	-0,10 ± 0,18 D	+0,31 ± 0,47 D
Meridiano Vertical OD	-0,11 ± 0,18 D	+0,08 ± 0,24 D	-0,45 ± 0,18 D	-	-0,15 ± 0,22 D	0,00 ± 0,31 D
Meridiano Horizontal OI	+0,14 ± 0,21 D	+0,44 ± 0,15 D	-0,40 ± 0,44 D	-	+0,08 ± 0,24 D	+0,31 ± 0,47 D
Meridiano Vertical OI	-0,18 ± 0,18 D	-0,03 ± 0,20 D	-0,45 ± 0,34 D	-	-0,25 ± 0,23 D	0,00 ± 0,27 D
Equivalente-esférico OD	-0,04 ± 0,17 D	+0,18 ± 0,19 D	-0,45 ± 0,24 D	-	-0,13 ± 0,18 D	+0,16 ± 0,39 D
Equivalente-esférico OI	-0,02 ± 0,19 D	+0,21 ± 0,16 D	-0,43 ± 0,39 D	-	-0,09 ± 0,22 D	+0,16 ± 0,36 D
Equivalente-esférico ODI	-0,03 ± 0,17 D	-0,19 ± 0,17 D	-0,44 ± 0,31 D	-	-0,11 ± 0,19 D	-0,16 ± 0,37 D
Astigmatismo OD	0,38 ± 0,09 D	0,36 ± 0,13 D	0,40 ± 0,13 D	-	0,35 ± 0,13 D	0,44 ± 0,06 D
Astigmatismo OI	0,39 ± 0,10 D	0,53 ± 0,13 D	0,15 ± 0,10 D	-	0,38 ± 0,12 D	0,44 ± 0,21 D
Astigmatismo ODI	0,38 ± 0,08 D	0,44 ± 0,12 D	0,28 ± 0,08 D	-	0,36 ± 0,10 D	0,44 ± 0,12 D
Anisometropía	0,22 ± 0,05 D	0,19 ± 0,04 D	0,28 ± 0,13 D	-	0,26 ± 0,06 D	0,13 ± 0,08 D

Tabla 26: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo del Centro europeo.

CENTRO EUROPEO						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,21 ± 0,12 D	-0,25 ± 0,14 D	-0,13 ± 0,22 D	+0,25 ± 0,00 D	-0,20 ± 0,14 D	-0,38 ± 0,25 D
Meridiano Vertical OD	-0,38 ± 0,13 D	-0,31 ± 0,16 D	-0,50 ± 0,23 D	+0,25 ± 0,00 D	-0,43 ± 0,19 D	-0,50 ± 0,20 D
Meridiano Horizontal OI	-0,26 ± 0,17 D	-0,27 ± 0,22 D	-0,25 ± 0,27 D	+0,38 ± 0,13 D	-0,23 ± 0,15 D	-0,60 ± 0,47 D
Meridiano Vertical OI	-0,51 ± 0,28 D	-0,52 ± 0,39 D	-0,50 ± 0,29 D	+0,38 ± 0,13 D	-0,40 ± 0,18 D	-1,10 ± 0,87 D
Equivalente-esférico OD	-0,29 ± 0,12 D	-0,28 ± 0,15 D	-0,31 ± 0,22 D	+0,25 ± 0,00 D	-0,31 ± 0,16 D	-0,44 ± 0,22 D
Equivalente-esférico OI	-0,39 ± 0,22 D	-0,40 ± 0,30 D	-0,38 ± 0,27 D	+0,38 ± 0,13 D	-0,31 ± 0,22 D	-0,85 ± 0,66 D
Equivalente-esférico ODI	-0,33 ± 0,17 D	-0,34 ± 0,21 D	-0,31 ± 0,26 D	+0,31 ± 0,06 D	-0,31 ± 0,15 D	-0,63 ± 0,45 D
Astigmatismo OD	0,22 ± 0,06 D	0,15 ± 0,07 D	0,38 ± 0,11 D	0,00 ± 0,00 D	0,33 ± 0,09 D	0,13 ± 0,09 D
Astigmatismo OI	0,28 ± 0,13 D	0,29 ± 0,18 D	0,25 ± 0,11 D	0,00 ± 0,00 D	0,18 ± 0,07 D	0,60 ± 0,42 D
Astigmatismo ODI	0,25 ± 0,08 D	0,22 ± 0,18 D	0,33 ± 0,12 D	0,00 ± 0,00 D	0,25 ± 0,07 D	0,35 ± 0,21 D
Anisometropía	0,32 ± 0,12 D 11	0,39 ± 0,17 D 9	0,18 ± 0,08 D 5	0,13 ± 0,13 D	0,20 ± 0,06 D	0,65 ± 0,38 D

Tabla 27: Valores medios obtenidos en los diferentes parámetros analizados del grupo denominado como “mestizo de razas”.

MESTIZO RAZAS						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,36 ± 0,11 D	-0,47 ± 0,12 D	-0,09 ± 0,22 D	+0,25 ± 0,00 D	-0,46 ± 0,12 D	-0,25 ± 0,40 D
Meridiano Vertical OD	-0,30 ± 0,10 D	-0,36 ± 0,11 D	-0,16 ± 0,19 D	+0,13 ± 0,13 D	-0,34 ± 0,11 D	-0,31 ± 0,40 D
Meridiano Horizontal OI	-0,35 ± 0,13 D	-0,49 ± 0,15 D	-0,03 ± 0,18 D	+0,50 ± 0,25 D	-0,50 ± 0,13 D	-0,13 ± 0,39 D
Meridiano Vertical OI	-0,39 ± 0,12 D	-0,53 ± 0,14 D	-0,09 ± 0,22 D	+0,25 ± 0,00 D	-0,49 ± 0,12 D	-0,31 ± 0,55 D
Equivalente- esférico OD	-0,33 ± 0,10 D	-0,42 ± 0,12 D	-0,13 ± 0,20 D	+0,19 ± 0,06 D	-0,40 ± 0,11 D	-0,28 ± 0,38 D
Equivalente- esférico OI	-0,37 ± 0,12 D	-0,51 ± 0,14 D	-0,06 ± 0,20 D	+0,38 ± 0,13 D	-0,49 ± 0,12 D	-0,22 ± 0,47 D
Equivalente- esférico ODI	-0,35 ± 0,10 D	-0,46 ± 0,12 D	-0,09 ± 0,19 D	+0,28 ± 0,03 D	-0,45 ± 0,11 D	-0,25 ± 0,42 D
Astigmatismo OD	0,21 ± 0,04 D	0,17 ± 0,05 D	0,31 ± 0,08 D	0,13 ± 0,13 D	0,20 ± 0,05 D	0,31 ± 0,12 D
Astigmatismo OI	0,24 ± 0,05 D	0,29 ± 0,06 D	0,13 ± 0,07 D	0,25 ± 0,25 D	0,22 ± 0,06 D	0,31 ± 0,12 D
Astigmatismo ODI	0,23 ± 0,03 D	0,23 ± 0,04 D	0,22 ± 0,05 D	0,19 ± 0,19 D	0,21 ± 0,04 D	0,31 ± 0,04 D
Anisometropía	0,24 ± 0,05 D	0,28 ± 0,07 D	0,13 ± 0,04 D	0,19 ± 0,19 D	0,26 ± 0,06 D	0,19 ± 0,04 D

Tabla 28: Valores medios obtenidos de los diferentes parámetros analizados del grupo del burro.

BURROS						
	TOTAL	MACHOS	HEMBRAS	JÓVENES	ADULTOS	GERIÁTRICOS
Meridiano Horizontal OD	-0,16 ± 0,23 D	-0,25 ± 0,00 D	+0,02 ± 0,26 D	-	+0,08 ± 0,19 D	-0,14 ± 0,56 D
Meridiano Vertical OD	-0,19 ± 0,21 D	-0,88 ± 0,38 D	-0,09 ± 0,23 D	-	-0,28 ± 0,19 D	-0,04 ± 0,50 D
Meridiano Horizontal OI	-0,16 ± 0,23 D	-0,00 ± 0,00 D	-0,02 ± 0,26 D	-	+0,08 ± 0,17 D	-0,17 ± 0,57 D
Meridiano Vertical OI	-0,19 ± 0,22 D	-1,00 ± 0,25 D	-0,07 ± 0,24 D	-	-0,25 ± 0,26 D	-0,08 ± 0,44 D
Equivalente-esférico OD	-0,10 ± 0,22 D	-0,56 ± 0,19 D	-0,04 ± 0,24 D	-	-0,10 ± 0,18 D	-0,10 ± 0,52 D
Equivalente-esférico OI	-0,10 ± 0,21 D	-0,50 ± 0,13 D	-0,04 ± 0,24 D	-	-0,09 ± 0,20 D	-0,13 ± 0,50 D
Equivalente-esférico ODI	-0,10 ± 0,21 D	-0,53 ± 0,16 D	-0,04 ± 0,24 D	-	-0,09 ± 0,19 D	-0,11 ± 0,51 D
Astigmatismo OD	0,36 ± 0,08 D	0,63 ± 0,38 D	0,32 ± 0,07 D	-	0,40 ± 0,11 D	0,29 ± 0,10 D
Astigmatismo OI	0,48 ± 0,07 D	1,00 ± 0,25 D	0,41 ± 0,06 D	-	0,53 ± 0,11 D	0,42 ± 0,08 D
Astigmatismo ODI	0,42 ± 0,08 D	0,81 ± 0,31 D	0,37 ± 0,05 D	-	0,46 ± 0,09 D	0,35 ± 0,08 D
Anisometropía	0,16 ± 0,04 D	0,06 ± 0,06 D	0,17 ± 0,05 D	-	0,16 ± 0,05 D	0,15 ± 0,08 D

DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN:

6.1. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PREVIAS

6.1.1. Estimación del punto remoto

Determinar el punto remoto de un ojo mediante interposición de lentes lleva implícito que, en algunos casos, la neutralidad no coincide exactamente con ninguna de las lentes que el retinoscopista tiene a su disposición. Cambiar la distancia de trabajo hasta encontrar la neutralidad (aumentando o disminuyendo la distancia según el caso) puede solventar este problema ya que esta es otra forma de determinar la posición del punto remoto del ojo examinado. Sin embargo, esta técnica es poco práctica trabajando con equinos ya que las condiciones de trabajo no permiten estar midiendo continuamente la nueva distancia de trabajo con la cinta métrica. Por el contrario, calcular el punto remoto interpolándolo de entre los valores de las dos lentes donde el reflejo retinoscópico cambia de directo a inverso, es una opción mucho más práctica y efectiva trabajando con equinos. Por tanto, cuanto mayor sea la sensibilidad de las lentes disponibles mayor será la exactitud de las mediciones.

Unas barras de lentes con mayor sensibilidad a las utilizadas en este trabajo hubiesen ayudado a mejorar la precisión y exactitud de los resultados, aunque en la práctica es difícil encontrar en el mercado otras barras de lentes diferentes a las aquí utilizadas. Por otro lado, si se quiere conseguir mayor sensibilidad, se puede optar por usar cajas de lentes oftálmicas de prueba en lugar de barras de lentes, donde se pueden encontrar lentes con sensibilidades de hasta $\pm 0,12$ D para algunos valores. Sin embargo, usar este tipo de lentes con retinoscopia en equinos, hace la experiencia mucho más lenta y engorrosa comparada con la que se obtiene con las barras de retinoscopia, siendo una opción poco recomendable y no utilizada en la bibliografía consultada.

6.1.2. Posición examinador-paciente

Distancia de trabajo

En este estudio, siempre se optó por encontrar el punto remoto realizando la retinoscopia a una distancia de trabajo fija. Para ello se tomó como medida el brazo extendido del examinador que sujeta las barras de esquiascopia. Dicha distancia es la que se suele tomar de manera estándar, que medida con una cinta métrica es de aproximadamente 67 cm (1,50 D). [55] [96] Otra forma de tratar de mantener la distancia de trabajo constante consiste en unir el

retinoscopio y las barras de lentes mediante una fina cuerda con la distancia de trabajo elegida y tratar en todo momento que la cuerda se mantenga tensa, lo que equivale a mantener el brazo extendido del examinador en todo momento. Esta técnica tiene la ventaja de que se puede utilizar no solamente la distancia estándar de 67 cm (1,50 D), sino que se puede tomar la distancia de trabajo que se desee. Sin embargo, ya sea tomando como referencia la distancia del brazo del examinador o la cuerda que une el retinoscopio con las barras de lentes, al realizar la retinoscopia en equinos, se corre con frecuencia el riesgo de que en determinadas circunstancias la distancia de trabajo se alargue o acorte (por movimientos del caballo normalmente) y por tanto el valor final obtenido pueda variar ligeramente. Para evitar este posible error de método, es recomendable hacer la retinoscopia en la presencia de una persona que compruebe siempre si la distancia de trabajo se mantiene constante.

Por otro lado, en optometría humana es frecuente colocar delante del ojo del paciente una lente con la potencia dióptrica equivalente a nuestra distancia de trabajo para así al realizar la retinoscopia no tener que sustraer la distancia de trabajo, siendo el valor obtenido de la retinoscopia la refracción neta. Sin embargo, esto que puede ser una ventaja en personas, en nuestra experiencia se convierte en un estorbo trabajando con animales, ya que implicaría tener que incorporar la sujeción de una lente delante del ojo del animal además de las propias barras de lentes.

Perpendicularidad del plano retinoscópico:

A diferencia de los estudios hechos por Sivak y Allen [14] y Harman y colaboradores [29] donde se considera que la mayor longitud axial del globo está en la zona central del polo posterior (zona más miope o menos hipermetrope del ojo), nuestra experiencia nos revela algo diferente. En el presente trabajo hemos encontrado que en la mayoría de los casos, las mediciones hechas en las partes más dorsales del polo posterior del globo, el ojo se va haciendo más miope o menos hipermetrope, y más hipermetrope o menos miope en la dirección opuesta. El porqué la retinoscopia realizada desde ángulos inferiores al eje de la mirada del equino nos ha proporcionado valores de refracción más negativos que en ángulos superiores, es algo que requiere un estudio más exhaustivo.

Se sabe por diversos estudios que el polo posterior del globo ocular equino no es completamente simétrico en su longitud axial con respecto al ecuador del cristalino. [70] [14] [15] [29] Los primeros estudios sobre este tema sugerían una mayor distancia axial del globo ocular en la zona dorsal que en la ventral. [70] [97] [71] Estos hallazgos hicieron que se hablara del concepto de la *retina en rampa* del ojo equino, en el que se le atribuía al mismo un

mecanismo estático de acomodación (sin modificación de la curvatura del cristalino). [97] A pesar de que esta teoría acerca de una retina en rampa ha sido posteriormente rechazada por otros autores, [14] [29] estos coinciden en señalar que existe una asimetría en el polo posterior del globo ocular equino, aunque no en la dirección que se apuntaba con anterioridad, que hace que las mediciones retinoscópicas varíen en función del plano en el que se realicen. Ya el propio Nicolas en 1930 [70] advertía a los retinoscopistas que tuviesen en cuenta dichas peculiaridades, mientras que otros autores cuantificaron incluso las diferencias existentes en los valores de refracción obtenidos en función del plano de medición. [14]

Una consecuencia de todo esto es que cuanto más excéntrica sea la posición a la hora de realizar la retinoscopia, mayor será la probabilidad de cometer errores en la medición. En este trabajo, se ha hecho la retinoscopia lo más perpendicularmente posible al plano pupilar para evitar estas posibles variaciones. Para asegurar este hecho, siempre hubo un colaborador vigilando la perpendicularidad entre el plano pupilar del ojo examinado y el retinoscopio.

6.1.3. Forma de expresar los datos

En este trabajo se ha optado por expresar la media del estado de refracción en equivalente esférico. El equivalente esférico, como ya ha quedado explicado en la parte de conceptos generales, no es más que la media aritmética de los dos meridianos medidos. Expresar la refracción de esta manera tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Los principales inconvenientes van a asociados a la pérdida de información que conlleva realizar la media de los dos meridianos evaluados. Así mismo, el equivalente esférico no muestra dato alguno de astigmatismo por sí mismo, sino que esta información hay que aportarla adicionalmente. [52] Sin embargo, el equivalente esférico es una magnitud muy útil a la hora de comparar datos ya que se trabaja con un único valor. Es muy fácil de manejar y comprender y desde un punto de vista estadístico es idónea para comparar conjuntos de datos. Si asociado al equivalente esférico se indican conjuntamente los datos de astigmatismo, la información sobre el estado de refracción del ojo queda suficientemente cubierta. [52]

6.1.4. Rangos de ametropías considerados

Aunque a priori los conceptos de miopía, hipermetropía o emetropía son fáciles de entender, definir a un individuo dentro de una de estas categorías no es tan sencillo. En principio un ojo emétrope, como ya quedó definido en la introducción, es aquel en el que en estado de reposo los objetos lejanos (en el infinito óptico) son enfocados en la retina. [23] En estas condiciones, un individuo está en disposición de percibir un objeto nítidamente si no

existe ninguna alteración en el sistema visual en su conjunto que lo impida. Pero, ¿qué ocurre cuando la imagen de ese objeto no focaliza exactamente en la retina?, ¿en qué momento el individuo es consciente de que el objeto observado deja de percibirse como claro y nítido?, es decir, ¿cómo afecta el desenfoque producido por un error refractivo a la calidad de la visión? Ésta no es una cuestión fácil de resolver ya que, aunque existen formas de calcular los límites físicos del poder resolutivo de la retina de un ojo, [8] existen otros factores que influyen en la percepción subjetiva visual de un individuo, lo que se conoce como psicofísica de la visión. [16] Aunque estos aspectos no son el objeto principal de estudio de este trabajo, estas cuestiones nos dan idea de que un ojo no estrictamente emétrope puede proporcionar imágenes que el individuo perciba igualmente nítidas a otras procedentes de un ojo completamente emétrope. [23] El problema principal por tanto, radica en conocer qué rango de desenfoque es tolerado por un individuo, a partir del cual las imágenes se perciben de forma borrosa. En la especie humana, esta cuestión tiene un abordaje mucho más sencillo que en los animales ya que simplemente colocando lentes de potencia creciente delante del ojo de un paciente, éste puede determinar en qué momento su visión mejora o empeora. Dichos métodos subjetivos no pueden ser trasladados a los animales domésticos ya que su grado de colaboración es obviamente muy inferior. Sin embargo, como ya se planteó brevemente en el capítulo de conceptos generales, existen algunos estudios que han intentado relacionar el efecto del desenfoque sobre la pérdida de agudeza visual en animales. [40] [98] [41]

Considerando todo lo anterior se plantea la cuestión de qué límites se han de considerar para definir cada estado refractivo. Si nos fijamos en estudios en la especie humana, los límites considerados para cada estado refractivos son variables, pero es muy común encontrar valores por debajo de -0,50 dioptrías como miopía, por encima de +0,50 dioptrías como hipermetropía, y entre -0,50 y +0,50 D (ambos incluidos) como emetropía. [99] [100] [101] [102] En perros, los mismos rangos se han sido considerados en algunos estudios [84], aunque también otros rangos se han considerado ampliando el límite de la emetropía de desde -0,50 a +1,00 D. [7] En el caso del caballo, encontramos diversidad de formas de abordar esta cuestión. Hay autores que simplemente no tratan este problema [29] o consideran la emetropía como la refracción estricta de 0 D, tomando cualquier valor por encima o por debajo como ametropía, bien hacia la miopía o hacia la hipermetropía. [89] Esta interpretación se podría considerar válida, ya que desde un punto de vista puramente óptico es una aproximación correcta. Sin embargo, desde un punto de vista fisiológico se presupone un ojo equino con una sensibilidad al desenfoque muy alta. Si tenemos en cuenta que la agudeza visual en el caballo está considerada en el mejor de los casos en torno a 18-23 ciclos por grado,

[39] frente a los 30 ciclos por grado del hombre, [34] suponer un ojo equino amétrope cuando su refracción no es estrictamente 0, tendría poco sentido desde un punto de vista clínico. Otros autores como Stuhr y colaboradores [90] consideran los rangos de $\pm 0,50$ D citados en primera instancia para definir los rangos de las ametropías.

Debido a que no existe unanimidad de criterios a la hora de determinar los límites para definir cada ametropía en la especie equina, consideramos el común denominador utilizado por otros autores, tanto en esta especie como en otras incluido el ser humano. [99] [100] [101] [102] [84] [90] Este consiste en definir la miopía el estado refractivo $\leq -0,50$ D, la hipermetropía el estado refractivo $\geq +0,50$ D y la emetropía el estado refractivo con valores intermedios entre ambos.

6.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.2.1. Influencia de la midriasis y la cicloplegia en la determinación del estado de refracción

En el presente trabajo se ha planteado si la cicloplegia tiene realmente alguna influencia sobre la evaluación del estado de refracción o por el contrario sus efectos son despreciables, ya que su uso podría dificultar la realización de la prueba en determinados casos.

La Inducción de la cicloplegia se realiza mediante instilación de solución oftálmica en gotas, y en el equino, aunque este proceso no es excesivamente complicado, precisa de una buena colaboración por parte del animal. En determinados casos el estrés que provoca la aplicación de dicha solución oftálmica puede dificultar la correcta y rápida medición del estado de refracción. Si a esto se suma que después de la instilación hay que esperar un tiempo mínimo a que se produzca la dilatación pupilar y la cicloplegia del músculo ciliar, que en el caso de la tropicamida no es inferior a 25-30 minutos para un efecto cercano al máximo [81], esta práctica podría ser un inconveniente en ciertos casos para la medición de la refracción. No hay que olvidar que en muchas de las ocasiones en las que se evalúa la refracción los animales son de un alto valor sentimental y económico para sus propietarios los cuales frecuentemente no se muestran favorables a la medición retinoscópica si ello implica instilación de gotas de cualquier tipo.

No haber encontrado en nuestros resultados diferencias estadísticamente significativas en la determinación del estado de refracción con o sin cicloplegia mediante retinoscopia, lleva a pensar que no es necesario instilar gotas para la realización esta técnica en equinos, convirtiéndose así la retinoscopia en un método muy rápido y cómodo de realizar.

Un estudio reciente sobre la influencia de la tropicamida en la determinación del estado de refracción en equinos concluye que esta no tiene influencia significativa sobre la evaluación de la citada refracción mediante retinoscopia lo que es consistente con nuestros resultados a este respecto. [103]

Es de sobra conocida la influencia de la acomodación en la determinación del estado de refracción en personas. [104] [105] La acomodación en los humanos es notable, llegando a aportar un poder dióptrico que varía en función de la edad, pero que puede estar entre 6 y 10 dioptrías en el adulto según los modelos esquemáticos de ojo de Le Grand y Gullstrand respectivamente. [12] [11] Por tanto, medir la refracción paralizando o no la acomodación, es

decir, con o sin cicloplegia puede proporcionar valores muy diferentes, dependiendo del estado refractivo y la edad del paciente. [105] Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en la especie humana, en algunas especies animales domésticas los rangos de acomodación no son tan altos. [64] En el caso del caballo, aunque el mecanismo de acomodación no se comprende por completo, se sabe que su amplitud es relativamente baja, estando según algunos autores en torno a la dioptría. [14] A la hora de realizar la retinoscopia en el caballo, algunos autores optan por inducir la cicloplegia como norma general, [90] [91] [94] otros optan por no inducir ningún tipo de cicloplegia basándose en que los demás estudios no encuentran diferencias significativas entre valores de refracción con o sin ella [89] y otros simplemente no indican si la inducen o no. [29] [73]

Los fármacos que se utilizan para provocar la cicloplegia, llevan asociada una acción midriática. Esta produce efectos tanto positivos como negativos sobre la determinación de la refracción mediante retinoscopia. [96] [55] Los efectos positivos se basan en que el mayor diámetro pupilar que produce la midriasis permite observar mejor los reflejos retinoscópicos al tener mayor campo de visión y al evitar las variaciones del tamaño pupilar al iluminar el ojo. Sin embargo, el mayor diámetro pupilar puede llevar asociado aberraciones ópticas indeseables como es el caso del “efecto tijera” que dificulta la interpretación de los movimientos retinoscópicos. [96] [55] Los efectos positivos cobran mayor importancia en especies con pupilas pequeñas como puede ser el caso del hombre o el gato en miosis. Sin embargo, en el caso del ojo equino, el diámetro pupilar es lo suficientemente grande como para poder observar claramente los reflejos retinoscópicos sin ser necesario inducir la midriasis siempre y cuando las condiciones de luz sean lo convenientemente bajas como para conseguir una adecuada dilatación pupilar.

En cuanto a la elección del tipo de fármaco ciclopléxico, tanto la tropicamida como el ciclopentolato son fármacos cuyo uso es muy común oftalmología. A pesar de que en oftalmología humana están descritos efectos ciclopléxicos mayores del ciclopentolato con respecto a la tropicamida, estas diferencias son pequeñas y desde el punto de vista refractivo no se han encontrado diferencias significativas entre ellos. [106]

6.2.2. Discusión de los resultados de las variables de estudio

Estado de refracción medio

Con respecto al estado de refracción medio, nuestros resultados son coincidentes con el hecho constatado por la mayoría de los autores de la bibliografía consultada (en el animal vivo al menos), de que el ojo equino se encuentra dentro de la emetropía, considerando el rango de $\pm 0,50$ D definido para la misma. [14] [91] [73] [29] [90] [95] [94] [89] Los valores medios consultados varían desde las $-0,35$ D obtenidas en un estudio en caballos de las montañas rocosas [94] hasta las $+0,25$ D de media obtenidas en otros dos estudios sobre caballos de diferentes razas [90] [95]

No obstante, los modelos de ojo teóricos para el equino que han sido propuestos hasta la fecha, predicen un ojo mucho más hipermetrope del que se obtiene en el caballo vivo. De hecho, las mediciones de Sivak y Allen [14] por un lado y las de Knill y colaboradores [15] por otro, predicen un valor refractivo de $+6,5$ D y $+12$ D respectivamente. Hay que tener en cuenta sin embargo que, las mediciones hechas en estos estudios se hicieron bien sobre ojos enucleados y rápidamente congelados en una mezcla de hielo seco y acetona en un caso [14] o bien enucleados y mantenidos en solución salina isosmolar en otro. [15] Como ya fue sugerido en un estudio posterior, la córnea es muy susceptible y responde rápidamente a modificaciones químicas y metabólicas del medio que la rodea. Posiblemente estos medios de conservación pudieron ser responsables de modificaciones en la curvatura corneal, lo que hubiese llevado a mediciones de radios de curvatura corneales alteradas y por tanto a estados refractivos alejados de sus valores fisiológicos reales. [73] Dicho esto, hay que tener en cuenta que no todos los modelos de ojo propuestos distan tanto de la refracción obtenida en el animal vivo. Así, un tercer modelo de ojo teórico propuesto años después por Coile y O'Keeke [13] predice un estado refractivo del ojo equino también hipermetrope, pero de tan solo $+1,0$ D, valor mucho más cercano al obtenido en el animal vivo. En este caso sin embargo, a diferencia de Sivak y Allen [14] y Knill y colaboradores [15], Coile y O'Keeke [13] no realizaron sus mediciones sobre ojos *in situ*, sino que se basaron para sus cálculos en parámetros anatómico-fisiológicos obtenidos por diferentes autores a lo largo de los años.

Distribución de estados de refractivos:

En cuanto a la prevalencia de los estados refractivos, de nuestros datos se desprende que en general la emetropía es el estado de refracción más prevalente, seguido por la miopía o la

hipermetropía en función del grupo analizado. Esta distribución de estados refractivos es similar a la encontrada por otros autores, [90] [89] aunque varía ostensiblemente con otros como es el caso de Wouters y Demor [91] los cuales encontraron un altísimo porcentaje de ojos miopes entre los ejemplares de su muestra. Dichos resultados podrían deberse a, como el mismo autor comenta en su trabajo, una marcada degeneración del vítreo en muchos de los ojos de los animales evaluados, lo cual ha sido sugerido como posible causa de interpretación retinoscópica de miopía en animales de edad avanzada. [90] [1] [1] Por el contrario, existen otros autores como es el caso de Harman y colaboradores [29] que no encontraron ojos miopes dentro de su muestra, siendo la hipermetropía la ametropía más prevalente. [29] Esta mayor prevalencia de ojos hipermétropes también fue encontrada por Farrall y Handscombe [73], aunque ellos sí encontraron un pequeño porcentaje de ojos miopes.

Como vemos, existe una cierta unanimidad entre la comunidad científica en torno a los valores refractivos medios obtenidos del ojo equino (al menos en el caballo en vivo). Sin embargo, la distribución de los estados refractivos más prevalentes varía ampliamente de unos estudios a otros. Esto puede ser reflejo de variaciones regionales en las poblaciones equinas evaluadas entre otros factores aunque también a los rangos considerados para definir cada ametropía por los distintos autores. [1]

Astigmatismo:

Los efectos y causas del astigmatismo han sido estudiados ampliamente en el humano, [107] algo que hasta la fecha no ha sucedido en los animales domésticos en general y el equino en particular, por lo que a día de hoy no podemos saber de forma precisa los efectos sobre la visión que el astigmatismo puede provocar. Por lo que se sabe de los estudios en el ser humano, el astigmatismo sufre cambios con la edad y varía en función de los grupos étnicos. Parece ser que de algún modo, la tensión que generan tanto los párpados como los músculos extraoculares sobre la córnea, así como la propia apertura palpebral juegan un papel determinante en la conformación final del astigmatismo. [107]

Es interesante comprobar que al consultar la literatura existente en equinos, el astigmatismo se describe como poco frecuente o relevante en la mayoría de los casos. [91] [73] [29] [90] No obstante, aunque nuestros resultados no cambian radicalmente esta tendencia, el notable porcentaje de animales con astigmatismo igual o superior a 0,50 D que hallamos en nuestra muestra, nos sugiere que su prevalencia puede ser mayor a la constatada hasta ahora por otros autores.

En cuanto al tipo de astigmatismo encontrado, el astigmatismo favor de regla resultó ser estadísticamente más frecuente en general que el astigmatismo en contra de la regla, evidencia que coincide con lo encontrado en el estudio de Harman y colaboradores, siendo citado artículo el único que hace referencia no solo a la prevalencia de astigmatismo encontrado sino también a su tipo. Es interesante el hecho de que en la gran mayoría de los casos en los que se ha detectado alguna diferencia en el tipo de astigmatismo (con excepción del grupo de los Anglo-Árabes), este nunca ha sido en contra de la regla.

Anisometropía:

Con respecto a la anisometropía, nuestros datos indican que la prevalencia de animales anisométricos es muy baja independientemente del grupo estudiado. Tan solo un 3,1 % de todos los animales presentaron una anisometropía igual o superior a 1,0 D, dato que apenas varió con los distintos grupos estudiados ya fuese por sexo, edad o raza. Las referencias existentes en la literatura son realmente escasas. La única referencia explícita a este respecto la hacen Stuhr y colaboradores [90], hallando un 12 % de animales anisométricos, aunque sin especificar que límites consideraron para diagnosticar a un animal como tal.

El que un individuo posea una gran diferencia en el estado refractivo de un ojo con respecto al otro, puede hacer que su sistema visual se vea notablemente alterado. Sin embargo, como ya ha quedado explicado con anterioridad, la diferencia en el campo visual del equino y el humano es notable y el peso específico que puede tener la visión binocular central en el equino no se puede comparar al del humano. Debido a que en la zona del campo visual donde no hay solapamiento existe diplopía y visión borrosa, en el equino la aniseiconía derivada de la anisometropía debería jugar un papel menos relevante o cuanto menos bastante diferente que el que juega en el humano. Sin embargo, hasta que no haya un mayor conocimiento científico sobre esta materia, será difícil conocer qué efecto real puede tener la anisometropía en el sistema visual equino. No obstante, algunos autores han constatado que en su experiencia, caballos con marcada anisometropía han mostrado algunas alteraciones indeseables del comportamiento tales como negarse a saltar, o asustarse en exceso ante determinados objetos cotidianos. [1]

6.2.3. Discusión de los factores de riesgo asociados al estado de refracción

Factores tales como la sexo, la edad y la raza han mostrado una influencia importante en la refracción.

Sexo:

En nuestra muestra encontramos diferencias estadísticamente significativas entre el estado refractivo y el sexo. En concreto los animales machos presentaron un estado refractivo significativamente más tendente a la miopía que las hembras, independientemente de la raza o la edad. Este hallazgo es interesante ya que dicha relación no se describe en la literatura consultada hasta la fecha, tanto en el equino como en otras especies domésticas. Si existe alguna causa genética predisponente a la mayor miopización de los machos con respecto a las hembras, es algo que hasta la fecha permanece fuera de nuestro conocimiento. Sin embargo, existen determinados factores de riesgo descritos en otras especies que pueden predisponer a la miopía. Si los machos normalmente tienen hábitos de manejo diferentes a los de las hembras, es posible que de alguna manera eso pueda afectar a su estado de refracción. En el humano, el trabajo de cerca se ha descrito como un factor de riesgo para el desarrollo de la miopía, [108] de igual manera que la baja iluminación ambiental en pollos, [109] mientras que la actividad al aire libre se ha descrito como factor protector. [108] La mayor estabulación de los machos con respecto a las hembras fue la tónica predominante entre los animales analizados en este trabajo. Estas condiciones tanto de estabulación como de poca iluminación ambiental por regla general, que implicarían además mayor trabajo del ojo en visión cercana, podrían ser factores de riesgo a los que los machos estarían sometidos con mayor frecuencia que las hembras. De cualquier manera, dichos supuestos que podrían justificar nuestros resultados no dejan de ser indicios de evidencias que se encuentran todavía por confirmar.

Como ya se ha comentado anteriormente, el astigmatismo en los equinos es un parámetro que no ha sido estudiado con especial atención en la literatura consultada. Así, no resultó extraño comprobar que no se encontraran datos entre la literatura con los que comparar los resultados de astigmatismo entre los individuos de diferente sexo. En principio no existían indicios para pensar que pudiesen existir diferencias de este defecto refractivo entre machos y hembras. Sin embargo, al realizar los test estadísticos, se comprobó que dicha diferencia existe. En cuanto al tipo de astigmatismo igualmente se encontraron diferencias significativas, siendo el astigmatismo a favor de regla significativamente más prevalente que el astigmatismo en contra de la regla entre los machos, evidencia que no se encontró entre las hembras. La causa responsable de este hallazgo está a día de hoy fuera de nuestro

conocimiento. Posiblemente alguna o varias características morfológicas de la anatomía orbitaria descritas anteriormente, tales como la tensión palpebral o de la musculatura orbitaria sobre la cornea así como la apertura palpebral puedan diferir entre machos a hembras y ser la responsable de las diferencias encontradas en el astigmatismo entre grupos de distinto sexo.

Edad:

En cuanto a la edad, observamos cómo el estado refractivo medio va cambiando hacia valores más negativos conforme el animal va creciendo. Dicha tendencia se estabiliza a partir de la madurez e incluso llega a invertirse ligeramente en los animales de edad avanzada. Así, el grupo de animales jóvenes presentó menor prevalencia de miopía que los adultos (siendo significativa dicha diferencia), mientras que los geriátricos presentaron un estado refractivo ligeramente menos negativo el de los adultos (aunque las diferencias en este caso no resultaron estadísticamente significativas). Al comparar estas evidencias con las de otros autores, encontramos diversidad de resultados. Por un lado, autores como Grinninger y colaboradores [89] hallaron una tendencia (no significativa) hacia la miopía con la edad a partir de los 7,5 años, al igual que Wouters y Demor [91] en cuyo estudio el mayor porcentaje de miopes lo presentaron los animales de mayor edad. Nuestros resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por los citados autores. En general en nuestra muestra los animales a partir de la edad adulta presentan un estado refractivo más tendente a la miopía que los jóvenes. En nuestro caso, esta tendencia resultó ser estadísticamente significativa entre los jóvenes y los adultos, aunque no así entre los jóvenes y los geriátricos. Sin embargo, otros autores encontraron cambios hacia la hipermetropía con la edad. [29] Al buscar en nuestra muestra una correlación lineal entre el estado de refracción y la edad, dicha correlación no muestra significación estadística alguna. Sin embargo, si dicha correlación se limita hasta la edad considerada como el fin de la adultez e inicio de la geriatría, es decir, los 14 años, dicha correlación aparece, mostrando significación estadística. Este dato refuerza el concepto de la existencia de una tendencia hacia el aumento a valores negativos de la refracción conforme el animal va creciendo, tendencia que se estabiliza en el animal adulto e incluso parece invertirse en el animal geriátrico.

La causa de estos cambios en el estado de refracción con la edad en el equino, aunque a fecha de hoy no se detallan en la literatura, podemos extrapolarla de lo que sucede en otras especies. Como ya se describió con anterioridad, se sabe que en el humano los niños muestran una cierta tendencia hacia la emetropía e incluso hacia la hipermetropía, tendencia que en la adolescencia se desplaza hacia valores de refracción más negativos, llegando a la emetropía e

incluso a la miopía en algunos grupos poblacionales [110] en función de determinados factores de riesgo [108] Así, nuestros resultados indican que en el equino podría ocurrir algo parecido a lo que ocurre en la especie humana. A pesar de que en el equino no hay trabajos que estudien el proceso de emetropización tal y como se ha estudiado en otras especies animales como el pollo, [111] la musaraña, [112] la cobaya [113] o incluso el mono macaco, [114] es posible imaginar que un proceso de emetropización parecido pueda suceder en el equino. Probablemente dicho proceso juegue un papel similar en los cambios en el poder refractivo tal y como ocurren en el hombre, a pesar de que ciertos factores de riesgo en ambas especies sean muy diferentes.

En cuanto al astigmatismo, nuestros resultados indican que no existen diferencias entre individuos de diferentes edades. Sin embargo, sí encontramos diferencias en el tipo de astigmatismo encontrado entre los individuos adultos, donde el astigmatismo directo o a favor de regla fue significativamente más prevalente que el indirecto o en contra de la regla. Al igual que lo que ocurre con el sexo, no existen datos en la literatura consultada con los que comparar en equinos. Si comparamos con la especie humana, en ella están descritos cambios en el astigmatismo con la edad. [107] Así, es conocido que en recién nacidos y durante los primeros años de vida existe un elevado grado de astigmatismo (corneal principalmente), aunque no existe convenio acerca de qué tipo de astigmatismo es más frecuente. Conforme el individuo crece, el astigmatismo corneal se reduce, probablemente debido al proceso de emetropización y se hace más frecuente el astigmatismo a favor de regla. A partir de los 40 años, la prevalencia del astigmatismo se mantiene constante aunque existe un cambio en el tipo de astigmatismo que pasa de ser directo a indirecto. [107] Nuestros datos coinciden con las evidencias en el ser humano de que el astigmatismo a favor de regla es el más prevalente entre los adultos que entre los jóvenes y geriátricos.

Raza:

A pesar de que en otras especies animales existen datos acerca de las diferencias en el estado de refracción entre razas como es el caso del perro, [84] en el equino no encuentran tales evidencias, al menos en la literatura consultada. No obstante, el presente trabajo muestra indicios sólidos de que pueden efectivamente existir diferencias en el estado refractivo entre distintas razas de equinos. Estas diferencias podrían deberse al igual que se ha postulado en el hombre, a causas tanto genéticas como ambientales. [115] La selección que se ha llevado a cabo en los animales domésticos a lo largo de los años para mantener los estándares raciales ha hecho que se perpetúen determinados caracteres morfológicos típicos

de cada raza. A pesar de que no tenemos constancia de estudios que relacionen parámetros específicos influyentes en la refracción del ojo con la selección racial en los equinos, no es difícil de suponer que dicha selección podría haber consolidado no solo los parámetros morfológicos deseados por los criadores sino también otros relacionados con el estado de refracción, tales como la longitud del globo ocular o la curvatura corneal entre otros. Este hecho podría justificar en parte la mayor tendencia encontrada hacia la miopía de los caballos españoles y árabes con respecto a los caballos cruzados. Los animales cruzados por regla general son individuos con poco control en los cruces de sus progenitores y por tanto el mantenimiento de posibles parámetros genéticos parentales que pudiesen perpetuar un determinado defecto de refracción de una generación a la siguiente se vería reducido comparado con razas con un control en los cruces mucho más estricto. Sin embargo, el que hayamos encontrado diferencias entre los defectos de refracción entre razas, puede deberse también a factores ambientales y de manejo. Si diésemos por válidos en el equino factores de riesgo estudiados en otras especies, como es el caso de la actividad al aire libre descrita en el humano como factor protector frente a la miopía, [108] el conocer las condiciones de manejo de estos animales sobre todo durante la etapa de crecimiento sería de gran importancia. Los animales que pasasen la mayor parte de su desarrollo estabulados tendrían mayor predisposición a padecer miopía de adultos que los que lo hicieran al aire libre. La estabulación como factor de riesgo modificador del estado de refracción en el equino ya fue tomada en cuenta por otros autores a la hora de valorar las diferencias en los estados refractivos en esta especie. [29]

A día de hoy todavía no se conocen con exactitud los mecanismos que regulan el estado de refracción del ojo en la mayoría de las especies animales. Cuando el individuo nace, el globo ocular tiene unas características anatomo-fisiológicas que al igual que el resto del organismo van evolucionando hasta la vejez del mismo. En el proceso de crecimiento y maduración del ojo, se produce un proceso denominado como emetropización, que como su propio nombre indica es el proceso en el que el organismo trata de crear un ojo emétrepe, produciendo cambios tanto en la longitud axial del globo (distancia entre polo anterior del ojo con la retina), como en el poder refractor tanto de la córnea como del cristalino. [56] Durante el crecimiento, la córnea y el cristalino tienen que disminuir su poder refractor para que el ojo pueda seguir manteniendo enfocada la imagen que proviene del mundo exterior en una retina que se va alejando cada vez más del polo anterior, acompañando al resto del cuerpo en su crecimiento. Durante esta etapa, se ha descrito que la tendencia en los seres humanos es hacia un estado refractivo más cercano a la hipermetropía que incluso a la emetropía [110] y solamente

mediante pequeños esfuerzos acomodativos la imagen se enfoca correctamente en la retina. Sin embargo, conforme el individuo va creciendo, dicha tendencia va cambiando y se inclina hacia la emetropía e incluso hacia la miopía en la adolescencia y la edad adulta (en determinadas poblaciones del Asia del este). [110] El porqué de estos cambios se encuentra todavía en estudio. Pese a ello, existen trabajos que enumeran una serie de factores de riesgo que pueden influir en estos cambios. Algunos de estos factores de riesgo incluyen el trabajo de cerca, la miopía parental, la escolarización y el nivel cultural (en los humanos obviamente), así como la relación entre la refracción periférica del globo ocular con respecto a la refracción en eje central del mismo. De igual modo, se ha descrito la actividad al aire libre como factor protector frente a la aparición de miopía en los individuos en crecimiento. [108] Todos estos factores de riesgo son ambientales excepto el caso de la miopía parental, donde entra en juego la heredabilidad y los factores genéticos. A pesar de que a día de hoy no se conocen con exactitud las causas genéticas de determinados defectos refractivos como la miopía, estudios en gemelos sugieren que entre un 70 y 80 % de dichas ametropías se deben a factores genéticos mientras que entre el 20 y 30 % restante se debe tanto a factores ambientales relacionados con el propio individuo como a factores ambientales compartidos con su familia. [116] No obstante, parece existir cierta unanimidad en el hecho de que los factores genéticos tienen mayor importancia en las miopías altas, mientras que los factores ambientales juegan un papel decisivo en las miopías infantiles escolares. [115]

En cuanto al astigmatismo, no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre las razas analizadas. Sin embargo, en los grupos formados por los caballos Pura Raza Española, el grupo de los cruzados, así como en el grupo de los ponis, el astigmatismo a favor de regla fue estadísticamente más prevalente que el astigmatismo en contra de la regla. En la literatura consultada no existen datos comparando el astigmatismo entre diferentes grupos raciales. Sin embargo, en la especie humana sí que se describen cambios en el astigmatismo según qué poblaciones y grupos étnicos se analicen. Así, se ha comprobado que la etnia asiática presenta mayores ratios de cambio en el astigmatismo en comparación con la etnia caucásica. [107] Los autores han sugerido que la mayor tensión de los párpados y la más estrecha apertura palpebral de las poblaciones asiáticas podrían ser los responsables de estas diferencias.

6.2.4. Probabilidad-Riesgo de padecer una ametropía

A la vista de los resultados obtenidos, podemos afirmar que existen grupos de caballos con mayor predisposición a padecer ciertas ametropías que otros.

En el caso de la miopía, el modelo lineal de regresión logística predice el caballo macho y adulto como el prototipo más idóneo a ser miope. Los caballos considerados en este trabajo como cruzados son los que mayor probabilidad tienen de ser hipermétropes comparados con los españoles y los árabes. Por otro lado, los más predispuestos a no tener ningún tipo de ametropía, es decir, a ser emétropes son los animales jóvenes y hembras. En el caso del astigmatismo, de nuestros resultados se desprende que los machos presentan mayor prevalencia de astigmatismo que las hembras.

Si estas evidencias se deben a factores genéticos más que a factores ambientales, es algo que a día de hoy se nos hace imposible de discernir. Sin embargo, este hecho no hace menos cierto que con los resultados que arroja este trabajo se pueda afirmar que existen poblaciones de equinos más susceptibles de poseer determinados defectos de refracción que otras. Trabajos con mayores números de muestra, involucrando más razas y teniendo en cuenta en cada caso las condiciones ambientales y de manejo, se hacen imprescindibles para poder llegar a un conocimiento más profundo sobre el estado de refracción del ojo equino y sus poblaciones de riesgo.

6.2.5. Consideraciones sobre otras razas

Del resto de razas estudiadas incluyendo el burro, llaman la atención las diferencias encontradas entre algunos de los grupos estudiados. El estado de refracción medio de los ponis estuvo más cerca del 0 que el resto, con un valor de refracción medio de $-0,03 \pm 0,17$ D. Por contra, los demás grupos mostraron valores medios de refracción más negativos, destacando la refracción media del grupo de los lusitanos con un valor de $-0,40 \pm 0,21$ D. Si los resultados destacados se deben realmente al factor racial (o de especie en el caso del burro) o a otros factores tales como el sexo o la edad es algo que requiere un estudio más extenso con mayores números de muestra que permitan poder aplicar pruebas estadísticas que lo confirmen y poder sacar conclusiones al respecto.

Otro dato que llama la atención es el elevadísimo porcentaje de individuos astígmata encontrados dentro del grupo del burro. Casi la mitad de los animales analizados presentaron astigmatismo $\geq 0,50$ D, dato que contrasta con otros valores encontrados como el 15,9 % de astígmata diagnosticados dentro del Pura Raza Árabe. Al igual que en el caso del estado de refracción medio, el escaso número de muestra del grupo del burro hace que se requieran mayores números de animales para poder afirmar si este elevado valor se debe realmente al factor inter-especie o se debe a otros factores como el sexo (factor que ha resultado estadísticamente influyente sobre esta variable).

6.2.6. Efecto de los defectos de refracción sobre la visión

En cuanto a la influencia de los defectos de refracción sobre la visión en los equinos, a día de hoy no es fácil determinar hasta qué punto el desenfoque puede afectar a su agudeza visual y aún más puede afectar las tareas cotidianas a las que se someten los équidos. Algunos autores han intentado establecer dicha relación en equinos sosteniendo que cada dioptría de desenfoque provoca una pérdida de agudeza de un ciclo por grado. Similares resultados se han obtenido en perro, y en ambos casos esta relación entre desenfoque y agudeza visual se ha obtenido mediante la interpretación de potenciales evocados visuales. [41] [40] Aunque estos resultados son un gran avance para comprender cómo afectan los defectos de refracción sobre la agudeza visual, no dejan de ser evidencias que requieren un estudio más profundo. No obstante, a día de hoy no hay datos sobre el efecto global que los defectos de refracción tienen sobre la visión. Sin embargo, desde un punto puramente clínico, podemos afirmar que durante la realización de este trabajo nos encontramos con evidencias que sugieren que defectos de refracción elevados pueden empeorar el rendimiento de los animales en determinados casos. A modo de ejemplo, dos animales de raza árabe y lusitana, cuyos estados de refracción fueron de elevada miopía (por encima de las 4 dioptrías ambos) mostraban especial dificultad a la hora de ser domados según sus propietarios y eran más asustadizos de lo normal ante algunos obstáculos. Otro caso que llamó la atención fue el de un Anglo-Árabe con un elevado astigmatismo en su ojo izquierdo. Se le preguntó al propietario antes de que este supiese el resultado de la refracción si notaba alguna variación en el comportamiento del animal y éste indicó que por el lado izquierdo su caballo siempre se mostraba más reacio a girar y que en general se asustaba más de lo normal por ese lado.

Estos indicios hallados en nuestro trabajo son coincidentes con las experiencias de otros autores como es el caso de Miller PE y Murphy CJ [1] los cuales encontraron en animales con elevados defectos de refracción (casi siempre miopía o incluso anisometropía) con excesivo miedo ante objetos cotidianos, o animales que se mostraban reacios a saltar o realizar determinadas tareas. Sin embargo, a pesar de estos interesantes hallazgos, coincidimos con estos autores en que los mismos a día de hoy no dejan de ser anecdóticos ya que no se pueden demostrar desde un punto de vista estadístico. Estudios más extensos centrados en esta cuestión podrían esclarecer la relación existente entre los defectos de refracción y la visión en los equinos.

6.3. CONSIDERACIONES FINALES

En general, con este trabajo hemos tratado de dar un pequeño impulso a la ciencia optométrica en el mundo de la oftalmología veterinaria en general y del equino en particular. Comenzamos tratando de dar respuesta a una serie de interrogantes que en principio se planteaban interesantes y realizables desde un punto de vista práctico. Sin embargo, como suele pasar cuando se estudia una materia relativamente poco conocida con cierta profundidad, al término de este trabajo nos encontramos con la necesidad de dar respuesta a nuevos interrogantes más complejos pero imprescindibles para seguir avanzando en la comprensión de los efectos de los errores refractivos en el equino. Por tanto, la finalización de este trabajo no se plantea como un punto final, sino como un punto y seguido en el estudio del estado de refracción en las especies animales domésticas.

Ampliar el número de muestra de las razas estudiadas a las que solo se ha podido aplicar estudios descriptivos, así como ampliar el propio número de razas analizadas, es uno de los pasos inmediatos a seguir, pues nos ayudarán a comprender mejor las diferencias existentes entre los diferentes grupos raciales. Como ya se ha discutido ampliamente en este trabajo, es necesario conocer si la influencia de factores como el sexo, la edad o la propia raza sobre en determinadas variables refractivas tiene relación con factores ambientales y de manejo tales como la estabulación, o bien se relacionan más con factores de tipo genético y hereditario.

Aunque existen indicios para pensar que moderados defectos de refracción pueden influir en el comportamiento de los animales domésticos, es necesario profundizar en el conocimiento de esta materia para poder sacar conclusiones científicamente demostrables. Este es un punto clave para plantearse la posible corrección o prevención de los defectos de refracción en los animales domésticos.

El desarrollo y evolución de la optometría dentro de la oftalmología veterinaria dependerá en buena medida de la potencial demanda social que ésta tenga en un futuro. A pesar de que desde casi el nacimiento de la técnica retinoscópica a finales del siglo XIX existen estudios evaluando el estado de refracción en el equino, a día de hoy, tanto propietarios de los animales como los veterinarios desconocen en su mayoría que es posible determinar el estado de refracción de sus animales de una manera rápida y no invasiva. Por tanto, la demanda social actual de una optometría veterinaria es prácticamente inexistente debido principalmente al desconocimiento de su propia existencia. Por alguna razón, el conocimiento del mundo de la investigación no se ha trasladado al mundo de la clínica, algo que debe cambiar para que la optometría en la medicina veterinaria despegue finalmente. Para ello, es imprescindible la

formación optométrica de los oftalmólogos veterinarios, incorporando materias a la oftalmología veterinaria hasta ahora reservadas a disciplinas como la oftalmología y la óptica y optometría humanas. Como consecuencia, un oftalmólogo veterinario con formación optométrica haría que la investigación en esta materia avanzase de forma mucho más rápida y facilitaría que la demanda social avanzase de igual forma.

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

1.- El estado de refracción del ojo equino en las razas estudiadas se encuentra dentro de la emetropía.

2.- El astigmatismo es un defecto de refracción frecuente (23,3 %) en el equino, mientras que la anisometropía lo es muy poco (3,1 %).

3.- La raza tiene influencia significativa en el estado de refracción, existiendo una tendencia hacia la miopía en el Pura Raza Español.

4.- La edad y el sexo juegan un papel determinante en el riesgo que presenta un caballo a padecer determinados defectos de refracción. El hecho de ser adulto y macho es un factor de riesgo para padecer miopía en el equino mientras que el hecho de ser joven y hembra es factor protector frente a las ametropías.

5.- La inducción de la cicloplegia no tiene influencia en la determinación del estado de refracción mediante retinoscopia, por lo que no se hace imprescindible su uso para obtener mediciones fiables.

6.- La técnica retinoscópica es una técnica rápida y fiable para evaluar el estado de refracción del ojo equino y por tanto es válida para ser incorporada al examen oftalmológico rutinario.

RESUMEN

8. **RESUMEN**

La evaluación del estado de refracción del ojo equino es una práctica que a día de hoy se realiza por muy pocos profesionales del mundo de la oftalmología veterinaria. Este hecho ha hecho que el desconocimiento del estado refractivo entre animales de poblaciones locales sea prácticamente absoluto. Hasta la fecha, el acercamiento hacia esta materia ha quedado circunscrito casi por completo al ámbito de la investigación. Algunos autores sin embargo, han destacado la gran importancia de incluir la determinación del estado de refracción en equinos de forma rutinaria en el examen oftalmológico, ya que entre otros motivos se han encontrado indicios de que determinados defectos de refracción pueden tener una notable influencia en alteraciones del comportamiento en estos animales.

En este trabajo nos planteamos como objetivo principal evaluar el estado refractivo de las razas más frecuentes en la comunidad autónoma de Andalucía y comprobar el comportamiento de esta variable en función de distintos factores de riesgo tales como la edad, la raza o el sexo. Así mismo, nos planteamos como objetivos secundarios por un lado, conocer la influencia de la midriasis y cicloplegia sobre la determinación del estado de refracción ya que a priori la acomodación podría ser factor modificador de nuestros resultados y por otro, comprobar la viabilidad de la técnica retinoscópica como método para evaluar el estado refractivo en los equinos.

La medición del estado de refracción se realizó mediante el retinoscopio de franja Reister (Ri-tinoscope. Riester, Alemania) y las barras de lentes oftálmicas Luneau (Luneau Ophthalmologie, Chartes Cedex, Francia) a una distancia fija de trabajo de 67 cm. Se evaluaron un total de 371 animales (720 ojos) de diferentes razas, edades e incluyendo ambos sexos. El estudio incluyó un análisis descriptivo de los valores refracción medios, distribución de estados refractivos, valores medios de astigmatismo así como de anisometropía, en el total de los individuos estudiados. Para analizar el comportamiento de estas variables en función de los factores sexo, edad y raza, se seleccionaron tan solo los grupos raciales más numerosos, siendo éstos los grupos del Pura Raza Español, Pura Raza Árabe y un grupo formado por animales sin ancestros conocidos de pura raza, al cual denominamos como grupo de cruzados. Para las comparaciones en función de la edad, los animales se dividieron en tres grupos formados por animales jóvenes de hasta 5 años de edad, animales adultos mayores de 5 años pero menores de 14, y por último animales geriátricos formados por animales mayores de 14 años. Se calculó un modelo de regresión logística para prever el riesgo que puede presentar un individuo de padecer una determinada ametropía por pertenecer a alguno de los grupos de

riesgo estudiados. Para comparar la influencia de la cicloplegia sobre la evaluación del estado de refracción, se seleccionaron 13 individuos al azar y se comparó el estado refractivo antes y varios minutos después de la aplicación de solución oftálmica de tropicamida. Las medias se expresaron en dioptrías \pm error típico (ET). Se consideró la presencia de miopía cuando el error refractivo fue $\leq -0,50$ D, hipermetropía cuando fue $\geq 0,50$ D, y emetropía cuando la refracción se mantuvo entre valores intermedios a los anteriormente mencionados.

El estado de refracción evaluado antes y después de la aplicación de la cicloplegia en los 13 individuos (26 ojos) analizados no mostró diferencias estadísticamente significativas.

El estado de refracción medio obtenido en el conjunto total de animales fue de $-0,24 \pm 0,04$ D. El 57,8 % de los animales evaluados resultaron ser emétopes, seguido de un 30,8 % de miopes y un 11,8 % de hipermétropes. Un 23,3 % de individuos presentaron un astigmatismo $\geq 0,50$ D y tan solo un 3,7 % presentaron una anisometropía $\geq 1,00$ D.

Analizando los datos en función del sexo, los machos resultaron tener un estado refractivo estadísticamente diferente al de las hembras, con unos valores medios de refracción de $-0,38 \pm 0,05$ D y $+0,01 \pm 0,05$ D respectivamente ($p < 0,001$). La prevalencia de machos miopes fue estadísticamente mayor que la de las hembras, con una frecuencia de presentación de 38,5 % y 17,7 % respectivamente ($p < 0,001$). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a hipermetropía y astigmatismo. El astigmatismo $\geq 0,50$ D resultó ser estadísticamente más prevalente entre los machos que entre las hembras ($p = 0,049$). La anisometropía $\geq 1,00$ D mostró unos valores de prevalencia muy bajos, encontrándose tan solo un 3,6 % de machos anisométricos y un 3,8 % de hembras.

En cuanto a la edad, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el estado de refracción medio entre adultos y jóvenes, con unos valores medios de $-0,34 \pm 0,05$ D y $-0,01 \pm 0,07$ D respectivamente ($p < 0,001$). La prevalencia de adultos y geriátricos miopes encontrada fue de 36,5 % y 34,3 % respectivamente frente al 14,1 % de los jóvenes, siendo la prevalencia de los dos primeros estadísticamente mayor que la de los últimos ($p < 0,001$ y $p = 0,029$ respectivamente). En el caso de la hipermetropía, la prevalencia encontrada de hipermétropes fue estadísticamente superior entre los geriátricos que entre los adultos ($p = 0,047$). En cuanto a la emetropía, la frecuencia de jóvenes resultó ser estadísticamente mayor entre los jóvenes que entre adultos y geriátricos ($p = 0,036$ y $p = 0,038$ respectivamente). En cuanto al astigmatismo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. En el caso de la anisometropía, los valores encontrados fueron bajos, con un 1,4 %, 4,1 %, 5,7 % de individuos anisométricos $\geq 1,00$ D entre jóvenes, adultos y geriátricos respectivamente.

En el caso de la raza, el estado de refracción medio del Pura Raza Español resultó ser estadísticamente diferente del grupo del cruzado, siendo los españoles más tendentes a valores de refracción negativos que los cruzados ($p = 0,002$) con unos valores medios de $-0,32 \pm 0,06$ D para el español y $-0,02 \pm 0,08$ D para el cruzado. El estado de refracción medio encontrado del grupo del Pura Raza Árabe fue de $-0,30 \pm 0,10$ D, valor que no resultó ser estadísticamente diferente que el del cruzado, aunque se observó una marcada tendencia hacia valores más negativos del árabe con respecto al cruzado ($p = 0,090$). La prevalencia encontrada de individuos miopes dentro del Pura Raza Español fue del 37,0 % frente al 21,9 % de los cruzados, diferencia que estadísticamente no llegó a ser significativa pero que sí indicó una tendencia muy marcada ($p = 0,053$). En el caso de la hipermetropía, la prevalencia encontrada dentro de los cruzados fue estadísticamente superior a la encontrada tanto entre los españoles como entre los árabes ($p = 0,004$ y $p = 0,002$). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al astigmatismo en ninguna de los tres grupos raciales analizados.

El modelo de regresión logística aplicado, predijo que los animales machos presentan mayor probabilidad de padecer miopía que las hembras ((OR: 3,69 [1,83-7,48] $p < 0,001$)), mientras que los adultos y geriátricos presentan mayor probabilidad que los jóvenes ((OR: 4,28 [1,83-9,99] $p = 0,001$), (OR: 3,87 [1,41-10,65] $p = 0,009$) respectivamente). En cuanto a la hipermetropía, los animales cruzados presentan mayor probabilidad de presentar hipermetropía que los árabes y españoles ((OR: 7,52 [1,99-28,42] $p = 0,003$) y (OR: 4,63 [1,61-13,35] $p = 0,002$) respectivamente). En cuanto a la emetropía, los jóvenes presentan una probabilidad superior de ser emétopes que los geriátricos ((OR: 3,01 [1,33-7,17] $p = 0,025$)) mientras que las hembras presentan mayor susceptibilidad de presentar emetropía que los machos ((OR: 2,78 [1,52-5,08] $p = 0,001$)).

Los resultados obtenidos muestran que el ojo equino se encuentra dentro de los valores normales considerados de emetropía, como ya se ha descrito por otros autores. Sin embargo, hemos encontrado diferencias en el estado de refracción de individuos de diferentes edades y sexos, e incluso hemos hallado diferencias entre algunos grupos raciales como la encontrada entre el grupo del Pura Raza Español y el del cruzado, algo inédito en el equino hasta la fecha. El astigmatismo encontrado en la literatura a día de hoy había sido descrito como poco frecuente o relevante. Nuestros datos muestran una frecuencia de astigmatismo claramente superior a la encontrada por otros autores. La causa o causas responsables de las diferencias halladas entre las diferentes variables analizadas en este trabajo es algo que se debe estudiar con mayor extensión y profundidad. La cicloplegia se ha mostrado irrelevante a la hora de

evaluar el estado refractivo en el equino mediante retinoscopia, por lo que no se hace necesaria para una correcta evaluación del estado de refracción en estos animales. Así mismo, la técnica retinoscópica se ha demostrado ser una técnica rápida y fiable para la determinación rutinaria del estado de refracción en el equino.

SUMMARY

9. SUMMARY

Assessing the refractive state of the equine eye is a procedure currently performed by very few professionals in the world of the veterinary ophthalmology. This fact has made knowledge of the refractive state of the local horse population almost nonexistent. The approach to this matter has remained almost exclusively in the world of research to date. However, some authors have highlighted the importance of including the assessment of the refractive state in the eye examination on a regular basis in horses due to the fact that, among other reasons, some evidence has been found suggesting that refractive errors may have an important influence on behavioural disorders in these animals.

In this paper we propose to measure the refractive state of the most common breeds in the region of Andalucía as our main objective, as well as evaluating the behaviour of this variable according to several risk factors such as age, breed and sex. Likewise, we propose two secondary objectives: firstly, to know the influence of mydriasis and cycloplegia on the evaluation of the refractive state, since a priori accommodation could be a modifying factor of our results. Secondly, to check the viability of the retinoscopy technique itself as a method to evaluate the refractive state on equines.

The assessment of the refractive state was performed using the Reister streak retinoscope (Ri-tinoscope. Riester, Germany) and the Luneau retinoscopy bars (Luneau Ophtalmologie, Chartes Cedex, France) at a fixed working distance of 67 cm. 371 animals (720 eyes) of different breeds, ages, and sexes were evaluated. The study included a descriptive analysis of the mean refraction values, the distribution of different refractive states as well as mean values of both astigmatism and anisometropia across the whole sample of animals studied. In order to analyse the behaviour of these variables based on the risk factors, that is to say, sex, age and breed, only the largest breed groups were selected, namely, the Spanish Thoroughbred Horse, the Arabian Thoroughbred Horse, and a group consisting of animals whose direct antecedents did not belong to any recognized pure breed, the so-called "cruzado".

In order to perform comparisons based on age, the animals were divided into three groups consisting of young animals up to 5 years old, adult animals between 5 and 14 years inclusively, and finally, geriatrics consisting of animals older than 14 years. A logistic binary regression model was calculated in order to anticipate the risk an individual may have because of its belonging to any of the risk groups studied. In order to measure the influence of cycloplegia on the assessment of the refractive state, 13 animals were randomly selected and

refraction was measured before and several minutes after the instillation of tropicamide ophthalmic solution in both eyes of each animal. The mean values were expressed in diopters \pm standard error (SE). The spherical equivalent of -0.50 D or less was considered as myopia; hyperopia was considered as $+0.50$ D or more and emmetropia the values between -0.50 and $+0.50$ D.

The refractive state assessed before and after the instillation of the cycloplegic drug in the eyes of the 13 individuals (26 eyes) was not found to be statistically significant.

The global refractive error was -0.24 ± 0.04 D. 57.8 % of the whole sample was found to be emmetropic, followed by 30.8 % of myopics, and finally 11.8 % of hyperopics. 23.3 % of the individuals were found to be astigmatic ≥ 0.50 D, and only a mere 3.7 % of the individuals was diagnosed with anisometropia ≥ 1.00 D.

Analyzing data based on sex, the refractive state of the males proved to be statistically different to that of the females with a mean value of -0.38 ± 0.05 D for males and $+0.01 \pm 0.05$ D females ($p < 0.001$). Prevalence of myopic males was statistically superior to that of the females ($p < 0.001$). Regarding hyperopia and emmetropia, no statistically significant differences were found. Astigmatism ≥ 0.50 D was found to be statistically higher among males to that found among females ($p = 0,049$). The values of anisometropia ≥ 1.00 D were found to be very low in both males and females, with only 3.6 % of the former and 3.8 % of the latter being diagnosed with anisometropia.

With regard to age, statistically significant differences were found in the mean refractive state between young and adult animals, with a mean value of -0.34 ± 0.05 D and -0.01 ± 0.07 D respectively ($p < 0.001$). The prevalence of myopia in adults and geriatric animals, was found to be statistically higher than in the younger ones ($p < 0.001$ and $p = 0.029$ respectively). As far as hyperopia is concerned, the prevalence of hyperopic geriatric animals was found to be higher than that of the adults ($p = 0.047$). With regard to emmetropia, the frequency of young emmetropics was found to be statistically higher than that of both the adults and geriatrics ($p = 0,036$ and $p = 0,038$ respectively). Concerning astigmatism, no statistically significant differences were found among the different groups of age. Concerning anisometropia ≥ 1.00 D, the frequency of presentation was very low, with 1.4 %, 4.1 % and 5.7 % of young, adults and geriatrics respectively.

As far as breeds in concern, the mean refractive state of the Spanish Thoroughbred Horse, was found to be statistically different to that of the crossbred, with the former showing a

higher trend towards negative values than the latter ($p = 0,002$) with a mean value of -0.32 ± 0.06 D for the Spanish Thoroughbred and -0.02 ± 0.08 D for the crossbred horse. The mean refractive state of the Arabian Thoroughbred was -0.30 ± 0.10 D, a value that was not found to be statistically different to that of the others, although a clear trend of the former towards negative refractive values to that of the crossbred horse was observed ($p = 0.090$). The prevalence of myopic individuals among Spanish Thoroughbred was 37.0 %, compared to 21.9 % of myopic crossbred. Although this difference was not found to be statistically different, statistics showed a clear trend ($p = 0.053$). Regarding hyperopia, the prevalence among the group of crossbred horses was found to be statistically higher than that of both the Spanish and Arabian Thoroughbred horses ($p = 0.004$ and $p = 0.002$ respectively). No statistically significant differences were found regarding astigmatism in any of the groups assessed.

The binary logistic regression model used predicted males to have a higher likelihood of suffering myopia than females ((OR: 3,69 [1,83-7,48] $p < 0,001$)), while adult and geriatric animals have a higher likelihood of suffering myopia than young animals ((OR: 4,28 [1,83-9,99] $p = 0,001$), (OR: 3,87 [1,41-10,65] $p = 0.009$) respectively)). Regarding hyperopia, crossbred horses have a higher likelihood of suffering hyperopia than both Arabian and Spanish Thoroughbred horses ((OR: 7,52 [1,99-28,42] $p = 0,003$) y (OR: 4,63 [1,61-13,35] $p = 0,002$) respectively). Concerning emmetropia, young animals have a higher likelihood of being emmetropic than geriatrics ((OR: 3,01 [1,33-7,17] $p = 0,025$)), while females are more prone to be emmetropic than males ((OR: 2,78 [1,52-5,08] $p = 0,001$)).

The results found in this paper show that the equine eye is included in the normal values considered as emmetropia, as other authors have reported. However, we have found differences in the refractive state of individuals of different age and sex, and we have even found differences between some breed groups, such as that found among the Spanish Thoroughbred and the crossbred horse, evidence which is unpublished to date.

Astigmatism has been described in the literature as of little relevance and frequency to date. However, our results show a frequency of astigmatism clearly superior to what had been previously described. The causes underlying the differences found among the variables analyzed in this paper require additional research. Cycloplegia has shown to be irrelevant in the assessment of the refractive state in the equine eye using retinoscopy, which is the reason it is not necessary to include it when performing a proper assessment of the refractive state in these animals. Likewise, the retinoscopy technique has proved to be a fast and reliable technique in order to routinely assess the refractive state in equines.

BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Miller y C. Murphy, «Equine Vision,» de *Equine Ophthalmology*, St Louis, Missouri: Elsevier Saunders, 2010, pp. 397-433.
- [2] M. Dirani, S. N. Sherkar y P. Baird, «Adul-Onset Myopia: The Genes in Myopia (GEM) Twin Study,» *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, vol. 49, pp. 3324-3327, 2008.
- [3] D. Hornbeak y T. Young, «Myopia genetics: a review of current research and emerging trends,» *Current Opinion in Ophthalmology*, vol. 20, nº 5, pp. 356-362, 2009.
- [4] F. Jacobi y C. Pusch, «A decade in search of myopia genes,» *Frontiers in Bioscience*, vol. 15, pp. 359-372, 2010.
- [5] Y.-P. Chen, A. Prasbar, J. Erichsen, C.-H. To, P. Hocking y J. Guggenheim, «Heritability of Ocular Component Dimensions in Chickens: Genetic Variants Controlling Susceptibility to Experimentally Induced Myopia and Pretreatment Eye Size Are Distinct,» *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, vol. 52, pp. 4012-4020, 2011.
- [6] Y.-P. Chen, P. Hocking, L. Wang y J. Guggenheim, «Selective Breeding for Susceptibility to Myopia Reveals a Gene-Environment Interaction,» *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, vol. 52, pp. 4003-4011, 2011.
- [7] J. Black, S. Browning, A. Collins y J. Phillips, «A Canine Model of Inherited Myopia: Familial Aggregation of Refractive Error in Labrador Retrievers,» *Investigative Ophthalmology and Vision Science*, vol. 49, pp. 4784-4789, 2008.
- [8] J. Casas, «Óptica geométrica,» de *Óptica*, Zaragoza, PONS, 1994, pp. 3-67.
- [9] J. Casas, «Visión y fotometría,» de *Óptica*, Zaragoza, Librería PONS, 1994, pp. 492-493.
- [10] D. Samuelson, «Ophthalmic Anatomy,» de *Veterinary Ophthalmology*, vol. 1, Carlton, Victoria: Blackwell Publishing, 2007, pp. 38-148.
- [11] A. Gullstrand, de *Physiologische Optik*, Southall, J.P.C. Optical Society of America, 1924, pp. 350-358.
- [12] Y. Le Grand, «La dioptrique de l'oeil et sa correction,» de *Optique Physiologique*, vol. 1, Paris, Masson, 1956.
- [13] D. Coile y L. O'Keefe, «Schematic eyes for domestic animals,» *Ophthalmic Physiological Optics*, vol. 8, pp. 215-220, 1988.
- [14] J. Sivak y D. Allen, «An evaluation of "the ramp retina" of the horse eye.,» *Vision*

- Research*, vol. 15, pp. 1355-1356, 1975.
- [15] L. Knill, R. Eagleton y E. Harver, «Physical optics of the equine eye.,» *American Journal of Veterinary Research*, vol. 38, pp. 735-737, 1977.
- [16] J. Romero Mora, J. García García y A. García y Beltrán, Curso introductorio a la óptica fisiológica, Granada: Comares, 1996.
- [17] R. Montes-Mico, J. Alió, G. Muñoz, J. P. Sajonia y W. Charman, «Postblink changes in total and corneal ocular aberrations,» *Ophthalmology*, vol. 111, pp. 758-767, 2004.
- [18] S. Fish, S. Pflugfelder y C. d. Pasiva, «The effect of tear film composition on refraction,» *Investigative Ophthalmology*, vol. 45, p. ARVO abstract 3887, 2004.
- [19] J. Gaiddon, S. Rosolen, L. Steru, C. Cook y R. J. Peiffer, «Use of biometry and keratometry for determining optimal power for intraocular lens implants in dogs,» *American Journal of Veterinary Research*, vol. 52, pp. 781-783, 1991.
- [20] A. Hughes, «The topography of vision in mammals of contrasting life style: Comparative optics and retinal organization,» de *The visual system in vertebrates-Handbook of Sensory Physiology VII*, Berlin, Springer-Verlag, 1977.
- [21] S. Duke-Elder, «The dioptric imagery of the eye,» de *System of Ophthalmology*, vol. Ophthalmic Optics and Refraction, London, Henry Kimpton, 1970, pp. 93-152.
- [22] M. Millodot, «Image formation in the eye,» de *The senses*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982, pp. 46-61.
- [23] R. Ofri, «Optics and Physiology of Vision,» de *Veterinary Ophthalmology*, Fourth edition ed., Ames, Iowa: Blackwell Publishing, 2007, pp. 198-200.
- [24] J. Ringo, M. Wolbarsht, H. Warner, R. Crocker y F. Amthor, «Trichromatic vision in the cat,» *Science*, vol. 198, pp. 753-755, 1977.
- [25] J. Carrol, C. Murphy, M. Neitz, J. Ver Hoeve y J. Neitz, «Photopigment basis for dichromatic color vision in the horse,» *Journal of vision*, vol. 1, pp. 80-87, 2001.
- [26] E. Smith, V. Greenwood y A. Bennet, «Ultraviolet colour perception in European starling and Japanese quail,» *Journal of Experimental Biology*, vol. 205, pp. 3299-3306, 2002.
- [27] R. Ofri, W. Dawson y K. Gelatt, «Visual Resolution in Normal and Glaucomatous Dogs determined by Pattern Electroretinogram,» *Prog Veterinary and Comparative Ophthalmology*, vol. 3, pp. 111-116, 1993.
- [28] J. Stone, «A quantitative analysis of the distribution of ganglion cells in the cat's retina,» *J Comp Neurol*, vol. 124, pp. 337-352, 1965.

- [29] A. Harman, S. Moore, R. Hoskings y P. Keller, «Horse vision and an explanation for the visual behavior originally explained by the "ramp retina",» *Equine Veterinary Journal*, vol. 3, pp. 91-93, 1999.
- [30] R. Hebel, «Distribution of retinal ganglion cells in five mammalian species (pig, sheep, ox, dog),» *Anat Embryol*, vol. 150, pp. 45-51, 1976.
- [31] X. Guo y S. Sugita, «Topography of ganglion cells in the retina of the horse,» *J Vet Med Sci*, vol. 62, pp. 1145-2000, 2000.
- [32] D. Sandmann, B. Boycott y L. Peichl, «Blue-cone horizontal cells in the retinae of horses and other Equidae,» *J Neurosci*, vol. 16, pp. 3381-3396, 1996.
- [33] X. Guo y S. Sugita, «Quantitative analysis of the organization of the inner nuclear layer of the retina,» *J Vet Med Sci*, vol. 64, pp. 847-849, 2002.
- [34] D. Levi, «Visual acuity,» de *Alder's physiology of the eye: clinical application*, St. Louis, CV Mosby, 2003, pp. 627-630.
- [35] G. Westheimer, «Visual acuity,» de *Alder's physiology of the eye: clinical application*, St. Louis, CV Mosby, 2003, pp. 453-469.
- [36] G. Rehkamper, A. Perrey y C. Werner, «Visual Perception and Stimulus Orientation in Cattle,» *Vision Research*, vol. 40, pp. 2489-2497, 2000.
- [37] S. Belleville y W. F., «The Development of Vernier Acuity in the Cat,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 31, pp. 1175-1180, 1990.
- [38] W. Neuhaus y E. Regenfuss, «The Visual Acuity of the Dog under Different Brightness,» *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, vol. 57, pp. 137-146, 1967.
- [39] B. Timney y K. Keil, «Visual Acuity in the Horse,» *Vision Research*, vol. 32, pp. 2289-2293, 1992.
- [40] C. Murphy, D. Mutti y K. Z. e. al, «Effect of optical defocus on visual acuity in dogs,» *American Journal of Veterinary Research*, vol. 58, pp. 414-418, 1997.
- [41] J. ver Hoeve y C. Murphy, «Horse sense: Electrophysiologic measures of equine vision,» *Investigative Ophthalmology Vision Science*, vol. 40, p. ARVO abstract s22, 1999.
- [42] Y. Itoh, S. Maehara, K. Okada y Y. Izumisawa, «Pattern-Stimulated Visual Evoked Potential in Dog: Changes in Elicited Response with Pattern Size and Calculation of Visual Acuity,» *The Journal of Veterinary Medical Science*, vol. 72, pp. 1449-1453, 2010.
- [43] L. Reymond, «Spatial visual acuity of the eagle *Aquila audax*: A behavioural, optical and anatomical investigation,» *Vision Research*, vol. 25, pp. 1477-1491, 1985.

- [44] L. Wadesten, «The use of flicker electroretinography in the human eye: observations on clinical cases,» *Acta Ophthalmologica*, vol. 34, pp. 311-340, 1956.
- [45] P. Miller y C. Murphy, «Vision in dogs,» *Journal of the American Medical Association*, vol. 207, pp. 1623-1634, 1995.
- [46] J. Odom y W. Dawson, «Canine visual acuity: Retinal and cortical field potentials evoked by pattern stimulation,» *American Journal of Physiology*, vol. 245, pp. 636-641, 1983.
- [47] R. Blake, S. Cool y M. Crawford, «Visual Resolution in the Cat,» *Vision Research*, vol. 14, pp. 1211-1217, 1974.
- [48] S. Hall y D. Mitchell, «Grating Acuity of Cats measured with Detection and Discrimination Tasks,» *Behavioural Brain Research*, vol. 44, pp. 1-9, 1991.
- [49] T. Pasternak y K. Horn, «Spatial Vision of the Cat: Variation with Eccentricity,» *Visual Neuroscience*, vol. 6, pp. 151-158, 1991.
- [50] K. N. Gelatt, «Examen oftálmológico y procedimientos diagnósticos,» de *Fundamentos de oftalmología veterinaria*, Barcelona, Masson, 2003, pp. 1-26.
- [51] F. Ollivier, C. Plummer y K. Barrie, «The Eye Examination and Diagnostic Procedures,» de *Veterinary Ophthalmology*, Blackwell Publishing, 2007, pp. 438-483.
- [52] W. Furlan, J. García y L. Muñoz, *Fundamentos de optometría: Refracción ocular*, 2da edición ed., Valencia: Universitat de Valencia. Servei de Publicacions, 2009.
- [53] H. Hendrickson, «Skeffington Syndrome Case Analysis,» *Journal of Behavioral Optometry*, vol. 2, p. 93, 1991.
- [54] G. Smith, «Relation between spherical refractive error and visual acuity,» *Optometry and Vision Science*, vol. 68, pp. 591-598, 1991.
- [55] J. Corboy, D. Norath, R. Reffner y R. Stone, *The retinoscopy book*, 5ª ed., Thorofare NJ: Slack incorporated, 2003.
- [56] P. Schor y D. Miller, «Optics,» de *Alder's Physiology of the Eye*, London, Elsevier Saunders, 2011, pp. 2,3.
- [57] T. Grosvenor, «A review and suggested classification system for myopia on the basis of age-related prevalence and age onset,» *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 64, pp. 545-555, 1987.
- [58] S. Read, M. Collins y L. Carney, «A review of astigmatism and its possible genesis,» *Clinical and Experimental Optometry*, vol. 90, pp. 5-19, 2007.

- [59] T. Grosvenor, «Etiology of astigmatism,» *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 55, pp. 214-218, 1978.
- [60] T. Grosvenor, S. Quintero y D. Perrigin, «Predicting refractive astigmatism: a suggested simplification of Javal's rule,» *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 65, pp. 292-297, 1988.
- [61] R. Harwerth y C. Schor, «Binocular vision,» de *Alder's Physiology of the Eye*, St Louis, Elsevier Saunders, 2011, pp. 677-697.
- [62] I. Borish, «Anisometropia and aniseikonia,» de *Clinical refraction*, Chicago, Professional Press, 1975, pp. 257-306.
- [63] B. Wang y K. Ciuffreda, «Depth-of-focus of the human eye in the near retinal periphery,» *Vision Research*, vol. 44, pp. 1115-1125, 2004.
- [64] A. Glasser, «Accommodation,» de *Alder's physiology of the eye*, London, Elsevier-Saunders, 2011, pp. 40-70.
- [65] L. Bito, «Age-dependent loss of accommodative amplitude in rhesus monkeys: An animal model for presbyopia,» *Investigative Ophthalmology Vision Science*, vol. 23, pp. 23-31, 1982.
- [66] R. Fisher, «The Elastic Constants of Human Lens,» *Journal of Physiology*, vol. 212, pp. 147-180, 1971.
- [67] N. Mc Brien, H. Moghaddam, R. New y L. Williams, «Experimental myopia in a diurnal mammal (*Sciurus carolinensis*) with no accommodative ability,» *Journal of Physiology*, vol. 469, pp. 427-441, 1993.
- [68] D. Samuelson, «A reevaluation of the comparative anatomy of the eutherian iridocorneal angle and associated ciliary body,» *Veterinary and Comparative Ophthalmology*, vol. 6, pp. 153-172, 1996.
- [69] M. Tscherning, «Accommodation,» de *Philadelphia*, The Keystone, 1904.
- [70] E. Nicolas, *Veterinary and Comparative Ophthalmology*, London: H & W Brown, 1930.
- [71] S. Duke-Elder, «The eye in evolution,» de *System of Ophthalmology*, London, Kimpton: St Louis Mosby, 1958.
- [72] J. Murphy, C. Hall y S. Arkins, «What Horses and Humans See: A Comparative review,» *International Journal of Zoology*, vol. 2009, pp. 1-15, 2009.
- [73] H. Farrall y M. Handscombe, «Follow-up report of a case of surgical aphakia with an analysis of equine visual function,» *Equine Veterinary Journal Supplement*, vol. 10, pp.

- 91-93, 1990.
- [74] W. Townsed, S. Jacobi y J. Bartoe, «Phacoemulsification an implantation of foldable +14 diopter intraocular lenses in five mature horses,» *Equine Veterinary Journal*, vol. 44, pp. 238-243, 2012.
- [75] N. Millichamp, J. Dziezyc y E. Martinez, «Cataract surgery in horses - A progress report,» *Proccedings of American College of Veterinary Ophthalmology*, vol. 27, p. 54, 1996.
- [76] W. Weseman y B. Rassow, «Automated infrared refractors. A comparative study,» *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 64, pp. 627-638, 1987.
- [77] G. McCaghrey y F. Matthews, «Clinical evaluation of a range of autorefractors,» *Ophthalmic & Physiological Optics*, vol. 13, pp. 129-137, 1993.
- [78] J. Jorge, A. Queirós, J. Almeida y M. Parafita, «Retinoscopy/autorefraction: which is the best starting point for a noncycloplegic refraction?,» *Optometry Vision Science*, vol. 82, pp. 64-68, 2005.
- [79] S. Prabakaran, M. Diriani, A. Chia, G. Gazzard, S. Leo, Y. Ling, K. Au Eong, T. Wong y S. Saw, «Cycloplegic refraction in preschool children: comparisons between the hand-held autorefractor, table-mounted autorefractor and retinoscopy,» *Ophthalmic & Physiological Optics*, vol. 29, pp. 422-426, 2009.
- [80] J. Durán de la colina, «Defectos de refracción,» de *Oftalmología clínica*, 5ª edición ed., Elsevier España S.A., 2004, pp. 734-735.
- [81] K. Gelatt, G. Glenwood y E. Mackay, «Evaluation of Mydriatics in Horses,» *Veterinary & Comparative Ophthalmology*, vol. 5, pp. 104-108, 1995.
- [82] R. Navarro, J. Santamaría y J. Bescos, «Accommodation dependent model of the human eye with aspherics,» *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 2, pp. 1273-1281, 1985.
- [83] G. Vakkur y P. Bishop, «The schematic eye in the cat,» *Vision Research*, vol. 3, pp. 357-381, 1963.
- [84] M. Kubai, E. Bentley y P. Miller, «Refractive states of eyes and asociation between ametropia and breed in dogs,» *American Journal of Veterinary Research*, vol. 69, pp. 946-951, 2008.
- [85] C. Murphy, K. Zadnik y M. Mannis, «Myopia and refractive error in dogs,» *Ophthalmologic Visual Sciences*, vol. 33, pp. 2459-2463, 1992.
- [86] B. Randolph, S. J. Cool y M. Crawford, «Visual resolution in the cat,» *Vision Research*, vol. 14, pp. 1211-1217, 1974.

- [87] F. Campbell y D. Green, «Optical and retinal factors affecting visual resolution,» *The Journal of Physiology*, vol. 181, pp. 576-593, 1965.
- [88] K. Konrade, A. Hoffman, K. Ramey, R. Goldenberg y T. Lehenbauer, «Refractive states of eyes and associations between ametropia an age, breed, and axial globe length in domestic cats,» *American Journal of Veterinary Research*, vol. 73, pp. 279-284, 2012.
- [89] P. Grinninger, M. Skalicky y B. Nell, «Evaluation of healthy equine eyes by use of retinoscopy, keratometry and ultrasonographic biometry,» *American Journal of Veterinary Research*, vol. 71, pp. 677-681, 2010.
- [90] C. Stuhr, G. Abrams y M. Bullimore, «The normal refractive of the equine,» *Veterinary Ophthalmology*, vol. 2, p. 265, 1999.
- [91] L. Wouters y A. Demoor, «Retinoscopic determination of refraction in the horse,» *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, vol. 6, pp. 445-454, 1978.
- [92] L. Pollet, «Refraction of normal and aphakic canine eyes,» *Journal of American Animal Association*, vol. 18, pp. 323-326, 1982.
- [93] J. Gaiddon, P. Lallement y N. Bouhana, «Refraction by retinoscopy of normal, aphakic and psedophakic canine eyes: Advantage of a 41-diopter intraocular lens?,» *Veterinary and Comparative Ophthalmology*, vol. 2, pp. 121-124, 1996.
- [94] D. Ramsey, D. Mutti, C. Zadnik, M. Bullimore y C. Murphy, «Refractive error in Rocky Mountain Horses with cornea globosa and with normal corneas,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 41, p. S135, 2000.
- [95] N. Millichamp y J. Dziezyc, «Cataract phacofragmentation in horses,» *Veterinary Ophthalmology*, vol. 3, pp. 157-164, 2000.
- [96] M. Davidson, «Clinical retinoscopy for the veterinary ophthalmologist,» *Veterinary and Comparative Ophthalmology*, vol. 7, pp. 128-137, 1997.
- [97] G. Walls, *The Vertebrate Eye and its Adaptive Radiation*, Mich: Cranbook Institute of Sciences, Bloomfield Hills, 1942.
- [98] R. Ofri, S. Hollingsworth y A. Groth, «Effect of optical defocus on performance of dogs involved in fiedl trial competition,» *American Journal of Veterinary Research*, vol. 73, pp. 546-550, 2012.
- [99] R. Bourne, B. Dineen, S. Ali, D. Noorul Huq y G. Johnson, «Prevalence of Refractive Error in Bangladeshi Adults: Results of the Blindness and Low Vision Survey of Bangladesh,» *Ophthalmology*, vol. 111, pp. 1150-1160, 2004.
- [100] S. Vitale, L. Ellwein, M. Cotch, F. t. Ferris y R. Sperduto, «Prevalence of Refractive Error in the United States, 1999-2004,» *Archives of Ophthalmology*, vol. 126, pp. 1111-1119,

2008.

- [101] A. Sawada, A. Tomidokoro, M. Araie, A. Iwase y T. Yamamoto, «Refractive Errors in an Elderly Japanese Population,» *Ophthalmology*, vol. 115, pp. 363-370, 2008.
- [102] L. Xu, J. Li, T. Cui y e. al, «Refractive error in urban and rural adult Chinese in Beijing,» *Ophthalmology*, vol. 112, pp. 360-363, 2005.
- [103] R. McMullen, R. Buso y J. Salmon, «Effect of 1% tropicamide induced mydriasis on spherical refraction of the adult horse,» *Veterinary Ophthalmology*, vol. 13, p. 418, 2010.
- [104] R. Footedar, E. Rohtchina y I. Morgan, «Necessity of cycloplegia for assessing refractive error in 12-year-old children: A population-based study,» *American Journal of Ophthalmology*, vol. 144, pp. 307-309, 2007.
- [105] B. Gettes y O. Belmont, «Tropicamide - Comparative cyclopegic effects,» *Archives of Ophthalmology*, vol. 66, pp. 336-340, 1961.
- [106] D. Mutti, K. Zadnik, S. Egashira, L. Kish, J. Twelker y A. Adams, «The effect of cycloplegia on measurement of the ocular components,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 35, pp. 515-527, 1994.
- [107] S. Read, M. Collins y L. Carney, «A review of astigmatism and its possible genesis,» *Clinical and Experimental Optometry*, vol. 90, pp. 5-19, 2007.
- [108] C. Pan, D. Ramamurthy y S. Saw, «Worldwide prevalence and risk factors for myopia,» *Ophthalmic & Physiological Optics*, vol. 32, pp. 3-16, 2012.
- [109] R. Asby y F. Schaeffel, «The effect of bright light on lens compensation in chicks,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 51, pp. 5247-5253, 2010.
- [110] I. Morgan, K. Rose, B. Ellwein y RESC, «Is emmetropia the natural endpoint for human refractive development? An analysis of population-based data from the refractive error study in children (RESC),» *Acta Ophthalmologica*, vol. 88, pp. 877-884, 2010.
- [111] E. Irving, M. Callender y J. Sivak, «Inducing myopia, hyperopia and astigmatism in chicks,» *Optometry & Vision Science*, vol. 68, pp. 364-368, 1991.
- [112] A. Shaikh, J. Siegwart y T. Norton, «Effect of interrupted lens wear on compensation for a minus lens in tree shrews,» *Optometry & Vision Science*, vol. 76, pp. 308-315, 1999.
- [113] H. Howlett y S. McFadden, «Spectacle lens compensation in the pigmented guinea pig,» *Vision Research*, vol. 49, pp. 219-227, 2009.
- [114] D. Guyton, P. Greene y R. Scholz, «Dark-rearing interference with emetropization in the rhesus monkey,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 30, pp. 761-764,

1989.

- [115] I. Morgan y K. Rose, «How genetic is school myopia?,» *Progress in Retinal Eye Research*, vol. 24, pp. 1-38, 2005.
- [116] M. Lopes, T. Andrew, F. Carbonaro, T. Spector y C. Hammond, «Estimating Heredability and Shared Environmental Effects for Refractive Error in Twin and Family Studies,» *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, vol. 50, pp. 126-131, 2009.

