



Universidad  
Zaragoza



# Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Implantación del procedimiento PennHIP en el Mastín del  
Pirineo

Implementation of the PennHIP Method in the Pyrenean  
Mastiff

Autor/es

Dunia Lobera García

Director/es

Luis Vicente Monteagudo

Gonzalo Valle Fonck

Facultad de Veterinaria

Curso 2024-2025

---

# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Resumen .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1. Introducción.....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1. Displasia de cadera .....  | 3         |
| 1.2. Predisposición genética a la displasia de cadera .....                               | 3         |
| 1.3. Diagnóstico.....   | 5         |
| 1.3.1. Signos clínicos .....  | 5         |
| 1.3.2. Exploración y evaluación de la laxitud articular.....                              | 5         |
| 1.3.3. Ecografía .....  | 6         |
| 1.3.4. Radiografías .....   | 7         |
| 1.4. Selección genética y control de la displasia de cadera .....                         | 11        |
| 1.4.1. Heredabilidad y bases genéticas de la displasia de cadera.....                     | 11        |
| 1.4.2. Comparación entre las diferentes estrategias de selección genética aplicadas ..... | 12        |
| 1.5. Displasia de cadera en Mastín del Pirineo .....                                      | 15        |
| <b>2. Justificación y Objetivos .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>3. Metodología .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>4. Resultados y discusión .....</b>  | <b>21</b> |
| 4.1. Descripción estadística .....  | 21        |
| 4.2. Gráfica de distribución del DI .....   | 21        |
| 4.3. Gráfica Familiar .....   | 22        |
| 4.4. Correlaciones entre los DI y los ángulos de Norberg.....                             | 23        |
| 4.5. Distribución categorías FCI y presencia de OA .....                                  | 23        |
| 4.6. Análisis de la relación entre el desarrollo de OA, DI y A. Norberg .....             | 24        |
| 4.7. Relación entre la clasificación FCI y DI .....                                       | 25        |
| 4.8. Análisis de la capacidad predictiva del DI en relación con la OA.....                | 26        |
| <b>Conclusiones.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>Valoración personal.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>Anexos .....</b>   | <b>34</b> |

## **Resumen**

La displasia de cadera canina es una patología ortopédica de origen multifactorial que afecta gravemente a razas grandes, como el Mastín del Pirineo, comprometiendo su funcionalidad y bienestar. Este trabajo analiza el control de la displasia de cadera en esta raza mediante el método PennHIP, una técnica diagnóstica avanzada y objetiva basada en el índice de distracción (DI), aplicable desde los 4 meses de edad. Se analizaron registros clínicos de Mastines del Pirineo obtenidos entre 2019 y 2024, en el marco del programa de mejora funcional impulsado por el Gobierno de Aragón y el Club del Mastín del Pirineo. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos, correlacionales y de capacidad predictiva del DI en relación con parámetros clínicos y radiográficos (ángulo de Norberg, clasificación FCI y presencia de osteoartritis). Los resultados mostraron una fuerte correlación entre el DI y la presencia de artrosis, así como una alta capacidad predictiva del DI para anticipar el riesgo articular, con un área bajo la curva ROC de 0,93. Estos hallazgos destacan el potencial del PennHIP como herramienta de selección genética temprana y como soporte para programas de mejora en razas predispuestas. El estudio sienta las bases para futuras investigaciones más amplias que integren análisis completos de genealogía y combinación de métodos diagnósticos, con el objetivo de optimizar la cría y reducir la incidencia de displasia de cadera en el Mastín del Pirineo.

## **Abstract**

Canine hip dysplasia is a multifactorial orthopedic disease that severely affects large breeds, such as the Pyrenean Mastiff, compromising their functionality and welfare. This study evaluates the control of hip dysplasia in this breed using the PennHIP method, an advanced and objective diagnostic technique based on the distraction index (DI), applicable from 4 months of age. Clinical records of Pyrenean Mastiffs obtained between 2019 and 2024 were analyzed, within the framework of the functional improvement program promoted by the Government of Aragón and the Pyrenean Mastiff Club. Descriptive, correlational, and predictive statistical analyses of the DI were conducted in relation to clinical and radiographic parameters (Norberg angle, FCI classification, and presence of osteoarthritis). The results revealed a strong correlation between DI and the presence of osteoarthritis, as well as a high predictive capacity of the DI to anticipate joint risk, with an area under the ROC curve of 0.93. These findings highlight the potential of PennHIP as an early genetic selection tool and as a support for improvement programs in predisposed breeds. This study lays the groundwork for future broader investigations incorporating complete genealogical analyses and the combination of diagnostic methods, with the aim of optimizing breeding and reducing the incidence of hip dysplasia in the Pyrenean Mastiff.

## **Palabras clave**

Displasia de cadera, Mastín del Pirineo, PennHIP, índice de distracción, osteoartritis, selección genética.

## **1. Introducción**

### **1.1. Displasia de cadera**

La displasia de cadera canina (CHD) se describe como una enfermedad ortopédica de desarrollo muy común en los perros. Afecta a casi la totalidad de las razas, con una prevalencia estimada que va del 1% al 80%, según la Fundación Ortopédica para Animales (Orthopedic Foundation for Animals, OFA). Parece presentarse con mayor frecuencia en perros de razas grandes y gigantes, braquicéfalos y aquellos con una proporción elevada entre la longitud del cuerpo y la altura. (*Schachner y Lopez, 2015*) Generalmente suele ser bilateral y con causa multifactorial incluyendo una predisposición genética poligénica, la alimentación, la velocidad de crecimiento, el entorno, etc. Su característica principal es la inestabilidad articular y la subluxación o luxación de la cabeza femoral, derivando en la deformación de las cabezas de los fémures y acetábulos que propician el desarrollo de artrosis (coxartrosis) lo que produce gran dolor y disfunción. (*Villar y Mariño, 2021*)

Desde el punto de vista anatómico, la cadera es una articulación de tipo enartrosis, caracterizada por la presencia de una superficie esférica (cabeza del fémur) que se articula con una cavidad en forma de copa (acetábulo).

La inestabilidad articular se origina por una laxitud excesiva en la articulación coxofemoral, impidiendo que la cabeza femoral encaje de manera óptima en el acetábulo. Este desajuste biomecánico es el principal responsable de los signos clínicos asociados a la enfermedad, incluyendo dolor, cojera y dificultades en la movilidad. Además, favorece el desarrollo de cambios degenerativos progresivos en la articulación. (*American College of Veterinary Surgeons [ACVS], s.f.*)

Cuando la estabilidad articular está comprometida, el movimiento anómalo y repetitivo de la cabeza femoral dentro del acetábulo acelera el proceso degenerativo. Esto provoca la pérdida progresiva del cartílago articular, junto con la proliferación de tejido cicatricial periarticular y la formación de osteofitos (crecimientos óseos anómalos) en los bordes del acetábulo y la cabeza femoral (*American College of Veterinary Surgeons [ACVS], s.f.*)

La displasia de cadera en perros parece originarse a partir de un desequilibrio en el crecimiento óseo y el desarrollo de los tejidos blandos durante la fase de crecimiento. Una musculatura insuficientemente desarrollada y con funcionalidad reducida, en combinación con una cápsula articular laxa, compromete la estabilidad de la articulación coxofemoral. Esta inestabilidad mecánica sienta las bases del proceso displásico. Es fundamental diagnosticar y tratar a estos pacientes a tiempo, ya que, de lo contrario, la displasia de cadera puede evolucionar hacia una artrosis severa, generando consecuencias clínicas graves. En los casos más graves, puede ser necesario recurrir a tratamiento médico y/o quirúrgico. (*Cañadillas, 2020; Ginja et al., 2009*)

### **1.2. Predisposición genética a la displasia de cadera**

Como se ha comentado previamente, la displasia de cadera canina es una enfermedad de origen multifactorial; sin embargo, entre todos los factores implicados, la predisposición genética es el principal determinante en su desarrollo, como demuestran numerosos estudios. (*Leighton, 1997; Durán, 2005*)

Sin embargo, el modo de transmisión de la displasia de cadera canina es complejo y ha sido objeto de debate durante décadas: inicialmente, algunos investigadores sugirieron que la enfermedad podría heredarse como un rasgo autosómico recesivo, lo que implicaría que un cachorro solo desarrollaría

displasia si heredaba dos copias del alelo mutado, una de cada progenitor. Posteriormente, se planteó que la displasia podría comportarse como un rasgo autosómico dominante con penetrancia incompleta. (*Leighton, 1997*)

Pero otros estudios refutaron ambas hipótesis. Un análisis genético en perros pastores alemanes en Suecia demostró que la displasia de cadera no se ajusta a un modelo de herencia monogénico simple. Además, en una revisión realizada en 1967, Hutt concluyó que no existía evidencia concluyente de que la enfermedad fuera causada por un solo gen, ya fuera dominante o recesivo. Desde entonces, la comunidad científica ha aceptado ampliamente que la displasia de cadera es una enfermedad poligénica con un fuerte componente ambiental. (*Leighton, 1997*)

Dado que la transmisión de la displasia de caderas es poligénica y cuantitativa, se ha observado que múltiples genes influyen en la morfología y estabilidad de la articulación coxofemoral. En este contexto, diversos estudios han identificado loci de interés en los cromosomas 1, 7, 9, 15 y 21, los cuales parecen desempeñar un papel clave en la laxitud articular y la remodelación ósea. (*Wang et al., 2021*)

Los estudios de asociación del genoma completo (GWAS) han permitido identificar diversos marcadores genéticos a la displasia de cadera, abriendo la posibilidad de implementar selección genómica en el futuro. Estos estudios comparan el ADN de grupos de perros con y sin la enfermedad para identificar variaciones genéticas (Polimorfismos de Nucleótido único ó SNPs) que pueden estar relacionadas con el desarrollo de la displasia. (*Wang et al., 2021*)

Se han encontrado varios genes candidatos vinculados con la formación ósea y el desarrollo de cartílago, lo que ha permitido el desarrollo de pruebas genéticas en determinadas razas. Se espera que en los próximos años estas herramientas se amplíen y perfeccionen, complementando a los métodos radiográficos y mejorando la precisión en la selección de reproductores. (*Ginja et al., 2015; Wang et al., 2021*)

Dado que los estudios genéticos han identificado múltiples genes implicados en la displasia, resulta relevante analizar cómo estos genes afectan los tejidos implicados en la enfermedad. En este sentido, se ha observado que la influencia genética de la displasia de cadera afecta principalmente a los tejidos blandos de la articulación, incluyendo cartílago, tejido conectivo de soporte y musculatura periarticular, mientras que no parece ejercer un impacto directo sobre el tejido óseo. Este hallazgo refuerza la hipótesis de que la inestabilidad articular juega un papel clave en el desarrollo de la enfermedad, lo que justifica la importancia de evaluar la laxitud de la articulación desde edades tempranas. (*Durán, 2005*)

El hecho de que la displasia de cadera sea una enfermedad poligénica conlleva diversas implicaciones en su estudio y control genético. A diferencia de las enfermedades monogénicas, donde los fenotipos pueden clasificarse en categorías discretas y sus patrones de transmisión pueden predecirse con exactitud, en la displasia de cadera los fenotipos presentan una distribución continua dentro de una población.

La probabilidad de que una camada desarrolle la enfermedad es considerablemente mayor si los progenitores presentan displasia. De hecho, se ha observado que la mayoría de los perros libres de displasia de cadera provienen de padres sin la enfermedad. En este sentido, cuando ambos progenitores son displásicos, solo un 7% de los descendientes tendrá caderas normales. Por lo tanto, la selección genética juega un papel crucial en su prevención y control. (*Durán, 2005; ACSV, s.f.*)

### 1.3. Diagnóstico

#### 1.3.1. Signos clínicos

La displasia de cadera en perros puede presentar una sintomatología muy variable, sin que exista necesariamente una correspondencia directa entre las manifestaciones clínicas y los hallazgos radiográficos. La evolución de la enfermedad no sigue un patrón uniforme y, en algunos casos, los signos clínicos pueden estar influenciados por trastornos ortopédicos o neurológicos concurrentes que afectan a las extremidades posteriores. Además, ciertas modificaciones crónicas en la articulación coxofemoral, como la fibrosis, el engrosamiento de la cápsula articular o el remodelado óseo, pueden favorecer una mayor estabilidad articular, lo que, en algunos individuos, contribuye a una mejora espontánea de la funcionalidad de las extremidades afectadas. (Ginja et al., 2009)

Desde un punto de vista clínico, la displasia de cadera suele manifestarse en dos periodos diferenciados. Por un lado, en perros jóvenes, menores de 1 año, en los cuales la inestabilidad articular y la sobrecarga en determinadas zonas pueden generar dolor, provocado principalmente por la distensión o ruptura del ligamento redondo, la inflamación sinovial y la presencia de microfracturas acetabulares. En estos pacientes, es frecuente observar una disminución de la actividad física, dificultad para levantarse (especialmente en ambientes fríos) y una marcha rígida y vacilante con desplazamiento del peso hacia el tercio anterior mientras se desplazan los dos miembros posteriores a la vez ("bunny hopping" o saltos de conejo). (Ginja et al., 2009; Villar y Mariño, 2021)

Por otro lado, en perros adultos, la patología suele asociarse a la progresión de osteoartritis, lo que da lugar a dolor crónico. Entre los signos clínicos más frecuentes destacan las alteraciones en la locomoción, como rigidez, disminución en la altura del paso, acortamiento de la zancada, desplazamiento con movimientos tipo "bunny hopping" y dificultad para realizar actividades como levantarse, subir escaleras o sortear obstáculos. Dependiendo del grado de artrosis puede haber atrofia muscular evidente, en especial en el tercio posterior. (Ginja et al., 2009; Villar y Mariño, 2021)

El análisis cinemático de la marcha y el uso de plataformas de fuerza asistidas por ordenador han sido empleados para evaluar de manera objetiva la displasia de cadera y la respuesta de los perros afectados al tratamiento. Sin embargo, en algunos casos, las alteraciones en la marcha detectadas fueron sutiles debido a la introducción de artefactos y a la falta de precisión en las mediciones. El desarrollo de métodos más precisos podría facilitar la identificación de anomalías en perros con conformación articular inadecuada, incluso en casos subclínicos o con signos radiográficos mínimos. Se ha determinado que la displasia de cadera, aunque no presente síntomas evidentes, influye en la cinemática articular y puede afectar la biomecánica del movimiento a largo plazo. (Ginja et al., 2009)

#### 1.3.2. Exploración y evaluación de la laxitud articular

La evaluación de la laxitud articular es una herramienta importante en el diagnóstico de la displasia de cadera canina, aunque su interpretación puede verse influenciada por diversos factores. (Schachner y Lopez, 2015)

Uno de los métodos más utilizados es el test de Ortolani, diseñado en un principio para detectar dislocaciones congénitas de cadera en humanos y posteriormente adaptado como prueba de cribado en perros. Este test debe realizarse bajo sedación o anestesia general para evitar falsos negativos debido a la resistencia muscular. (Schachner y Lopez, 2015; Villar y Mariño, 2021)

Este procedimiento se basa en la detección de inestabilidad en la articulación coxofemoral y permite identificar una laxitud excesiva en la cabeza del fémur. Para su realización, el perro se coloca en decúbito lateral, y el examinador aplica una presión longitudinal a lo largo del fémur desde la rodilla

hasta la pelvis mientras estabiliza la región sacra. Posteriormente, se realiza una abducción controlada de la extremidad con el objetivo de recolocar la cabeza femoral dentro del acetábulo. La percepción de un “clic” audible o palpable durante esta maniobra se interpreta como un resultado positivo. Realizando la maniobra contraria obtenemos la salida de la cabeza femoral (signo de Barlow). El lograr reproducir ambos signos se traduce en una mayor laxitud articular. *(Raimann y Aguirre, 2021)*

Es importante señalar que la ausencia de un resultado positivo en el test de Ortolani no descarta la presencia de displasia de cadera. En algunos casos, el engrosamiento de la cápsula articular o de otros tejidos periarticulares puede limitar la movilidad de la articulación, impidiendo el desplazamiento necesario para detectar la laxitud. *(Raimann y Aguirre, 2021; Ginja et al., 2009; Schachner y Lopez, 2015)*

Otra prueba complementaria utilizada en cachorros jóvenes es el test de Bardens, el cual se considera más sensible para detectar la laxitud de la articulación de la cadera y alteraciones en la profundidad del acetábulo. Este test está recomendado para evaluar la laxitud articular en cachorros de entre 6 y 8 semanas de edad. En este procedimiento, con el perro en posición lateral, se eleva el fémur proximal en dirección lateral y, aplicando presión sobre el trocánter mayor, se desplaza la cabeza femoral en dirección dorsal. Un desplazamiento superior a 2 mm se considera indicativo de laxitud articular. *(Ginja et al., 2009; Schachner y Lopez, 2015)*

Bardens propuso originalmente esta prueba como un método efectivo para detectar de forma temprana la displasia de cadera. Sin embargo, estudios posteriores no han logrado obtener los mismos resultados, lo que ha llevado a otros investigadores a considerarla una evaluación subjetiva con limitaciones en su precisión diagnóstica.

Dado que la ejecución de este test depende en gran medida de la habilidad y experiencia del examinador, así como de la detección de desplazamientos muy pequeños, existe una posibilidad apreciable de error. Esta variabilidad en la medición reduce su confiabilidad como herramienta para predecir la laxitud y la presencia de displasia de cadera. *(Ginja et al., 2009)*

### 1.3.3. Ecografía

En los últimos años, se ha investigado el uso de la ecografía como herramienta de diagnóstico precoz en cachorros. A diferencia de la displasia del desarrollo en humanos, la displasia de cadera en perros no es congénita, por lo que la utilidad de la ecografía en su detección es limitada. Sin embargo, entre las 8 y 16 semanas de edad, algunos métodos dinámicos de ultrasonografía podrían ser viables para cuantificar la laxitud articular. A pesar de esto, no se han establecido valores de referencia para determinar niveles de laxitud articular mediante ecografía, y se han observado problemas de precisión en mediciones repetidas.

El uso de ecografía Doppler también ha sido evaluado para medir el flujo sanguíneo en la arteria medial que irriga la articulación de la cadera. No obstante, no se ha encontrado una relación clara entre los cambios en la perfusión sanguínea y la presencia de displasia de cadera o laxitud articular. Por otro lado, estudios en cachorros de la raza Montaña de Estrela han demostrado que un aumento en el volumen de líquido sinovial detectado por resonancia magnética a las 8 semanas de edad se correlaciona con el desarrollo posterior de displasia de cadera. Esto sugiere que la detección temprana de alteraciones en el líquido sinovial podría convertirse en una herramienta complementaria para la identificación de la enfermedad. *(Ginja et al., 2009)*

#### 1.3.4. Radiografías

Los indicios radiográficos iniciales de displasia de cadera suelen detectarse a partir de la séptima semana de vida, manifestándose como una subluxación de la cabeza femoral y un desarrollo tardío del borde craneodorsal del acetábulo. El diagnóstico ideal debe realizarse entre las 12 y 24 semanas de vida, ya que permite una detección precoz de alteraciones articulares. Sin embargo, hay razas grandes, o gigantes, como es el caso del Mastín del Pirineo en las que se recomienda realizar la evaluación a los 18 meses o incluso a los 24 meses en el caso de la OFA. (*Ginja et al., 2009; Villar y Mariño, 2021; Federación Cinológica Internacional [FCI], 2022; Orthopedic Foundation for Animals [OFA], 2024*)

Para el diagnóstico de la displasia de cadera mediante estudios radiográficos, se pueden distinguir dos enfoques principales, los cuales se basan en diferentes métodos de obtención de imágenes:

1. Análisis de la congruencia articular y detección de osteoartritis, empleando la proyección radiográfica estándar ventrodorsal con extensión de caderas (SVDV). (*Ginja et al., 2009; Villar Estalote y Mariño Carballo, 2021*)
2. Evaluación de la laxitud articular, utilizando radiografías bajo estrés, que permiten medir la estabilidad de la articulación a través de técnicas como la subluxación dorsolateral (DLS), el método PennHIP, el método de Flückiger y el Half-Axial Position (HAP). Estas pruebas determinan el grado de movilidad anormal de la cabeza femoral dentro del acetábulo. (*Ginja et al., 2009*)

Dado que una correcta colocación del paciente es fundamental para obtener imágenes precisas, todas estas técnicas deben realizarse bajo sedación profunda o anestesia. Esto no solo optimiza la alineación de la articulación y reduce la influencia de la laxitud muscular, sino que también minimiza la repetición de estudios y evita la necesidad de inmovilización manual del animal. Además, en países como Reino Unido, las normativas de seguridad radiológica prohíben la contención manual durante la toma de radiografías.

Esta diferenciación permite clasificar las proyecciones radiográficas empleadas en el diagnóstico de displasia de cadera en dos grandes grupos, los cuales se describen a continuación.

##### 1.3.4.1. Técnicas radiológicas tradicionales

La técnica SVDV, ampliamente empleada en la evaluación de la morfología ósea de la articulación coxofemoral. Esta proyección es útil para evaluar la forma del acetábulo y de la cabeza femoral, la cobertura acetabular (que idealmente debe ser superior al 50%), la forma y la angulación del cuello femoral, así como la presencia de signos de degeneración articular. Entre estos signos se incluyen la línea de Morgan, que se presenta como una línea radiopaca en el cuello femoral producto de la reorganización de fibras del periostio debido a cambios en la distribución de fuerzas de presión. También se observa la esclerosis acetabular, una línea radiolúcida en la parte craneal del acetábulo originada por los impactos repetidos de la cabeza femoral, y la esclerosis de la cabeza femoral, caracterizada por la aparición de una doble línea radiolúcida debido a la tracción generada por la cápsula articular en respuesta a la inestabilidad. En fases avanzadas de la enfermedad, es posible identificar cambios en la morfología de la cabeza femoral, el cuello femoral y el acetábulo, así como la formación de osteofitos periarticulares, que representan un signo característico de artrosis secundaria a la displasia. Además, sobre esta radiografía se utilizan indicadores geométricos como el ángulo de Norberg, definido por la línea que une los centros de ambas cabezas femorales y otra que va desde el centro de la cabeza femoral hasta el punto más lateral del margen acetabular. Un ángulo de Norberg



inferior a 105° indica una escasa cobertura acetabular en la cabeza femoral y, por tanto, una posible subluxación articular. (Ginja et al., 2009; Villar Estalote y Mariño Carballo, 2021)

Esta técnica requiere colocar al perro en decúbito dorsal sobre la mesa de rayos X, con las extremidades posteriores extendidas de forma paralela y las rodillas rotadas internamente. Para garantizar una interpretación radiográfica fiable, es esencial que la pelvis se mantenga simétrica, con los fémures alineados y las rótulas ubicadas en el centro de los cóndilos femorales.

La proyección ventrodorsal con extensión de caderas (SVDV) presenta limitaciones en la detección de laxitud articular coxofemoral, ya que la posición en la que se coloca al animal genera tensión en la cápsula articular, así como en los ligamentos de la cabeza femoral y los músculos circundantes, lo que puede reducir la precisión en la evaluación de la inestabilidad articular. (Schachner y Lopez, 2015; Ginja et al., 2009)

Existen otras proyecciones radiográficas utilizadas en el diagnóstico de la displasia de cadera que pueden aportar información complementaria:

- La “posición en rana”, en la cual el perro se coloca en decúbito dorsal y las extremidades posteriores se posicionan formando un ángulo de 90° con respecto a la pelvis. Esta proyección permite evaluar la capacidad de reducción de la cabeza femoral dentro del acetábulo y se considera un indicador de pronóstico.
- La “posición DAR” (Dorsal Acetabular Rim) se realiza con el animal en decúbito esternal y las extremidades extendidas hacia adelante. Esta técnica permite evaluar el borde acetabular dorsal y determinar su inclinación, aspecto clave en la estabilidad de la cadera. Si el borde acetabular es demasiado redondeado, la cobertura acetabular es menor a 50% y la inclinación del mismo es superior a 15° respecto a la pelvis es indicativo de un mal pronóstico.

#### 1.3.4.2. Prueba de la subluxación dorsolateral (DLS)

La prueba de la subluxación dorsolateral es un método utilizado en la evaluación de la laxitud articular, el cual no requiere contención manual. En este procedimiento, el perro es colocado en decúbito esternal en una posición de “arrodillado” sobre una almohadilla especial con aberturas para las extremidades. Para garantizar la estabilidad durante la toma de imágenes, las extremidades posteriores se fijan en aducción con cinta médica aplicada proximalmente a la rodilla y alrededor del tarso.

Para evitar la superposición radiográfica de la cabeza femoral con el acetábulo y la diáfisis femoral, las caderas se posicionan ligeramente extendidas. La medición de la laxitud en esta prueba se realiza mediante el índice DLS, calculado dividiendo la distancia perpendicular entre el borde medial de la cabeza femoral y el margen lateral del acetábulo craneal por el diámetro de la cabeza femoral.

Un aspecto relevante de esta prueba es que las aberturas en la almohadilla permiten que ambas rodillas hagan contacto directo con la mesa, facilitando la transmisión de fuerza a lo largo del eje longitudinal del fémur hasta la articulación coxofemoral. Este diseño busca imitar las condiciones biomecánicas naturales del animal, proporcionando una medición más precisa de la estabilidad de la articulación. (Ginja et al., 2009)

En los casos en los que se sospeche una alteración en la inclinación acetabular o en la angulación del cuello femoral, se recomienda el uso de tomografía computarizada. Esta técnica permite obtener una reconstrucción tridimensional de la articulación coxofemoral, proporcionando una medición más precisa de la cobertura acetabular y la inclinación del cuello femoral. A través de la tomografía

computarizada, también es posible detectar signos radiológicos como la línea de Morgan, la esclerosis acetabular y la presencia de osteofitos en una fase más temprana que con la radiografía convencional, lo que permite un diagnóstico más preciso y una mejor planificación del tratamiento. (Villar y Mariño, 2021)

#### 1.3.4.3. Método PennHIP

El PennHIP (Pennsylvania Hip Improvement Program) es un método radiográfico especializado en la evaluación de la displasia de cadera canina, cuyo objetivo principal es medir de manera cuantitativa la laxitud articular. Se ha demostrado que es más preciso que la radiografía convencional en la predicción del desarrollo de osteoartritis (OA), la principal manifestación degenerativa de la displasia de cadera. Este método puede aplicarse con fiabilidad desde las 16 semanas de edad, momento en el cual la laxitud pasiva medida se correlaciona estrechamente con la que el animal presentará en la edad adulta. (Antech Imaging Services, 2021)

A diferencia de otros sistemas de evaluación que emplean una única proyección, PennHIP utiliza tres proyecciones radiológicas distintas, cada una con un propósito específico:

1. Vista de distracción: Evalúa la laxitud articular con las caderas en posición neutra, sin la influencia de la tensión capsular.
2. Vista de compresión: Determina el grado de ajuste de la cabeza femoral dentro del acetábulo.
3. Vista en extensión de caderas: Similar a la técnica SVDV utilizada tradicionalmente por la OFA o por la Federación Cinológica Internacional, se emplea para identificar la presencia de osteoartritis.

Las imágenes obtenidas con este método pueden mostrar diferencias significativas en la apariencia de la articulación según la proyección utilizada. Mientras que la radiografía convencional se centra en las alteraciones óseas ya establecidas, el PennHIP permite evaluar el grado de laxitud articular antes de la aparición de signos degenerativos. (Antech Diagnostics, s.f.; Villar y Mariño, 2021)

En la vista de distracción, donde las caderas se colocan en una posición neutra de carga, la laxitud articular es mucho más evidente en comparación con la vista en extensión, que tiende a ocultar la inestabilidad real debido a la tensión generada en la cápsula articular [Figura 1]. Se ha observado que, en algunas razas, la laxitud medida en la vista de distracción puede ser hasta 11 veces mayor que en la radiografía convencional. (Ginja et al., 2009; Antech Diagnostics, s.f.)

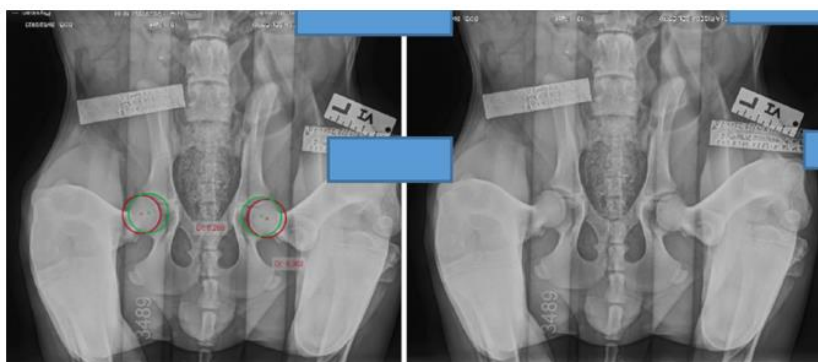


Figura 1: Radiografía en posición de distracción obtenida mediante el método PennHIP. Se observa la medición del índice de Distracción (DI) cuyos valores se muestran en rojo, indicando la laxitud articular cuantificada para cada cadera. Cedida por G. Valle (Clínica Romareda)

La “posición de subluxación o distracción”, utilizada en el método PennHIP, requiere el uso de un instrumento denominado distractor para generar subluxación de la cabeza femoral y evaluar la laxitud articular de manera cuantitativa. Este distractor se coloca con el animal en decúbito supino, de forma que los fémures formen un ángulo de 45º con respecto a la pelvis. Se realiza presión de los fémures hacia el distractor de modo que al hacer palanca se produce una subluxación de la cadera [Figura 3]. (Villar y Mariño, 2021)

El método PennHIP no solo permite la evaluación individual de la laxitud articular, sino que también proporciona un índice de distracción (DI), que mide la inestabilidad de la articulación. Su cálculo se basa en la división de la distancia entre los centros geométricos de la cabeza femoral y el acetábulo por el radio de la cabeza femoral. [Figuras 1 y 2] (Ginja et al., 2009; Villar y Mariño, 2021)

El DI se considera una medida objetiva de la laxitud pasiva de la articulación y se ha observado que su interpretación sigue una escala intuitiva: un DI de 0.50 indica el doble de laxitud que un DI de 0.25. Valores por debajo de 0.3 se consideran indicativos de articulaciones ajustadas, mientras que valores cercanos a 1 reflejan laxitud extrema. El DI no se interpreta como una puntuación de aprobado o suspenso, sino como un indicador del grado de inestabilidad articular y el riesgo de desarrollar osteoartritis en la edad adulta.

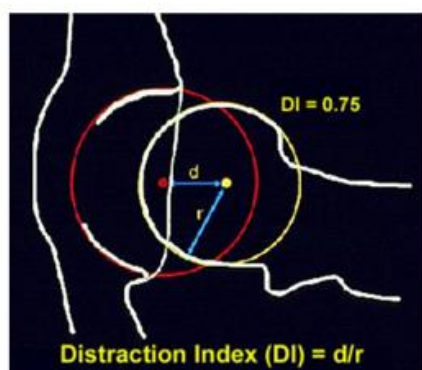


Figura 3: Representación esquemática del cálculo del Índice de Distracción (DI) en el método PennHIP. (Antech Imaging Services, 2021)



Figura 2: Aplicación del distractor PennHIP durante la obtención de la radiografía en posición de distracción. (Villar y Mariño, 2021)

El animal se coloca en decúbito supino y debe estar totalmente anestesiado. para que la musculatura alrededor de la cadera esté completamente relajada. Esto es necesario porque el DI mide la laxitud pasiva de la cadera, mientras que la laxitud funcional, que ocurre durante la carga de peso, es la forma patológica de inestabilidad asociada a la displasia de cadera y actualmente no existen métodos para medirla directamente. (Antech Imaging Services, 2021)

Los resultados obtenidos a través de este sistema son publicados en revistas científicas, distribuidos entre los veterinarios acreditados en la red PennHIP y compartidos con clubes de cría interesados en mejorar la salud articular de sus perros. (Antech Diagnostics, s.f.)

## 1.4. Selección genética y control de la displasia de cadera

### 1.4.1. Heredabilidad y bases genéticas de la displasia de cadera

Una vez descritos los métodos de evaluación radiográfica, es posible comprender cómo se vinculan estos hallazgos con el control genético de la displasia de cadera. El análisis fenotípico obtenido mediante pruebas como PennHIP o las radiografías tradicionales permite estimar el riesgo de transmisión hereditaria y aplicar medidas de selección en los programas de cría.

Se entiende por control genético el conjunto de medidas a aplicar para reducir la frecuencia de los alelos causantes de una enfermedad hereditaria en una población. Aunque existen pruebas moleculares para identificar la displasia de cadera a nivel genético en algunas razas, la evaluación del genotipo del animal se basa frecuentemente en la observación del fenotipo de la cadera mediante la toma de radiografías en posición de extensión. Esta relación entre fenotipo y genotipo define el concepto de heredabilidad, el cual se expresa como la proporción de varianza genética aditiva respecto a la varianza fenotípica total de un carácter.

A pesar de que la selección fenotípica mediante radiografías en extensión ha sido ampliamente utilizada desde hace más de medio siglo, su eficacia es limitada debido a la complejidad genética de la enfermedad que hemos mencionado. Su carácter poligénico hace posible que individuos con caderas radiográficamente normales porten alelos asociados a la displasia y los transmitan a su descendencia, lo que dificulta la erradicación de la enfermedad mediante esta técnica. (Ginja et al., 2009)

El grado de heredabilidad de la displasia de cadera (evaluada mediante radiografías en extensión) varía entre poblaciones y razas, con estimaciones que oscilan entre 0,1 y 0,6, dependiendo del método radiológico utilizado. En estudios realizados en poblaciones caninas en los Estados Unidos, la heredabilidad de la puntuación subjetiva de la cadera ha sido estimada en aproximadamente 0,25, mientras que, en otras poblaciones, como en la de The Seeing Eye Inc., se ha reportado una heredabilidad de 0,50 para la puntuación subjetiva de la cadera. (Durán, 2005; Leighton, 1997)

En el pastor alemán, se obtiene una heredabilidad moderada a baja, situándose en un rango de 0,20 a 0,40, lo que implica que el progreso mediante selección fenotípica ha sido relativamente lento. En Argentina, la prevalencia de displasia en esta raza se mantiene alta, superando el 25%, y aún no es posible predecir con certeza la incidencia de la enfermedad en la descendencia de los reproductores. (Poverene, 2022)

El Valor Estimado de Cría (Estimated Breeding Value ó EBV) es un método avanzado que permite predecir la predisposición genética a la displasia de cadera en función no solo del fenotipo del individuo sino también del fenotipo de sus parientes cercanos y descendencia. Este método se basa en un análisis estadístico que pondera diferentes factores genéticos y ambientales, utilizando registros de generaciones anteriores para calcular la probabilidad de que un perro transmita la enfermedad a su descendencia. (Ginja et al., 2015; Wang et al., 2021)

En países como Alemania y Australia, donde se ha adoptado el EBV en el pastor alemán, se ha observado una reducción notable en la incidencia de la displasia en generaciones sucesivas. Diferentes estudios han demostrado que la selección basada en EBV es hasta tres veces más efectiva en términos de mejora genética en comparación con la selección fenotípica tradicional. (Ginja et al., 2015; Wang et al., 2021)

En otro estudio realizado con pastores alemanes y labradores retriever, se logró una reducción significativa de la displasia de cadera mediante la selección de un pequeño porcentaje de perros como progenitores. En menos de cinco generaciones de selección, el porcentaje de pastores alemanes con

displasia de cadera canina a los 12-16 meses de edad disminuyó del 55% al 24%. En los labradores retriever, el porcentaje disminuyó del 30% al 10%. (*Leighton 1997*)

Sin embargo, en otras ocasiones, como en un estudio realizado en poblaciones de pastores alemanes en Alemania, no se logró una mejora genética significativa tras cinco años de implementación del EBV. Esto puede deberse a factores ambientales no controlados, a la variabilidad genética dentro de la población o a la baja heredabilidad en algunas líneas de cría. (*Ginja et al., 2009*)

Algunas pruebas basadas en la genética molecular ya están disponibles para la detección de la predisposición a la displasia de cadera en perros. En particular, el test Dysgen ha sido desarrollado para evaluar la predisposición genética en Labrador Retrievers.

Este test, basado en siete SNPs (Polimorfismos de Nucleótido Único) identificados mediante GWAS (estudio de Asociación de Genoma Completo), ha demostrado una buena precisión predictiva en poblaciones específicas. No obstante, su aplicabilidad no es universal, ya que un estudio posterior en Labrador Retrievers daneses no encontró correlación entre los resultados del test y el estado radiográfico de la cadera, lo que indica que su precisión puede variar dependiendo de la población analizada. (Bartolomé et al., 2015; Bruun et al., 2020)

La selección genética basada en pruebas radiográficas y criterios fenotípicos ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir la prevalencia de la displasia de cadera en razas caninas predispuestas. Sin embargo, debido a la complejidad de su herencia poligénica y la interacción con factores ambientales, la erradicación total de la enfermedad no es viable en el corto plazo. La combinación de herramientas diagnósticas precisas, como el índice de distracción del método PennHIP, con estrategias de cría selectiva, representa el enfoque más prometedor para mitigar el impacto de la displasia de cadera en poblaciones caninas. (*Leighton, 1997*)

#### 1.4.2. Comparación entre las diferentes estrategias de selección genética aplicadas

En este contexto, resulta fundamental analizar los diferentes sistemas de evaluación radiográfica disponibles, ya que constituyen la base para aplicar de forma práctica las estrategias de selección genética descritas anteriormente.

Una vez obtenidas las imágenes mediante las distintas técnicas radiográficas, éstas deben ser evaluadas y clasificadas según distintos sistemas de puntuación. Actualmente, existen varios sistemas de clasificación radiográfica empleados para evaluar la displasia de cadera, los cuales presentan una alta correlación en sus resultados y se centran en parámetros como la subluxación, la congruencia articular y el remodelado óseo. (*Ginja et al., 2009*)

La **Orthopaedic Foundation for Animals (OFA)**, está ampliamente implantada en Estados Unidos desde hace más de cincuenta años. Su propuesta metodológica se basa en la interpretación de radiografías de caderas en extensión. Estas imágenes son analizadas por tres radiólogos certificados de manera independiente, con el objetivo de clasificar la conformación articular en diferentes grados. El diagnóstico se lleva a cabo mediante el análisis de nueve parámetros articulares. Esto permite establecer siete categorías de evaluación, divididas en tres grados normales, un grado intermedio y tres grados displásicos. Este sistema de clasificación se fundamenta principalmente en la evaluación de la morfología articular y la detección de signos de enfermedad articular degenerativa, siendo un método mayoritariamente subjetivo basado en la interpretación radiográfica. Es importante señalar que, aunque la prueba puede realizarse de manera preliminar desde los 4 hasta los 23 meses de edad,

la certificación oficial de la OFA solo se emite cuando el perro alcanza los 24 meses, ya que se considera que a esa edad la conformación articular está completamente desarrollada. (*Ginja et al., 2009; Schachner y Lopez, 2015; OFA, 2024*)

La **Fédération Cynologique Internationale (FCI)** es una de las principales organizaciones caninas a nivel mundial, englobando clubes de cría de Europa, Asia, África y Sudamérica. El diagnóstico de la displasia de cadera dentro de este sistema se basa, al igual que en el de la OFA, en la realización de radiografías con extensión de cadera y abducción de las extremidades posteriores. Estas pruebas deben llevarse a cabo cuando el perro alcanza un año de edad, aunque en razas de gran tamaño se recomienda realizarlas a partir de los 18 meses. Las imágenes obtenidas son evaluadas por radiólogos autorizados por los clubes caninos específicos de cada raza, siguiendo los criterios establecidos por la FCI.

Uno de los principales parámetros que se analizan es el ángulo de Norberg. Además, la evaluación incluye otros aspectos morfológicos de la conformación articular basados en criterios subjetivos.

En cuanto al control genético de la displasia de cadera, la Federación Cinológica Internacional ha establecido normativas específicas para la selección de reproductores, con el objetivo de reducir la incidencia de enfermedades hereditarias como esta. Según el Reglamento Internacional de Cría de la FCI, los organismos miembros y socios contratantes deben llevar un registro de los perros afectados, implementar estrategias sistemáticas para combatir esta patología y documentar los avances en su control. Además, si se realizan pruebas de ADN con el fin de evaluar enfermedades genéticas, estas deben ser supervisadas por un veterinario que certifique la identificación del perro mediante microchip o tatuaje, asegurando la veracidad de los resultados. La FCI enfatiza la importancia de utilizar exclusivamente reproductores sin defectos graves, evitando así la transmisión de patologías que puedan comprometer la funcionalidad de la descendencia. (*FCI, 2022*)

El sistema de puntuación de la FCI clasifica las articulaciones en cinco grados, desde la A hasta la E, donde la A representa una cadera sana y la E indica una displasia grave. Para obtener la calificación final del perro, se toma como referencia la peor puntuación entre ambas articulaciones. Este mismo método de evaluación también puede aplicarse a estudios realizados mediante tomografía computarizada. (*Schachner y Lopez, 2015*)

En el Reino Unido, el método más utilizado es el sistema de puntuación de la **British Veterinary Association/Kennel Club (BVA/KC)**. Para poder ser evaluado dentro de este esquema, el perro debe cumplir ciertos requisitos, como tener al menos un año de edad, estar identificado mediante microchip o tatuaje, y, en caso de estar registrado en el Kennel Club, su número de registro debe estar presente en la radiografía. Es importante señalar que cada perro solo puede ser evaluado una vez en este sistema. El análisis se basa en la interpretación de radiografías de caderas en extensión. En ellas se evalúan nueve parámetros articulares, asignando una puntuación de 0 a 6 a cada uno, excepto en un criterio cuya escala máxima es 5. El resultado final se expresa mediante una puntuación total en la que 0 representa el mejor estado articular y 106 el peor (con un máximo de 53 puntos por cada cadera). Dentro de los nueve aspectos analizados, se incluyen el ángulo de Norberg y otros parámetros subjetivos como la subluxación, borde acetabular dorsal, borde acetabular craneal, borde acetabular efectivo craneal, fosa acetabular, remodelación de la cabeza femoral y la presencia de exostosis en la cabeza y el cuello femoral.

Adicionalmente, se establece un promedio de puntuación por raza, denominado breed mean score, el cual permite comparar los resultados de los perros evaluados con la media de su raza. Se

recomienda que sólo aquellos individuos con una puntuación total claramente inferior a la media racial sean considerados aptos para la cría. (Ginja et al., 2009; Schachner y Lopez, 2015)

Selección mediante **método PennHIP**. Este método mide la laxitud articular mediante el índice de distracción (DI), una medida objetiva que ha demostrado ser un predictor fiable del desarrollo de osteoartritis secundaria en la edad adulta. A diferencia de otros sistemas de evaluación subjetivos, PennHIP proporciona una medición cuantificable y reproducible de la estabilidad de la articulación coxofemoral. (Sánchez et al., 2015)

El valor del DI varía en un rango de 0 en adelante. Para cada raza, se han establecido valores de referencia específicos para interpretar la probabilidad de desarrollar osteoartritis. Por ejemplo, un DI superior a 0.30-0.35 en ciertas razas se asocia con un mayor riesgo de desarrollar displasia de cadera en la edad adulta. [Figura 4] (Ginja et al., 2009; Villar y Mariño, 2021)

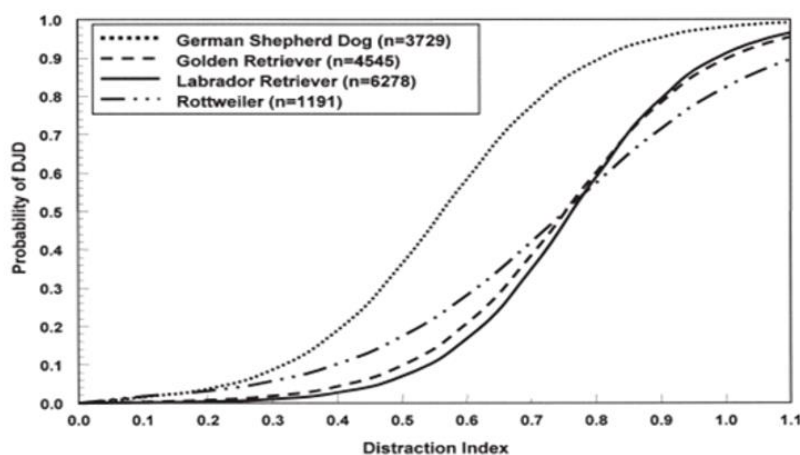


Figura 4: Relación entre DI a los 4 meses y la probabilidad de displasia a los 24 meses en diferentes razas. (Tomada de Smith et al., 2001)

PennHIP no solo mide la laxitud articular mediante el DI, sino que también ofrece una base de datos con percentiles para cada raza, facilitando la selección de reproductores con menor predisposición a la displasia de cadera. Los percentiles permiten situar a cada perro dentro de la distribución de la población de su raza, estableciendo comparaciones que ayudan a los criadores a tomar decisiones informadas. Gracias a la disponibilidad de percentiles específicos para cada raza, los criadores pueden seleccionar aquellos individuos cuyos valores de DI se sitúen en los rangos más favorables, priorizando aquellos que se encuentren por debajo del percentil 50. Esto se traduce en una mejora progresiva en la estabilidad articular de la población, reduciendo el riesgo de displasia en generaciones futuras. (Antech Imaging Services, 2021)

El método PennHIP debe ser realizado por veterinarios acreditados, quienes han recibido una formación específica para la correcta obtención e interpretación de las imágenes radiográficas. Aunque durante la etapa de formación las radiografías deben ser enviadas a un centro de análisis especializado, los veterinarios acreditados pueden posteriormente calcular el índice de distracción (DI) e interpretar los resultados en sus propias clínicas, sin necesidad de remitir cada caso al centro oficial, salvo que se desee un informe validado para bases de datos o registros de cría. Además, existe una base de datos científica de imágenes radiográficas que permite mejorar el conocimiento sobre la predisposición genética, etiología y progresión de la displasia de cadera. (Antech Diagnostics, s.f.)

### 1.5. Displasia de cadera en Mastín del Pirineo

El Mastín del Pirineo desempeña un papel esencial en la protección del ganado extensivo frente a depredadores como el oso y el lobo, lo que lo convierte en un aliado estratégico para la ganadería en entornos rurales. Debido a la exigencia física inherente a su función, esta raza requiere una condición articular óptima para desarrollar su labor de forma efectiva. Sin embargo, su predisposición genética a la displasia de cadera y la artrosis secundaria limita gravemente su capacidad funcional, ya que el dolor crónico asociado puede derivar en una actitud pasiva que no refleja su temperamento natural, sino una consecuencia directa de las alteraciones articulares. Ante esta situación, el Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, junto con el Club del Mastín del Pirineo, ha puesto en marcha el proyecto “Mejora de la funcionalidad en el Mastín del Pirineo, método PennHIP”. Esta iniciativa, financiada mediante subvenciones orientadas a la transferencia del conocimiento, busca reducir la incidencia de displasia mediante la identificación temprana de individuos con menor laxitud articular. Hasta la fecha, se han obtenido valores de Índice de Distracción (DI) en una muestra representativa de la población, lo que ha permitido establecer un punto de partida para evaluar la efectividad del programa. (*Gobierno de Aragón, 2020*).

Un enfoque similar ha sido evaluado previamente en perros militares, donde se implementó una variante del método PennHIP, denominada PennHIP modificado (PHm), en la que se realizan radiografías de compresión y distracción a cachorros de entre 9 y 20 semanas de edad. Se observó que este procedimiento es capaz de predecir con mayor precisión el desarrollo de displasia en la edad adulta, permitiendo una detección temprana y más efectiva del riesgo articular. En este estudio, los investigadores militares establecieron un umbral de índice de distracción ( $DI \geq 0.45$ ) como criterio de riesgo. Aquellos cachorros que superaban este valor fueron sometidos a una sinfisiodesis juvenil pubiana (JPS), un procedimiento quirúrgico preventivo diseñado para modificar el crecimiento del pubis, optimizar la estabilidad de la articulación coxofemoral y reducir la incidencia de displasia. La combinación del PennHIP modificado con la JPS resultó en una mejora significativa en la calidad articular de los ejemplares evaluados, lo que permitió duplicar la proporción de perros aptos para el servicio en comparación con los métodos tradicionales de selección. (*Sánchez et al., 2015*)

Estos hallazgos evidencian la importancia de integrar técnicas de diagnóstico avanzadas con estrategias quirúrgicas preventivas en programas de mejora genética. Aplicar protocolos similares en razas con alta predisposición a la displasia de cadera, como el Mastín del Pirineo, podría representar una estrategia eficaz para mejorar la salud articular de la población a largo plazo. La combinación de pruebas radiográficas tempranas con medidas de intervención adecuadas no solo permitiría una mejor calidad de vida para todos los ejemplares, sino seleccionar reproductores con menor riesgo de displasia y así contribuir a la reducción progresiva de la prevalencia de esta patología en futuras generaciones. (*Sánchez et al., 2015*)

El proyecto “Mejora de la funcionalidad en el Mastín del Pirineo, método PennHIP” no solo busca evaluar la prevalencia de la displasia en la raza, sino que también pretende establecer un marco de referencia para la selección de reproductores. Para ello, uno de los primeros pasos es obtener los valores iniciales del índice de distracción (DI) en la población evaluada, lo que permitirá contar con una base sólida para el análisis posterior. A partir de estos datos, se analizará la correlación entre los valores de DI obtenidos y el riesgo de desarrollar osteoartritis (OA) en la edad adulta, con el fin de



determinar de qué forma se relacionan los valores de DI de cada ejemplar a los cuatro meses de edad con el riesgo de que presente degeneración articular a medio y largo plazo. Además, se intentará evaluar la heredabilidad de los valores de DI dentro de la población de Mastín del Pirineo, ya que este parámetro es crucial para evaluar la eficacia de la selección genética en la reducción del riesgo de displasia. Una vez establecida la distribución de los valores de DI en la población, se aplicarán estos datos al desarrollo de criterios de selección más precisos, lo que facilitará la identificación de los ejemplares más aptos para la reproducción y garantizará una mejora progresiva en la salud articular de la raza. *(Antech Imaging Services, 2015)*

En este contexto, la intención de este estudio es que, una vez se disponga de un número significativo de individuos analizados, se utilicen estos datos para orientar la cría selectiva hacia la reducción progresiva de la displasia de cadera en la raza, considerando que el DI presenta un alto componente heredable.

Como parte de este esfuerzo, el Club del Mastín del Pirineo ha promovido la difusión del estudio y ha facilitado la entrega de cachorros seleccionados mediante PennHIP a distintas explotaciones ganaderas. Un ejemplo de ello es la Finca Experimental 'La Garcipollera' del centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), donde se han introducido mastines evaluados mediante este método para la protección de rebaños ovinos de la raza autóctona Churra Tensina. Además, este proyecto también ha involucrado a la finca "El Chantre" de la Diputación Provincial de Teruel, donde se han desarrollado estrategias de seguimiento de los ejemplares evaluados.

Este estudio representa un avance significativo en la mejora genética del Mastín del Pirineo y servirá como base para futuras estrategias de selección en la raza. Se han establecido criterios de selección basados en el Índice de Distracción (DI), lo que permitirá orientar la cría hacia la reducción progresiva de la displasia de cadera. La continuidad de este modelo de trabajo podría generar resultados favorables a medio plazo, con una reducción de la prevalencia de la osteoartritis en generaciones futuras. *(Gobierno de Aragón, 2020)*

## **2. Justificación y Objetivos**

La displasia de cadera es una de las enfermedades ortopédicas hereditarias más relevantes en la medicina veterinaria, afectando a una gran variedad de razas caninas, con especial incidencia en razas de gran tamaño y trabajo, como el Mastín del Pirineo. Se trata de una patología de origen multifactorial, donde la predisposición genética es el principal determinante, aunque factores ambientales como la alimentación, el ejercicio y el peso corporal también desempeñan un papel en su desarrollo y progresión. (*Schachner y Lopez, 2015; Villar y Mariño, 2021*)

Dado que la displasia de cadera impacta negativamente en la calidad de vida de los animales afectados y puede comprometer su funcionalidad, su prevención y control son de gran importancia, tanto desde el punto de vista del bienestar animal como desde una perspectiva zootécnica. En el caso del Mastín del Pirineo, una raza utilizada tradicionalmente en la protección del ganado frente a depredadores, la presencia de displasia y su progresión hacia osteoartritis pueden limitar su desempeño como perro de trabajo, afectando su movilidad y resistencia. (*ACVS, s.f.; Gobierno de Aragón, 2020*)

En este contexto, el programa de selección basado en el método PennHIP, implementado en colaboración entre la Universidad de Zaragoza, el Club del Mastín del Pirineo y el Gobierno de Aragón, busca mejorar la funcionalidad de la raza mediante la identificación temprana de individuos con menor laxitud de la articulación coxofemoral a edades tempranas, permitiendo una selección más eficaz de los reproductores y una mayor precisión en la mejora genética de la raza.

Desde su implementación en 2019, el programa ha generado un conjunto de datos históricos sobre la evolución de los valores del Índice de Distracción (DI) en la población de mastines evaluados, lo que proporciona una base sólida para analizar la efectividad del sistema de selección a lo largo del tiempo. Sin embargo, hasta la fecha no se ha realizado un análisis exhaustivo de estos datos para determinar cómo ha evolucionado la calidad de las caderas en la raza y cuál ha sido su impacto real de las recomendaciones de cría basadas en PennHIP.

El presente trabajo busca abordar esta laguna de conocimiento mediante la recopilación y análisis de datos obtenidos en el marco del programa, con el objetivo de evaluar el progreso alcanzado en la reducción de la laxitud articular en la población de Mastín del Pirineo y determinar la efectividad del programa en la selección de reproductores. Además, la comparación de los resultados de PennHIP con otros métodos tradicionales de evaluación permitirá valorar las diferencias en la precisión diagnóstica y la aplicabilidad de cada sistema en la mejora genética de la raza.

El estudio busca proporcionar información clave para optimizar las estrategias de selección en el Mastín del Pirineo y puede llegar a servir como referencia para la implementación de programas similares en otras razas con alta predisposición a la displasia de cadera. Asimismo, los resultados obtenidos pueden contribuir a la concienciación de criadores y propietarios sobre la importancia de la selección genética en la reducción de la incidencia de esta patología.

En definitiva, se trata de alcanzar los siguientes objetivos específicos:

1. Describir la distribución del índice de distracción (DI) en la población de Mastín del Pirineo evaluada mediante el método PennHIP, incluyendo análisis estadísticos descriptivos.
2. Analizar la relación entre el DI, el ángulo de Norberg y la clasificación FCI para identificar correlaciones y diferencias significativas entre parámetros.
3. Evaluar la capacidad predictiva del DI medio sobre el desarrollo de osteoartritis (OA) mediante análisis de regresión y curva ROC, estableciendo valores predictivos del modelo.
4. Examinar la consistencia y variabilidad de los resultados del programa y valorar el impacto potencial del programa de selección en la mejora funcional de la raza.

5. Proporcionar recomendaciones para optimizar la selección genética en el Mastín del Pirineo, basadas en los resultados obtenidos.

### **3. Metodología**

El presente estudio se basa en un enfoque combinado que integra una revisión bibliográfica exhaustiva y un análisis cuantitativo de datos reales obtenidos mediante el procedimiento PennHIP en perros de la raza Mastín del Pirineo. La metodología se ha diseñado para garantizar un análisis riguroso y objetivo de la evolución de la laxitud articular en esta raza, así como de la efectividad de las recomendaciones aplicadas durante los últimos años.

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica sistemática utilizando bases de datos científicas como PubMed® y Google Scholar™. Se abordaron aspectos clave relacionados con la displasia de cadera canina, tales como su etiopatogenia, factores de riesgo, prevalencia por razas, métodos diagnósticos y estrategias de selección genética. Asimismo, se profundizó en el método PennHIP, evaluando sus fundamentos, ventajas diagnósticas frente a otros enfoques radiográficos y su aplicabilidad precoz de laxitud articular. También se revisaron distintos métodos de evaluación de displasia de cadera (OFA, FCI, DLS), contrastando su utilidad con PennHIP.

El análisis de datos se ha llevado a cabo a partir de los registros clínicos cedidos por la Clínica Veterinaria Romareda (Zaragoza), especializada en ortopedia. Esta clínica ha realizado valoraciones mediante PennHIP en cachorros de Mastín del Pirineo desde el año 2019 hasta la actualidad, en el marco de un programa de mejora funcional impulsado por el Centro de Transferencia Agroalimentaria del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, en colaboración con el Club del Mastín del Pirineo.

Todos los procedimientos se han realizado conforme la legislación vigente en materia de bienestar animal y bioética. El uso de anestesia general en la toma de imágenes PennHIP garantiza la seguridad del animal y la precisión del estudio, siendo una condición indispensable para la medición estandarizada del índice de distracción.

Todos los criadores implicados firmaron un consentimiento informado autorizando el uso anónimo de los datos para fines de investigación. A cambio, el procedimiento PennHIP fue ofrecido de forma gratuita como incentivo para participar en el programa de mejora.

Los datos recogidos incluyen la identificación individual del criador y de cada animal, la fecha de evaluación PennHIP y la fecha de nacimiento de los individuos. Se registró el índice de distracción de cada cadera (disponible a partir de 2020), así como el valor más desfavorable entre ambas caderas. También se incluyó el ángulo de Norberg de cada cadera. En aquellos animales que alcanzaron los 18 meses de edad y pudieron ser evaluados según el sistema FCI, se incorporaron tanto la clasificación FCI obtenida como la presencia o ausencia de osteoartritis. Adicionalmente, se recopilaron los datos de identificación de los progenitores y la clasificación FCI de sus caderas, cuando esta información estaba disponible.

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS Statistics v26 (IBM, Chicago, IL, USA). Para la aplicación e interpretación de los test estadísticos se ha seguido el texto de Petrie y Watson (2013). Se realizó una descripción de las variables analizadas y se evaluó el ajuste de las variables cuantitativas a una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La relación entre variables cuantitativas se realizó mediante sus correlaciones (coeficiente de Pearson, rho de Spearman) y técnicas de regresión lineal. La relación entre variables cuantitativas y cualitativas se estudió mediante análisis de varianza o, cuando no se cumplía la normalidad, se aplicaron pruebas no paramétricas (U de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis). La relación entre variables cualitativas se evaluó mediante el test chi-cuadrado de Pearson. Además, se realizó la capacidad predictiva del índice de distracción para identificar casos con osteoartritis mediante un modelo de regresión logística, con una

curva ROC complementaria para evaluar el rendimiento del modelo. Las tablas y gráficos fueron elaborados con Microsoft Excel y otros recursos gráficos.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Descripción estadística

La tabla 1 describe el índice de distracción (DI) derecho, izquierdo y medio (promedio de los anteriores), así como el ángulo de Norberg (A. Norberg) derecho e izquierdo. Los datos incluyen el número de casos válidos (N), la media y la desviación típica.

El índice de distracción presenta un valor promedio de 0,4624, lo que indica una tendencia moderada de laxitud articular en esta población. Por su parte, el ángulo de Norberg muestra una media cercana a 100°; considerando que valores inferiores a 105° se asocian a un mayor riesgo de displasia, estos resultados reflejan una evidente predisposición a displasia en esta raza.

Cabe destacar que el DI y el ángulo de Norberg se expresan en escalas diferentes. El DI varía entre 0 y más de 1, mientras que el ángulo de Norberg se mide en grados. Esta diferencia implica que la desviación típica del ángulo de Norberg sea mayor, pero esto no implica menor precisión, ya que el DI es más sensible a pequeñas variaciones, lo cual permite destacar diferencias más sutiles en la estabilidad articular.

| Variable             | N  | Media  | Desviación Típica |
|----------------------|----|--------|-------------------|
| DI Derecho           | 58 | 0,4593 | 0,16933           |
| DI Izquierdo         | 59 | 0,4666 | 0,17095           |
| DI medio             | 58 | 0,4624 | 0,15947           |
| A. Norberg Derecho   | 78 | 98,99  | 8,08              |
| A. Norberg Izquierdo | 78 | 99,65  | 8,022             |

*Tabla 1: Valores medios y desviaciones típicas de los índices de distracción y los ángulos de Norberg. (Elaboración propia)*

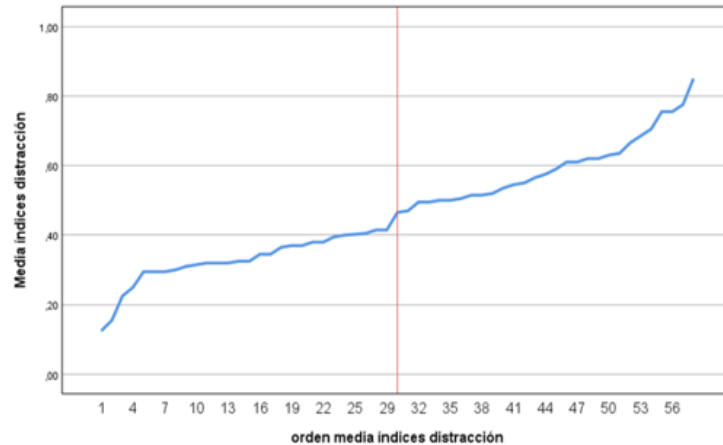
Antes de realizar cualquier análisis estadístico, se evaluó si las variables seguían una distribución normal mediante el test de Shapiro-Wilk. EL resultado de este test mostró que el ángulo de Norberg no seguía una distribución normal ( $p < 0,001$ ), mientras que los índices de distracción se aproximaban más a una distribución normal.

### 4.2. Gráfica de distribución del DI

Esta gráfica (*Gráfica 1*) muestra la distribución del índice de distracción medio (DI) para todos los individuos, ordenados de menor a mayor valor. La línea roja marca la mediana del DI, lo que ayuda a identificar fácilmente el punto central de la distribución.

La prueba de Shapiro-Wilk ( $p = 0,398$ ) confirmó que el DI medio sigue una distribución aproximadamente normal, lo que respalda el uso de análisis paramétricos para esta variable.

Además, esta representación visual es especialmente útil en programas de cría, donde se busca seleccionar animales con mejores características articulares. Considerando las restricciones marcadas por la FCI en sus recomendaciones para evitar consanguinidad, la mediana podría marcar el límite superior del DI de los futuros reproductores.



*Gráfica 1: Valores medios de índice de distracción (DI) en los ejemplares objeto de evaluación PennHIP. (Elaboración propia)*

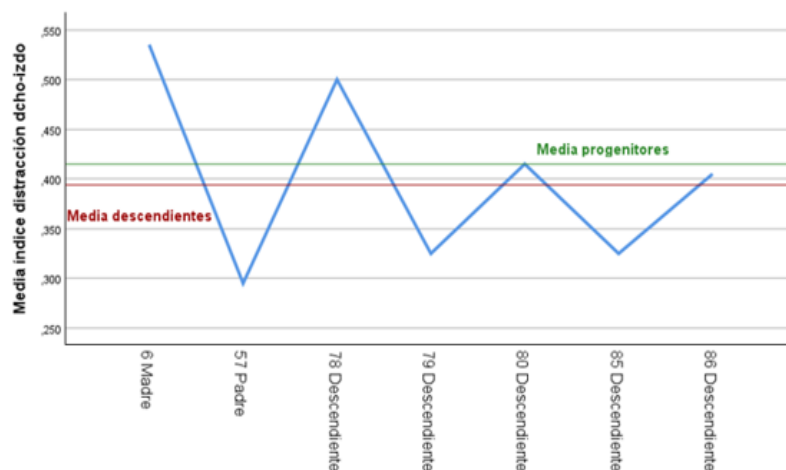
### 4.3. Gráfica Familiar

Esta gráfica (*Gráfica 2*) representa los valores del DI medio de dos progenitores sus cinco descendientes. La línea azul une el valor individual de cada perro, mientras que las líneas horizontales indican la media de los progenitores (verde) y la media de los descendientes (roja).

Se observa que ningún descendiente presenta un DI superior al máximo o inferior al mínimo de sus progenitores. Aunque los valores individuales varían, algunos descendientes se aproximan más al DI del padre, otros al de la madre, y otros se sitúan cerca de la media parental. Esto es característico del patrón de heredabilidad poligénica en caracteres de elevada heredabilidad, donde los descendientes tienden a distribuirse dentro del rango de los progenitores.

Este comportamiento respalda la existencia de un componente hereditario en la laxitud articular, en línea con la evidencia descrita en otras razas caninas.

Aunque en este estudio no se ha podido calcular la heredabilidad del índice de distracción (DI) en esta raza debido a las limitaciones en la cantidad de datos familiares disponibles, los resultados apuntan a una elevada heredabilidad. Este hallazgo coincide con estudios previos realizados en otras razas, como el Estrela Mountain Dog, donde se ha estimado una heredabilidad del DI de  $0,83 \pm 0,11$  (Ginja et al., 2008). Este valor es considerablemente alto, lo que indica que la selección basada en el DI podría generar avances significativos en la reducción de dicho índice, y por su alta correlación con el mismo (evidenciada ya en la Figura 4), en el control genético de la displasia de cadera.



Gráfica 2: Índice de distracción medio (DI) de los progenitores y sus descendientes. (Elaboración propia)

#### 4.4. Correlaciones entre los DI y los ángulos de Norberg

Se analizaron correlaciones entre parámetros clave. En primer lugar, se evaluó la correlación entre los DI derecho e izquierdo; dado que ambos se distribuyen normalmente se aplicó el coeficiente  $r$  de Pearson, observándose una alta correlación significativa y positiva ( $r=0,744$ ;  $N=58$ ;  $p<0,001$ ). Este resultado indica que los valores del DI de ambas caderas están muy relacionados, lo que justifica el uso de DI medio como medida representativa de la laxitud articular del animal. Esta consistencia bilateral es esperable, ya que la displasia de cadera tiende a afectar a ambas articulaciones de forma similar.

Posteriormente, se analizó la relación entre el DI y el ángulo de Norberg (A. Norberg). Dado que los ángulos de Norberg no siguen una distribución normal, se empleó el coeficiente rho de Spearman. Los resultados mostraron una alta correlación negativa y altamente significativa, entre el DI derecho y el A. Norberg derecho ( $\rho=-0,705$ ,  $N=58$ ;  $p<0,001$ ) y entre el DI izquierdo y el A. Norberg izquierdo ( $\rho=-0,609$ ,  $N=59$ ;  $p<0,001$ ). Esto significa que a medida que aumenta el DI (indicador de mayor laxitud articular), disminuye el A. Norberg (indicador de menor cobertura acetabular), lo que es coherente desde un punto de vista biomecánico. Finalmente, se detectó una alta correlación positiva y altamente significativa ( $\rho=0,783$ ;  $N=78$ ;  $p<0,001$ ) entre los A. Norberg derecho izquierdo, confirmando la consistencia.

#### 4.5. Distribución categorías FCI y presencia de OA

El análisis cualitativo mostró que la mayoría de los perros se agruparon en las categorías extremas del sistema FCI, concretamente en A-B (categorías más saludables) y D-E (categorías más afectadas), mientras que muy pocos se situaron en la categoría intermedia C. En relación con la presencia de osteoartritis (OA), la proporción fue similar entre grupos, con un 49% de los perros diagnosticados con OA y un 51% sin OA. Estos resultados iniciales plantean la necesidad de analizar con más detalle la posible relación entre la clasificación FCI, el DI y la presencia de OA, para determinar si las categorías



FCI permiten predecir con precisión el riesgo articular, o si presentan limitaciones, especialmente en las categorías intermedias. (Tabla 2)

| Variable | Categoría | Recuento/n (%) |
|----------|-----------|----------------|
| FCI      | A         | 12/39 (30,8%)  |
|          | B         | 13/39 (33,3%)  |
|          | C         | 3/39 (7,7%)    |
|          | D         | 7/39 (17,9%)   |
|          | E         | 4/39 (10,3%)   |
| OA       | SI        | 20/41 (48,8%)  |
|          | NO        | 21/41 (51,2%)  |

Tabla 2: Distribución de la clasificación FCI y la presencia de osteoartritis (OA) en la población estudiada. (Elaboración propia)

#### 4.6. Análisis de la relación entre el desarrollo de OA, DI y A. Norberg.

Se compararon los valores de DI y cada A. Norberg en los perros que desarrollaron osteoartritis (OA) y los que no, se obteniéndose diferencias significativas en todos los casos. (Tabla 3)

| Descriptivos         |    |    |        |                |        |
|----------------------|----|----|--------|----------------|--------|
| Variable             | OA | N  | Media  | Desv. estándar | p      |
| DI Derecho           | NO | 12 | 0,3592 | 0,12674        | <0,001 |
|                      | SI | 13 | 0,6    | 0,12049        |        |
| DI Izquierdo         | NO | 13 | 0,3754 | 0,12231        | <0,001 |
|                      | SI | 13 | 0,6477 | 0,14906        |        |
| DI medio             | NO | 12 | 0,3608 | 0,11803        | <0,001 |
|                      | SI | 13 | 0,6238 | 0,09696        |        |
| A. Norberg Derecho   | NO | 20 | 102,85 | 5,363          | <0,001 |
|                      | SI | 21 | 93,29  | 8,516          |        |
| A. Norberg Izquierdo | NO | 20 | 103,5  | 4,861          | <0,001 |
|                      | SI | 21 | 92,86  | 10,413         |        |

Tabla 3: Valores descriptivos del índice de distracción (DI) y ángulo de Norberg (A. Norberg) según la presencia o ausencia de osteoartritis (OA). (Elaboración propia)

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en todas las comparaciones ( $p < 0,001$ ). Los animales que desarrollaron OA presentaron índices de distracción significativamente más altos y ángulos de Norberg más bajos. Esto indica una mayor laxitud articular y una peor cobertura acetabular, respectivamente, confirmando que ambos parámetros están relacionados con el riesgo de artrosis.

#### 4.7. Relación entre la clasificación FCI y DI

Para evaluar la relación entre la clasificación FCI obtenida a los 18 meses y el DI medido mediante PennHIP, se realizó un análisis estadístico de los valores DI derecho, izquierdo y medio según la categoría FCI asignada (A, B, C, D y E). La tabla 4 muestra las medias y desviaciones estándar correspondientes a cada grupo, indicando diferencias significativas entre algunas de las categorías ( $p < 0,05$ ).

Los resultados evidenciaron que los valores medios de DI son significativamente más bajos en las categorías A y B (las de mejor calidad articular), y más altos en la categoría E (indicadora de displasia severa en el sistema FCI), tanto en el DI derecho como en el izquierdo. Las categorías intermedias (C y D) presentan medias que no se diferencian claramente ni de A-B ni de E.

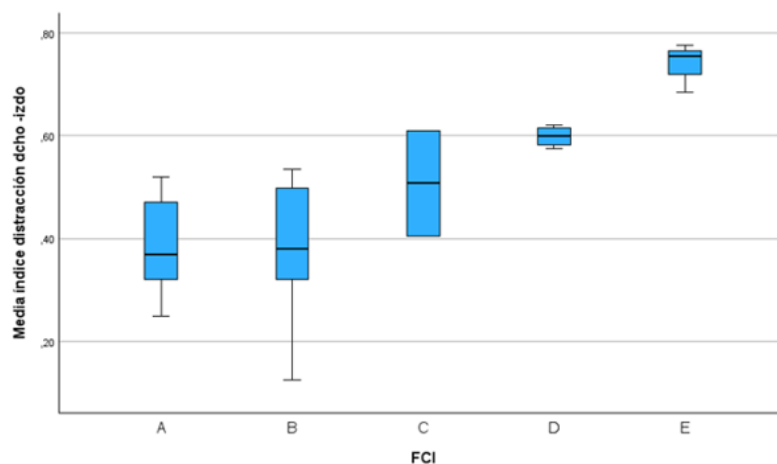
En cambio, el DI medio (calculado como la media del DI derecho e izquierdo) permitió distinguir con mayor claridad las caderas bien conformadas (A-B) frente a las displásicas (D-E); sin embargo, la categoría intermedia (C) continúa sin diferenciarse de las demás categorías.

Estos resultados sugieren que el sistema FCI, especialmente en estas categorías intermedias, presenta variabilidad e inconsistencia, lo que podría deberse a la subjetividad inherente al sistema de evaluación radiográfica tradicional.

| Variable     | Categoría FCI | N  | Media                 | Desv. estándar |
|--------------|---------------|----|-----------------------|----------------|
| DI Derecho   | A             | 6  | 0,3750 <sup>a</sup>   | 0,09397        |
|              | B             | 11 | 0,3736 <sup>a</sup>   | 0,13178        |
|              | C             | 2  | 0,4650 <sup>a,b</sup> | 0,20506        |
|              | D             | 4  | 0,5700 <sup>a,b</sup> | 0,10801        |
|              | E             | 3  | 0,7100 <sup>b</sup>   | 0,23065        |
| DI Izquierdo | A             | 7  | 0,4114 <sup>a</sup>   | 0,12799        |
|              | B             | 11 | 0,3964 <sup>a</sup>   | 0,11977        |
|              | C             | 2  | 0,5500 <sup>a,b</sup> | 0,08485        |
|              | D             | 4  | 0,6275 <sup>a,b</sup> | 0,06994        |
|              | E             | 3  | 0,7667 <sup>b</sup>   | 0,24111        |
| DI medio     | A             | 6  | 0,3833 <sup>a</sup>   | 0,09832        |
|              | B             | 11 | 0,3850 <sup>a</sup>   | 0,12205        |
|              | C             | 2  | 0,5075 <sup>a,b</sup> | 0,14496        |
|              | D             | 4  | 0,5988 <sup>b</sup>   | 0,02016        |
|              | E             | 3  | 0,7383 <sup>b</sup>   | 0,04726        |

Tabla 4: Índice de distracción (DI) derecho, izquierdo y medio según la categoría FCI.  
(Elaboración propia) Los superíndices (a, b) identifican los grupos con diferencias significativas.

En la gráfica 3 se visualizan claramente las diferencias comentadas entre categorías. En ellas se observa que las medianas del DI son claramente más bajas en los grupos A y B, pero sin diferencia apenas entre ellas, y mucho más altas en E. La dispersión es también mayor en los grupos intermedios, especialmente en C, lo que refuerza la idea de que la clasificación FCI puede no reflejar con precisión el riesgo de displasia en estos casos. Esta observación destaca el valor del DI como medida más objetiva y sensible para evaluar la laxitud articular y predecir la predisposición a la osteoartritis.

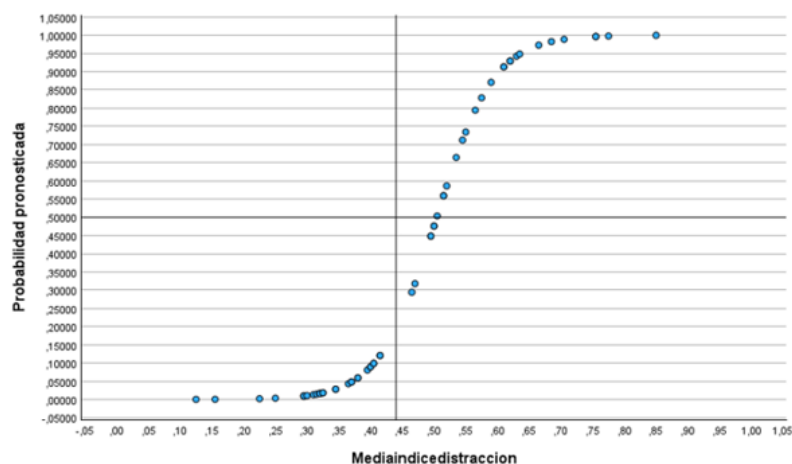


Gráfica 3: Distribución del índice de distracción medio (DI) según la clasificación FCI. (Elaboración propia)

#### 4.8. Análisis de la capacidad predictiva del DI en relación con la OA

La relación entre el DI medio y la probabilidad de desarrollo de OA se analizó mediante regresión logística. Se elaboró una gráfica de dispersión (nube de puntos), en la que se representan la media del índice de distracción en el eje X y la probabilidad pronosticada de OA en el eje Y: se obtuvo de esta forma una gráfica sigmoidea (Gráfica 4). Aparece claramente una progresión de la probabilidad de OA desde unos niveles bajos para valores bajos de DI medio, hasta acercarse a un clímax para valores altos de DI medio; la transición se produce en una región caracterizada por una fuerte aceleración intermedia.

La mediana del DI medio observada es de 0,44, lo que coincide con un punto de inflexión en la curva de la nube de puntos, donde la probabilidad de OA empieza a incrementarse más rápidamente. Este comportamiento evidencia que la laxitud articular (reflejada por el DI) es un predictor clave del riesgo de osteoartritis: a mayor DI, mayor es el riesgo.

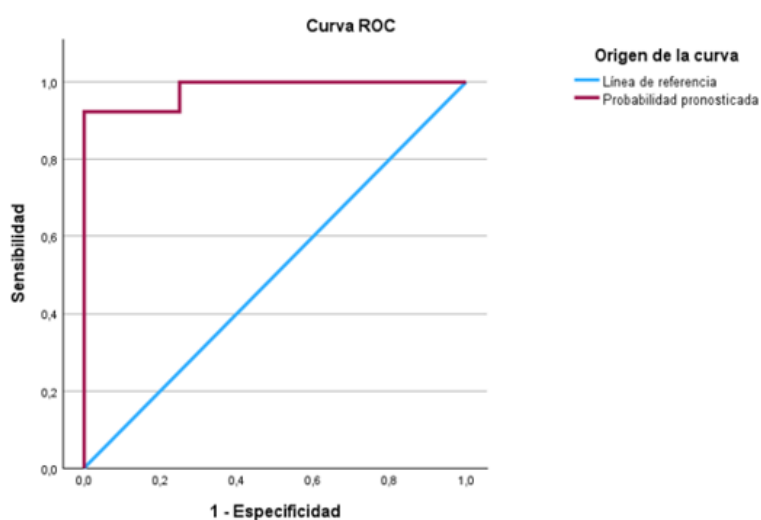


Gráfica 4: Relación entre el índice de distracción medio y la probabilidad pronosticada de osteoartritis. (elaboración propia)

En cuanto al desempeño del modelo predictivo basado en el DI medio, se constató que presenta una sensibilidad del 92,3% y una especificidad del 75%, lo que indica que el modelo logra identificar correctamente la gran mayoría de los casos con OA (verdaderos positivos) y una proporción significativa de casos sin OA (verdaderos negativos). Los valores predictivos positivo (80%) y negativo (90%) confirman la buena capacidad del modelo para clasificar correctamente a los individuos.

Para evaluar la capacidad discriminativa del modelo, se ha incluido una curva ROC (Receiver Operating Characteristic). Esta curva representa cómo varían la sensibilidad y la especificidad del modelo a medida que se modifican los puntos de corte para considerar a un individuo como “portador” o “no portador” del evento (OA).

El área bajo la curva ROC (AUC) proporciona una medida del rendimiento predictivo del modelo. El área bajo la curva ROC es equivalente a la probabilidad de concordancia (concordancia entre la predicción de OA con el modelo y la situación real de OA). En este estudio, el AUC fue de 0,93, lo que indica una capacidad excelente del DI medio para predecir el riesgo de artrosis. Cuanto más próximo a 1 sea el AUC, mejor será la discriminación entre los casos con OA y sin OA. Esta interpretación se basa en la relación entre la probabilidad predicha (línea roja) y la línea de referencia (línea azul) de la curva de ROC. (Gráfica 5)



Gráfica 5: Curva ROC que muestra la capacidad predictiva del índice de distracción medio para identificar casos de osteoartritis. (Elaboración propia)

## **Conclusiones**

1. La media del índice de distracción (DI) medio en la población de Mastín del Pirineo estudiada fue de 0,4624, indicando una laxitud articular moderada.
2. Se observó una correlación negativa y significativa entre el DI y el ángulo de Norberg, lo que confirma la relación inversa entre la laxitud articular y la cobertura acetabular.
3. Los valores de DI y las categorías FCI no muestran una correspondencia precisa, especialmente en las categorías intermedias, lo que sugiere limitaciones del sistema FCI para reflejar el riesgo real de displasia.
4. El modelo predictivo basado en el DI medio mostró una alta sensibilidad (92,3%) y especificidad (75%) para anticipar el desarrollo de osteoartritis, respaldado por valores predictivos positivos (80%) y negativos (90%), y un área bajo la curva ROC de 0,93.
5. Los resultados, en línea con estudios previos de otras razas, apuntan a una elevada heredabilidad del índice de distracción, lo que refuerza su utilidad como herramienta de selección genética temprana.
6. Este estudio confirma el valor del método PennHIP en el Mastín del Pirineo y sienta las bases para programas de selección genética más efectivos, combinando herramientas diagnósticas y estudios de genealogía completos, con el fin de mejorar la salud articular y el bienestar de esta raza.

### **Valoración personal**

Este trabajo me ha permitido profundizar en el manejo de herramientas diagnósticas avanzadas como el método PennHIP, así como mejorar significativamente mis habilidades en el análisis e interpretación de resultados. He adquirido una mayor comprensión del papel de la genética y la patología articular en la displasia de cadera, lo que me ha proporcionado una visión más completa y crítica de esta enfermedad multifactorial. Además, he mejorado mis capacidades para buscar, contrastar y organizar información bibliográfica relevante, lo que me ha permitido estructurar un marco teórico sólido y actualizado.

Cabe destacar que este trabajo también me ha servido para adquirir nuevos conocimientos sobre análisis de datos y uso de herramientas como Excel, que hasta ahora apenas dominaba, y que han resultado fundamentales para organizar y explorar los datos recogidos.

En definitiva, este proyecto me ha enriquecido tanto a nivel académico como personal, preparándome mejor para afrontar futuros retos clínicos, de investigación y de gestión en el campo de la veterinaria.

## **Agradecimientos**

A mi tutor, Luis Monteagudo, gracias por acompañarme en todo momento, por estar ahí siempre que lo necesitaba, corregir sin descanso y por ayudarme a convertir este trabajo en algo de lo que puedo sentirme muy orgullosa. Gracias por tu paciencia y dedicación.

A mi cotutor y jefe de la Clínica Romareda, Gonzalo Valle, por permitirme asistir a la realización de algunas radiografías y por explicarme en detalle cómo se llevan a cabo, transmitiéndome no solo conocimientos técnicos, sino también la pasión por esta profesión.

A Jesús Sanz, del Club Mastín del Pirineo, por su generosidad al cedernos los datos de todos los perros que han hecho posible este estudio.

A Teresa Tejedor, por su ayuda incansable con las tablas estadísticas, por explicarme cada paso con paciencia y por enseñarme a interpretar los datos con claridad.

A mi familia, en especial a mis padres, Pili y Carlos, por darme la oportunidad de estudiar, por apoyarme incondicionalmente y por enseñarme cada día que con esfuerzo se pueden alcanzar los sueños. A mi hermano Riki, por ser mi compañero de vida, por estar ahí en todo momento y por darme fuerzas siempre que lo necesitaba.

A mis yayos, por seguir ahí dándome amor y apoyo cada día, por ser mi raíz. A mi abuelita que, aunque ya no esté aquí, sigue iluminando mi camino y me acompaña en cada paso.

A esos amigos que considero familia, por estar ahí en cada momento, por compartir risas y lágrimas y por ser mi refugio en los días buenos y malos, y, sobre todo, a ti, por estar ahí cada día y, aunque sea desde la distancia, siempre has sido mi mayor apoyo.

A mis compañeros de vida peludos: Chester, Niebla, Melón, Melocotón y Whisky por llenarme de amor incondicional y recordarme cada día por qué elegí esta carrera tan bonita. Y a Canela, que siempre estará conmigo.

Y, por supuesto, a esa niña que soñaba con curar animales y que hoy está un poco más cerca de cumplir su sueño.

Este trabajo no lo hice sola, lo hicimos todos juntos.

## **Bibliografía**

American College of Veterinary Surgeons (ACVS). (s.f.). *Canine hip dysplasia*. <https://www.acvs.org/es/small-animal/canine-hip-dysplasia/>

Antech Diagnostics. (s.f.) *What is PennHIP?* Antech Diagnostics. <https://www.antechdiagnostics.com/imaging-services/pennhip/what-is-pennhip/>

Antech Imaging Services. (2015). *AIS PennHIP Manual*. [https://antechimagingervices.com/antechweb/pdf/AIS-PennHIP-Manual.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://antechimagingervices.com/antechweb/pdf/AIS-PennHIP-Manual.pdf?utm_source=chatgpt.com)

Bartolomé, N., Segarra, S., Artieda, M., Francino, O., Sánchez, E., Szczypiorska, M., Casellas, J., Tejedor, D., Cerdeira, J., Martínez, A., Velasco, A., y Sánchez, A. (2015) *A genetic predictive model for canine hip dysplasia: integration of genome wide association study (GWAS) and candidate gene approaches*. PLOS ONE, 10 (4), e0122558. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122558>

Bruun, C. S., Bank, A., Ström, A., Proschowsky, H. F. y Fredholm, M. (2020) *Validation of DNA test for hip dysplasia failed in Danish Labrador Retrievers*. Animal Genetics. <https://doi.org/10.1111/age.12951>

Cañadillas Madueño, A. (2020). *Diagnóstico precoz de displasia de cadera: una vista imprescindible en cachorros*. Argos: Trauma y Neuro, (222), 56-58. Recuperado de <https://www.portalveterinaria.com/pdfjs/web/viewer.php?file=%2Fupload%2Ffriviste%2Fargos222MR.pdf>

Durán Céspedes, R. (2005). *Caracterización del síndrome de displasia de cadera en una población de Rottweiler*. Universidad de Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131004/Caracterizaci%C3%B3n-del-s%C3%ADndrome-de-displasia-de-cadera-en-una-poblaci%C3%B3n-de-Rottweiler.pdf>

Federación Cinológica Internacional (FCI). (2022, noviembre). *Reglamento Internacional de Cría de la FCI*. FCI. Recuperado de <http://www.fci.be>

Ginja, M., Gaspar, A.R., y Ginja, C. (2015) *Emerging insights into the genetic basis of canine hip dysplasia*. Veterinary Medicine: Research and Reports, 6, 193-202. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S63536>

Ginja, M. M. D., Silvestre, A. M., Ferreira, A. J. A., Gonzalo-Orden, J. M., Orden, M. A., Melo-Pinto, P. , Llorens-Pena, M. P., y Colaço, J. (2008). *Passive hip laxity in Estrela Mountain Dog-Distractio index, heritability and breeding values*. Acta Veterinaria Hungarica, 56(3), 303-312. <https://doi.org/10.1556/AVet.56.2008.3.4>



Ginja, M. M., Silvestre, A. M., Ferreira, A. J., y Gonzalo-Orden, J. M. (2009). *Diagnosis, genetic control and preventive management of canine hip dysplasia: A review*. The Veterinary Journal, 184(3), 269-276. Recuperado de [https://pawsoflife-org.k9handleracademy.com/Library/Health/Ginja\\_2009.pdf](https://pawsoflife-org.k9handleracademy.com/Library/Health/Ginja_2009.pdf)

Gobierno de Aragón. (2020). *Validación de las técnicas de diagnóstico precoz de la displasia de cadera en el Mastín del Pirineo*. Informe de ejecución del proyecto TRF2020GA0046. <https://cta.chil.me/post/validacion-de-las-tecnicas-de-diagnostico-precoz-de-la-displasia-de-cadera-en-el-338372>

Leighton E. A. (1997). *Genetics of canine hip dysplasia*. Journal of the American Veterinary Medical Association, 210 (10), 1474-1479. Recuperado de <https://avmajournals.avma.org/view/journals/javma/210/10/javma.1997.210.10.1474.xml>

Orthopedic Foundation for Animals. (2024) *Canine hip dysplasia*. Recuperado de <https://ofa.org/diseases/hip-dysplasia/>

Petrie, A. y Watson, P. (2013). *Statistics for veterinary and animal science*. Third edition. Blackwell Science.

Poverene, M.M. (2022). *Breeding against canine hip dysplasia in the German Shepherd dog*. Journal of Basic and Applied Genetics, 33(2), 45-53. <https://doi.org/10.35407/bag.2022.33.02.05>

Raimann, R., y Aguirre, D. (2021). *Displasia de cadera en perros: Evaluación y diagnóstico*. Revista Médica Clínica Las Condes. <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-pdf-S0716864021000511>

Sánchez Alonso, C., García Luque, A., Chamorro Sancho, M. J., Arias Sanz, P., y De Vega Terán, P., Crespo Castejón, F. (2015). *El Pennhip modificado y la sinfiodesis juvenil pubiana como prevención de displasia de cadera canina en las Fuerzas Armadas*. Sanidad Militar, 71 (3), 146-157.

Schachner, E.R., y Lopez, M. J. (2015). *Diagnosis, prevention, and management of canine hip dysplasia: A review*. Veterinary Medicine: Research and Reports, 6, 181-192. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S53266>

Smith, G. K., Mayhew, P. D., Kapatkin, A. s., McKelvie, P. J., Shofer, F. S., y Gregor, T. P. (2001). *Evaluation of risk factors for degenerative joint disease associated with hip dysplasia in German Shepherd Dogs, Golden Retrievers, Labrador Retrievers, and Rottweilers*. Journal of the American Veterinary Medical Association, 219 (12), 1719-1724. <https://doi.org/10.2460/javma.2001.219.1719>

Villar estalote, J., y Mariño Carballo, L. (2021, 25 de enero). *Displasia de cadera en perros: Diagnóstico y tratamiento*. IMAVET. <https://www.imavet.es/archivos/articulos/564240111600ee0184698e8.66523407.pdf>

Wang, S., Strandberg, E., Arvelius, P., N.Clements, D., Wiener, P. y Friedrich, J. (2021). *Genome-wide association studies for canine hip displasia in single and multiple populations- implications and potential novel risk loci*. BMC Genomics, 22, 636. <https://doi.org/10.1186/s12866-021-07945-z>

## Anexos

A continuación, se presentan dos tablas que recogen los datos individuales utilizados en el análisis. En la tabla A1 se recogen los índices de distracción (DI), derecho e izquierdo, así como el peor de ambos ya que en 2019 no se registró por separado cada cadera, por lo que únicamente se contempla el peor entre ambas y no se sabe a cuál pertenece.

| Año  | Nº PennHip | Nº ejemplar | DI      |           |      |
|------|------------|-------------|---------|-----------|------|
|      |            |             | Derecho | Izquierdo | Peor |
| 2019 | 1          | 9           |         |           | 0,32 |
| 2019 | 2          | 109         |         |           | 0,35 |
| 2019 | 3          | 66          |         |           | 0,37 |
| 2019 | 4          | 110         |         |           | 0,38 |
| 2019 | 5          | 34          |         |           | 0,43 |
| 2019 | 6          | 3           |         |           | 0,44 |
| 2019 | 7          | 112         |         |           | 0,46 |
| 2019 | 8          | 73          |         |           | 0,5  |
| 2019 | 9          | 1           |         |           | 0,5  |
| 2019 | 10         | 74          |         |           | 0,51 |
| 2019 | 11         | 76          |         |           | 0,51 |
| 2019 | 12         | 4           |         |           | 0,51 |
| 2019 | 13         | 41          |         |           | 0,55 |
| 2019 | 14         | 22          |         |           | 0,6  |
| 2019 | 15         | 2           |         |           | 0,68 |
| 2019 | 16         | 8           |         |           | 0,68 |
| 2019 | 17         | 42          |         |           | 0,7  |
| 2019 | 18         | 39          |         |           | 0,74 |
| 2019 | 19         | 37          |         |           | 0,74 |
| 2020 | 20         | 43          | 0,33    | 0,43      | 0,43 |
| 2020 | 21         | 50          | 0,63    | 0,74      | 0,74 |
| 2020 | 22         | 77          | 0,53    | 1,02      | 1,02 |
| 2020 | 23         | 55          | 0,69    | 0,55      | 0,69 |
| 2020 | 24         | 51          | 0,6     | 0,62      | 0,62 |
| 2020 | 25         | 105         | 0,7     | 0,63      | 0,7  |
| 2020 | 26         | 49          | 0,43    | 0,72      | 0,72 |
| 2020 | 27         | 75          | 0,71    | 0,8       | 0,8  |
| 2020 | 28         | 82          | 0,53    | 0,51      | 0,53 |
| 2020 | 29         | 81          | 0,36    | 0,44      | 0,44 |
| 2020 | 30         | 35          | 0,66    | 0,47      | 0,66 |
| 2020 | 31         | 89          | 0,76    | 0,65      | 0,76 |
| 2020 | 32         | 58          |         | 0,53      | 0,53 |
| 2020 | 33         | 56          | 0,47    | 0,54      | 0,54 |
| 2020 | 34         | 57          | 0,29    | 0,3       | 0,3  |
| 2020 | 35         | 23          | 0,6     | 0,5       | 0,6  |
| 2020 | 36         | 88          | 0,62    | 0,65      | 0,65 |
| 2020 | 37         | 87          | 0,56    | 0,62      | 0,62 |
| 2021 | 38         | 48          | 0,65    | 0,61      | 0,65 |

|      |    |           |      |      |      |
|------|----|-----------|------|------|------|
| 2021 | 39 | 10        | 0,42 | 0,32 | 0,42 |
| 2021 | 40 | 6         | 0,56 | 0,51 | 0,56 |
| 2021 | 41 | 107       | 0,28 | 0,22 | 0,28 |
| 2021 | 42 | 45        | 0,33 | 0,36 | 0,36 |
| 2021 | 43 | 97        | 0,28 | 0,36 | 0,36 |
| 2021 | 44 | 103       | 0,35 | 0,28 | 0,35 |
| 2021 | 45 | 28        | 0,37 | 0,37 | 0,37 |
| 2022 | 46 | 67        | 0,09 | 0,16 | 0,16 |
| 2022 | 47 | <b>62</b> | 0,29 | 0,3  | 0,3  |
| 2022 | 48 | 33        | 0,41 | 0,42 | 0,42 |
| 2022 | 49 | 32        | 0,34 | 0,35 | 0,35 |
| 2022 | 50 | 64        | 0,3  | 0,34 | 0,34 |
| 2022 | 51 | 60        | 0,52 | 0,51 | 0,52 |
| 2022 | 52 | 69        | 0,97 | 0,54 | 0,97 |
| 2022 | 53 | 71        | 0,61 | 0,61 | 0,61 |
| 2022 | 54 | 54        | 0,37 | 0,36 | 0,37 |
| 2023 | 55 | 5         | 0,44 | 0,35 | 0,44 |
| 2023 | 56 | 79        | 0,29 | 0,36 | 0,36 |
| 2023 | 57 | 80        | 0,41 | 0,42 | 0,42 |
| 2023 | 58 | 86        | 0,32 | 0,49 | 0,49 |
| 2023 | 59 | 78        | 0,48 | 0,52 | 0,52 |
| 2023 | 60 | 85        | 0,29 | 0,36 | 0,36 |
| 2023 | 61 | 19        | 0,5  | 0,49 | 0,5  |
| 2023 | 62 | 20        | 0,84 | 0,86 | 0,86 |
| 2023 | 63 | 91        | 0,45 | 0,54 | 0,54 |
| 2023 | 64 | 90        | 0,33 | 0,31 | 0,33 |
| 2023 | 65 | 92        | 0,53 | 0,47 | 0,53 |
| 2023 | 66 | 93        | 0,37 | 0,57 | 0,57 |
| 2023 | 67 | 63        | 0,27 | 0,32 | 0,32 |
| 2024 | 68 | 24        | 0,38 | 0,24 | 0,38 |
| 2024 | 69 | 84        | 0,47 | 0,46 | 0,47 |
| 2024 | 70 | 14        | 0,27 | 0,18 | 0,27 |
| 2024 | 71 | 36        | 0,63 | 0,61 | 0,63 |
| 2024 | 72 | 38        | 0,42 | 0,38 | 0,42 |
| 2024 | 73 | 52        | 0,51 | 0,58 | 0,58 |
| 2024 | 74 | 53        | 0,37 | 0,44 | 0,44 |
| 2024 | 75 | 70        | 0,56 | 0,47 | 0,56 |
| 2025 | 76 | 96        | 0,28 | 0,32 | 0,32 |
| 2025 | 77 | 94        | 0,46 | 0,3  | 0,46 |
| 2025 | 78 | 95        | 0,16 | 0,15 | 0,16 |
| 2025 |    |           |      |      |      |
|      |    |           |      |      |      |

Tabla A1: Índice de distracción (DI) derecho, izquierdo y el peor entre ambos, de todos los individuos evaluados mediante el método PennHIP.

En la tabla A2 se muestran los ángulos de Norberg (A. Norberg) derecho e izquierdo, junto con la clasificación FCI y la presencia o ausencia de osteoartritis (OA) en aquellos individuos que han alcanzado los 18 meses de edad y han podido ser evaluados.

| Año  | Nº PennHip | Nº ejemplar | A. Norberg |           | Adultos + 18 meses |    |
|------|------------|-------------|------------|-----------|--------------------|----|
|      |            |             | Derecho    | Izquierdo | FCI                | OA |
| 2019 | 1          | 9           | 107        | 97        |                    | NO |
| 2019 | 2          | 109         | 106        | 105       | A                  | NO |
| 2019 | 3          | 66          | 96         | 99        | A                  | NO |
| 2019 | 4          | 110         | 99         | 104       | A                  | NO |
| 2019 | 5          | 34          | 107        | 107       | A                  | NO |
| 2019 | 6          | 3           | 105        | 107       | C                  | SI |
| 2019 | 7          | 112         | 99         | 99        | B                  | NO |
| 2019 | 8          | 73          | 98         | 96        | B                  | SI |
| 2019 | 9          | 1           | 100        | 99        |                    |    |
| 2019 | 10         | 74          | 95         | 98        |                    |    |
| 2019 | 11         | 76          | 96         | 96        | A                  | NO |
| 2019 | 12         | 4           | 90         | 100       |                    |    |
| 2019 | 13         | 41          | 101        | 99        |                    |    |
| 2019 | 14         | 22          | 95         | 93        |                    | SI |
| 2019 | 15         | 2           | 72         | 78        | E                  | SI |
| 2019 | 16         | 8           | 96         | 100       |                    | SI |
| 2019 | 17         | 42          | 96         | 99        | D                  | SI |
| 2019 | 18         | 39          | 89         | 85        | D                  | SI |
| 2019 | 19         | 37          | 97         | 94        | D                  | SI |
| 2020 | 20         | 43          | 107        | 112       | B                  | NO |
| 2020 | 21         | 50          | 84         | 87        | E                  | SI |
| 2020 | 22         | 77          | 80         | 63        | E                  | SI |
| 2020 | 23         | 55          | 100        | 95        | D                  | SI |
| 2020 | 24         | 51          | 85         | 86        | D                  | SI |
| 2020 | 25         | 105         | 85         | 89        |                    | SI |
| 2020 | 26         | 49          | 100        | 89        | D                  | SI |
| 2020 | 27         | 75          | 93         | 93        |                    | SI |
| 2020 | 28         | 82          | 91         | 93        | A                  | NO |
| 2020 | 29         | 81          | 99         | 100       |                    |    |
| 2020 | 30         | 35          | 98         | 103       |                    | SI |
| 2020 | 31         | 89          | 85         | 88        |                    | SI |
| 2020 | 32         | 58          | 106        | 107       | A                  | NO |
| 2020 | 33         | 56          | 104        | 103       | B                  | NO |
| 2020 | 34         | 57          | 107        | 109       | B                  | NO |
| 2020 | 35         | 23          | 98         | 96        |                    | SI |
| 2020 | 36         | 88          | 101        | 99        |                    |    |
| 2020 | 37         | 87          | 103        | 112       | D                  | SI |
| 2021 | 38         | 48          | 100        | 95        |                    |    |
| 2021 | 39         | 10          | 103        | 105       | A                  | NO |

|      |    |     |     |     |   |    |
|------|----|-----|-----|-----|---|----|
| 2021 | 40 | 6   | 94  | 101 | B | NO |
| 2021 | 41 | 107 | 109 | 107 | A | NO |
| 2021 | 42 | 45  | 100 | 104 |   |    |
| 2021 | 43 | 97  | 103 | 104 | A | NO |
| 2021 | 44 | 103 | 101 | 102 | B | NO |
| 2021 | 45 | 28  | 110 | 110 | A | NO |
| 2022 | 46 | 67  | 107 | 105 | B | NO |
| 2022 | 47 | 62  | 104 | 103 |   |    |
| 2022 | 48 | 33  | 105 | 106 |   |    |
| 2022 | 49 | 32  | 105 | 105 | B | NO |
| 2022 | 50 | 64  | 112 | 110 |   |    |
| 2022 | 51 | 60  | 103 | 106 |   |    |
| 2022 | 52 | 69  | 72  | 93  | E |    |
| 2022 | 53 | 71  | 100 | 96  | C | SI |
| 2022 | 54 | 54  | 101 | 102 |   |    |
| 2023 | 55 | 5   | 104 | 103 |   |    |
| 2023 | 56 | 79  | 104 | 96  | B |    |
| 2023 | 57 | 80  | 100 | 100 | B |    |
| 2023 | 58 | 86  | 100 | 101 | C | SI |
| 2023 | 59 | 78  | 100 | 106 |   |    |
| 2023 | 60 | 85  | 105 | 110 |   |    |
| 2023 | 61 | 19  | 96  | 100 |   |    |
| 2023 | 62 | 20  | 83  | 92  |   |    |
| 2023 | 63 | 91  | 99  | 103 | B |    |
| 2023 | 64 | 90  | 98  | 103 |   |    |
| 2023 | 65 | 92  | 102 | 100 | B |    |
| 2023 | 66 | 93  | 106 | 106 | A |    |
| 2023 | 67 | 63  | 101 | 104 |   |    |
| 2024 | 68 | 24  | 115 | 112 |   |    |
| 2024 | 69 | 84  | 107 | 107 |   |    |
| 2024 | 70 | 14  | 104 | 108 |   |    |
| 2024 | 71 | 36  | 99  | 101 |   |    |
| 2024 | 72 | 38  | 99  | 99  |   |    |
| 2024 | 73 | 52  | 92  | 89  |   |    |
| 2024 | 74 | 53  | 103 | 96  |   |    |
| 2024 | 75 | 70  | 96  | 96  |   |    |
| 2025 | 76 | 96  | 105 | 99  |   |    |
| 2025 | 77 | 94  | 96  | 104 |   |    |
| 2025 | 78 | 95  | 108 | 105 |   |    |
| 2025 |    |     |     |     |   |    |
|      |    |     |     |     |   |    |

Tabla A2: Valores del ángulo de Norberg (A. Norberg) derecho e izquierdo, así como su clasificación según la FCI y la presencia o ausencia de osteoartritis (OA).