

Órtesis genu-valga para pacientes pediátricos como método de corrección dinámica en la marcha.

Ana Karen Carrillo Pantoja

**Corresponding author:
ianakarenc@gmail.com*

Resumen. El genu valgo, también conocido como genu valgum, es una deformidad angular caracterizada por un aumento en el eje femorotibial más allá de los valores fisiológicos (6-8°), lo que provoca un desplazamiento del eje mecánico hacia el compartimento lateral de la rodilla y, en consecuencia, un desgaste precoz de sus estructuras. En los primeros años de vida, esta condición es considerada fisiológica y suele corregirse de forma natural alrededor de los 10 años, adoptando los ejes típicos de un adulto hacia los 14 años. Sin embargo, cuando esta corrección no ocurre, la deformidad puede generar problemas biomecánicos como artrosis temprana, dolor, y alteraciones funcionales severas, afectando la marcha e incrementando la incapacidad progresiva.

Palabras Clave: Genu valgo, Eje femorotibial, Deformidad angular, Trastornos de la marcha

Abstract. Genu valgum, also known as knock knees, is an angular deformity characterized by an increase in the femorotibial angle beyond physiological values (6-8°), leading to a medial shift in the mechanical axis and increased stress on the lateral compartment of the knee. While this condition is considered physiological during early childhood and often self-corrects by age 10, failure to do so can result in significant biomechanical complications. Persistent genu valgum may cause early-onset osteoarthritis, chronic pain, gait disturbances, and functional impairment, progressively reducing mobility and quality of life. Understanding the anatomical and mechanical changes associated with genu valgum is essential for early intervention and prevention of long-term disability.

Keywords: Genu valgum, Femorotibial axis, Angular deformity, Gait disorders

I. INTRODUCCIÓN

El genu valgo ha sido un tema de interés desde los primeros estudios sobre la alineación de las extremidades inferiores. Históricamente, se ha observado que, en los primeros años de vida, un cierto grado de genu valgo es considerado fisiológico debido a la conformación del sistema óseo y articular en los niños pequeños. Según

diversos estudios, la deformidad comienza a aparecer entre los 3 y 5 años de edad, alcanzando una alineación similar a la del adulto entre los 10 y 14 años, cuando la estructura ósea ya está más madura. Esta evolución ha sido fundamental para comprender los límites de lo normal y lo patológico en el desarrollo de la rodilla infantil. (Clínica DKF, 2025).



Figura 1. Deformidades de los miembros inferiores más comunes en la infancia: Genu Varo y Genu Valgo

El genu valgo no tratado puede llevar a alteraciones biomecánicas significativas, principalmente en la distribución del peso sobre la rodilla, lo que provoca un desgaste acelerado en el compartimento lateral de la articulación. Esta condición es conocida por su fenómeno de "auto-progresión", que significa que el avance de la deformidad incrementa el desgaste articular y la deformidad misma, creando un círculo vicioso de daño progresivo. Esta progresión de la enfermedad puede resultar en artrosis prematura, dolor crónico, incapacidad funcional y, en casos graves, requerir cirugía correctiva o la colocación de prótesis.

Riviera (2019) menciona en su caso clínico que "El genu valgo es una deformidad común en la infancia. La mayoría tiende a presentar una mejora espontáneamente al ángulo femorotibial del adulto normal antes de los ocho años. Ocasionalmente, las deformidades se extienden más allá del límite fisiológico para producir síntomas que pueden ser de origen idiopático o estar relacionados con trastornos

de la formación de la placa de crecimiento o hueso. Puede haber dolor y limitación de la actividad”.

El genu valgo es una deformidad ortopédica común que se caracteriza por una desviación de las rodillas hacia adentro, causando que los tobillos se separen al estar de pie. En México, esta condición afecta a un porcentaje significativo de la población infantil, estimándose que entre el 5% y el 10% de los niños menores de 10 años presentan algún grado de genu valgo. En la mayoría de los casos esta deformidad tiende a corregirse de manera natural antes de los ocho años, pero un pequeño pero importante porcentaje de los niños, aproximadamente cerca del 1%, no experimenta esta corrección espontánea, lo que puede conducir a complicaciones a largo plazo.

Estas complicaciones incluyen dolor crónico, limitación en la actividad física, y en casos más severos, el desarrollo precoz de artrosis de rodilla debido al desgaste de las articulaciones. En niños con genu valgo persistente, la deformidad puede interferir gravemente con su capacidad para participar en actividades físicas normales, afectando tanto su bienestar físico como su desarrollo social.

Actualmente, el tratamiento de esta deformidad en México se basa en el uso de dispositivos ortopédicos, que, si bien son efectivos en la corrección de la alineación de los miembros inferiores, presenta importantes limitaciones en cuestión de comodidad, especialmente para pacientes pediátricos. Estos dispositivos suelen ser ostentosos, difíciles de usar y pueden generar una problemática a nivel emocional, lo que afecta negativamente el progreso del tratamiento.



Figura 2. Twister ortopédico existente en el mercado

Un estudio realizado en el Centro de Rehabilitación y Educación Especial de Tabasco reveló que cerca del 12% de los niños con genu valgo que usaban el Twister ortopédico clásico abandonaban el tratamiento debido a la incomodidad del dispositivo.

En su progresión, el eje mecánico (eje del peso corporal) desviado hacia externo no sólo va a desgastar las

estructuras de amortiguación externas como el menisco y el cartílago. Además de este desgaste encontramos que las estructuras mediales de tensión, los ligamentos, acaban estirándose y dejan de sujetar la parte interna de la rodilla. Esto hace que la rodilla quede inestable lo cual además de empeorar el pronóstico, dificulta la corrección de la deformidad, incluso la sustitución por una prótesis.

Al igual que en el genu varo existe un fenómeno de auto-progresión o aceleración. Esto quiere decir que cada año que pasa y cada incremento en el desgaste en la articulación lateral conlleva que la deformidad aún empeora otro grado o grados de deformidad. A su vez, ese aumento en la deformidad transmite aún mas carga al compartimento lateral, lo que hace que aumente la velocidad con la que la deformidad avanza y por tanto el desgaste se incrementa. (Arnal, 2017).

Esto alienta la necesidad de desarrollar una órtesis que no solo sea efectiva en la corrección de la marcha, sino que también sea cómoda y fácil de usar para los pacientes pediátricos, aumentando así la probabilidad de un resultado positivo en el tratamiento.

II. METODOLOGÍA

Idea del proyecto: *Análisis de la problemática a resolver*

Selección de propuesta de proyecto: Se definió una propuesta inicial, la cual se desarrolló a lo largo del proyecto como base para el diseño ortésico.

Investigación y marco teórico:^{[1][5]} Se investigaron y compararon las limitaciones y la efectividad de diferentes dispositivos ortopédicos actuales a partir de fuentes bibliográficas y antecedentes clínicos.

Problemática:^{[1][5]} Se planteó el problema existente de niños con deformidad genu-valgo en México, el porcentaje de éxito del tratamiento en el cual se buscó innovar el diseño, así como las causas por las cuales se decide no proseguir con el dispositivo.

Entrevista con especialistas:^{[1][5]} Con base en una serie de preguntas a dos especialistas ortopedistas, uno nacional y uno local, se validó el proyecto.

Especificaciones: *Características que definen la propuesta*

Planteamiento de objetivo general y específicos: Se definieron los resultados deseados del proyecto y el plazo de tiempo estimado para obtener el resultado final. El plazo seleccionado fue de un año, y el objetivo principal consistió en lograr un prototipo final y funcional de la órtesis.

Planeación: *Definición de acciones que lleven al resultado final del proyecto.*

Definición de etapas: Se especificaron los tiempos de trabajo y la modalidad. Se optó por dividir el tiempo estimado en dos partes: la primera parte se centró en el diseño para alcanzar el resultado deseado, y la segunda en

la realización y obtención del prototipo final, así como en las pruebas de funcionalidad con pacientes pediátricos seleccionados. Asimismo, se dividió la ejecución por etapas para mantener un orden.

Elaboración del plan de trabajo: Se elaboró un cronograma de actividades para la realización del proyecto. Durante la primera parte se establecieron días de trabajo para el diseño de la órtesis, reuniones con los especialistas para observaciones y la entrega del diseño final. La segunda parte incluyó días de trabajo para la realización del prototipo, fechas probables para las primeras pruebas de funcionalidad y la obtención de resultados finales, así como una fecha estimada para la presentación final.

Ejecución: Seguimiento de etapas, segunda parte del proyecto

Pruebas Tipo I: Previo a su realización, se aplicó un Test de Mal Alineamiento de Paley (Hidalgo, 2020), con el cual se pudo observar el origen de la deformidad del paciente. De esta manera, se identificaron sus necesidades para la elaboración de la órtesis.

Los datos fueron analizados con el software Bone Ninja Sensei 5.0 en el cual se calibraron las medidas para evitar errores en las mediciones.



Figura 3. Software utilizando para la medición de ángulos fisiológicos Bone Ninja Sensei 5.0

El paciente fue seleccionado entre un rango de edad de 8 a 10 años, de sexo femenino con padecimiento de “Rodillas en X” o deformidad valgo.

Obtención de datos

La alineación normal de la extremidad inferior en el plano coronal está definida por el eje mecánico. El balance es logrado cuando el eje mecánico pasa por el centro de la rodilla; cuando no pasa por el mismo se define como desviación del eje mecánico (Mechanical Axis Deviation - MAD), cuando el MAD se encuentra superior a los 3 mm laterales, es una deformidad en valgo y aumenta la carga del compartimento lateral de la rodilla.

Como se puede observar en la Tabla 1 numerosos autores varían sus valores de referencia a la hora de realizar el Test de Mal Alineamiento, en este caso se tomaron como referencia los valores de Herzenberg.

Tabla 1. Diferencia de valores según autores. Fuente: autoría propia. Fuente: Gaggioti, G. (2023). Reemplazo unicompartimental bilateral de rodilla en un tiempo quirúrgico. Resultados a mediano plazo de 86 prótesis con un seguimiento promedio de 6.2 años

Autor	Nombre de la medición	Valores normales	Interpretación
Paley	Eje mecánico del miembro inferior	Desviación del eje mecánico MAD (8 ± 7 mm) medial	> 15 mm medial (varo) MAD lateral (valgo)
	Eje mecánico del miembro inferior	Desviación del eje mecánico MAD (0 ± 3 mm)	> 3 mm hacia medial (varo) > 3 mm hacia lateral (valgo)
Lobenhoffer	Línea de Mikulicz o eje mecánico de la pierna	4 (± 2) mm medial	> 6 mm medial (varo) < 2 mm lateral (valgo)

Paley determinó una serie de pasos a seguir a la hora de elaborar el Test de Mal Alineamiento, los cuales permitieron realizar el análisis de los miembros inferiores del paciente.

1. Determinación del eje mecánico: Utilizando la herramienta “Draw Line Tool” se traza una línea desde el centro de la cabeza femoral hasta el centro del tobillo, lo que representa el eje mecánico del miembro inferior.

2. Medición de la desviación del eje mecánico (MAD): Utilizando el “Measure Tool” se mide la distancia en milímetros entre el centro de la rodilla y el eje mecánico, .

3. Evaluación de ángulos: Se miden los ángulos para evaluar la alineación de los huesos y las articulaciones tomando como referencia la Tabla 2 para el análisis de resultados obtenidos.

Tabla 2. Ángulos sanos en el miembros inferiores y sus valores de deformidad. Fuente: Arcia, R., Corti, M. (2023). Tratamiento para deformidades angulares en fémur distal con sistema LCP

Ángulo de la rótula femoral (mLDFA)	Ángulo de la tibia (MPT)	Ángulo de la articulación de la rodilla (JLCA)
Los rangos de normalidad van de 85 a 90°, un valor menor a 85° es un valgo del fémur y un valor mayor a 90°, un varo del fémur	El rango de valores de normalidad es entre 85 y 90°, siendo un valor menor a 85° un varo de la tibia y un valor mayor a 90° un valgo de la tibia	El rango de normalidad es de 0 a 2°, un valor superior a 2° medial sería un varo articular y un valor superior a 2° lateral un valgo articular

4. Análisis de las desviaciones: Se realiza la comparación de las mediciones con los valores de referencia anatómicos normales para determinar la presencia de desviaciones angulares, como el genu varo o el genu valgo.

Diseño: Definición de nivel de prototipo y simulación

Simulación: Se elaboraron diversos diseños de la órtesis utilizando el software de diseño Fusion 360, tomando en cuenta factores como los ángulos del cuerpo humano, el grado promedio de genu-valgo en los pacientes y la edad.

Diseño: Se desarrolló una propuesta de diseño final para la órtesis genu-valga, que se ajustara al cuerpo del paciente

pediátrico, que fuera cómoda y que permitiera realizar la acción de corrección.

Prototipo: Implementación

Realización del diseño seleccionado: Tomando en cuenta posibles errores, se comenzó a realizar la órtesis guiándose por los ángulos obtenidos previamente, el diseño, así como por las observaciones y correcciones previas.

Prototipo final: Se obtuvo el resultado final de la órtesis.

III. RESULTADOS

Test de Mal Alineamiento de Paley.

La Tabla 3 presenta los datos generales del paciente al cual se le aplicó el Test de Mal alineamiento donde se destaca la edad ya que se encuentra al límite estipulado por autores, lo que indica que no obtuvo la corrección natural en sus miembros inferiores.

Tabla 3. Datos del paciente. Fuente: autoría propia

Edad	9 años
Sexo	Femenino
Altura	1.30 m
Peso	38.7 kg.
Diagnostico	Deformidad valgo.

Se analizó la radiografía proporcionada por los tutores del paciente, a partir de la cual se realizó la evaluación correspondiente con el objetivo de identificar el origen de la deformidad. Para ello, se utilizó el software Bone Ninja Sensei 5.0, comenzando con la determinación del eje mecánico como Paso 1. Este valor fue fundamental para calcular la desviación del eje mecánico (Mechanical Axis Deviation, MAD, por sus siglas en inglés).

La Figura 4 muestra un resultado que se encuentra fuera de los rangos fisiológicos normales, ya que estos establecen que la desviación no debe superar los $3 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ hacia lateral o medial respecto al centro de la articulación. En este caso, se obtuvo un valor de 28 mm para la pierna derecha y 36 mm para la izquierda, evidenciando una desviación significativa.



Figura 4. Desviación del eje mecánico en paciente con deformidad genu valgo.

Seguidamente de estos se procedió a realizar la evaluación de los diversos ángulos existentes para comprobar en que punto sus huesos y articulaciones pierden la correcta alineación natural, como Paso 2 obtuvimos el resultado de el Ángulo de la rótula femoral (mLDFA).

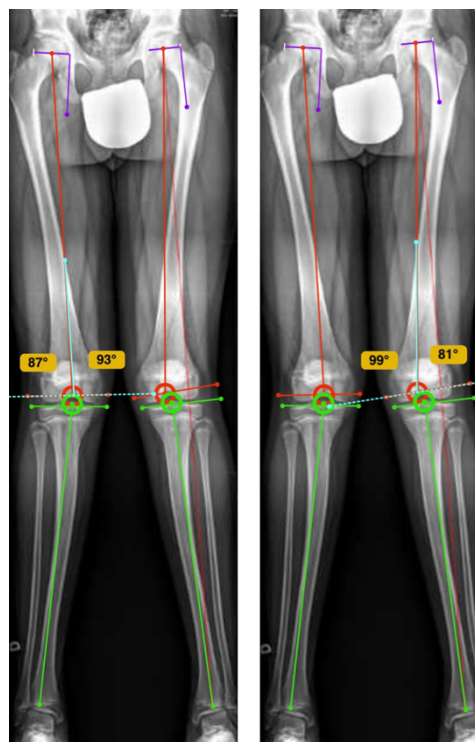


Figura 5. Valores resultantes de la medición del ángulo de la rótula femoral (mLDFA)

Como se puede observar en la Figura 5, para la pierna derecha se obtuvo un ángulo de 87° que según la literatura se encuentra entre los rangos de normalidad (85° - 90°) (Arcia, R., Corti, M., 2023) lo que indicó que la pierna no posee una inclinación significativa en el fémur derecho, por otro lado, la pierna izquierda obtuvo un resultado menor a 85°; como se puede observar en la radiografía del lado izquierdo existe una mayor inclinación hacia el centro de las piernas.

De igual manera el análisis del ángulo de la tibia (MPT) arrojó datos de importancia severa, ya que en ambas piernas se obtuvieron resultados más halla de los grados de normalidad como se puede visualizar en la Figura 6, siendo la derecha la de mayor apertura (96°) y la de la izquierda la menor (92°). Dicha observación nos permitió enfocar el origen de la deformidad en la tibia, la cual en ambos casos se observa desviada e incluso curva, tomando como ejemplo la pierna derecha.

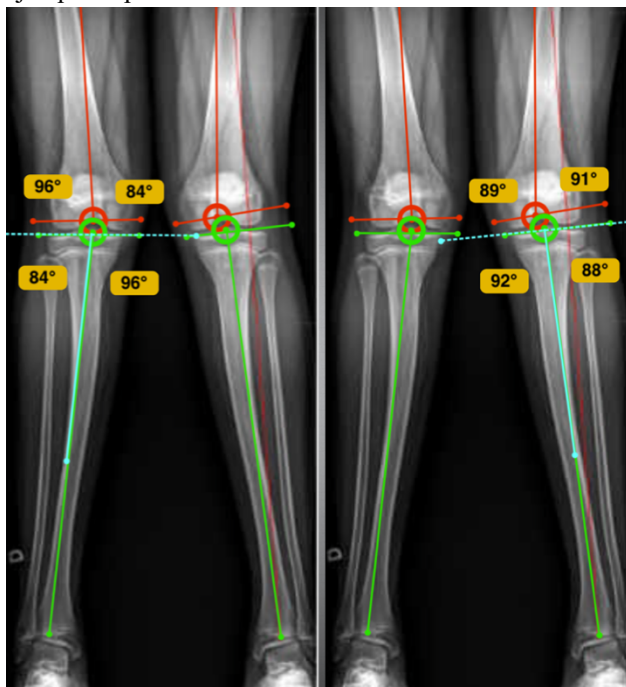


Figura 6. Valores resultantes de la medición del ángulo de la tibia (MPT)

Como Paso 3 y final en el Test de Mal Alineamiento se obtuvo el resultado de la articulación de la rodilla, en donde los rangos de normalidad van de 0° a 2° como máximo, la paciente debido al grado de su deformidad, posee para la pierna derecha un resultado de 4° y para la pierna izquierda 3°.

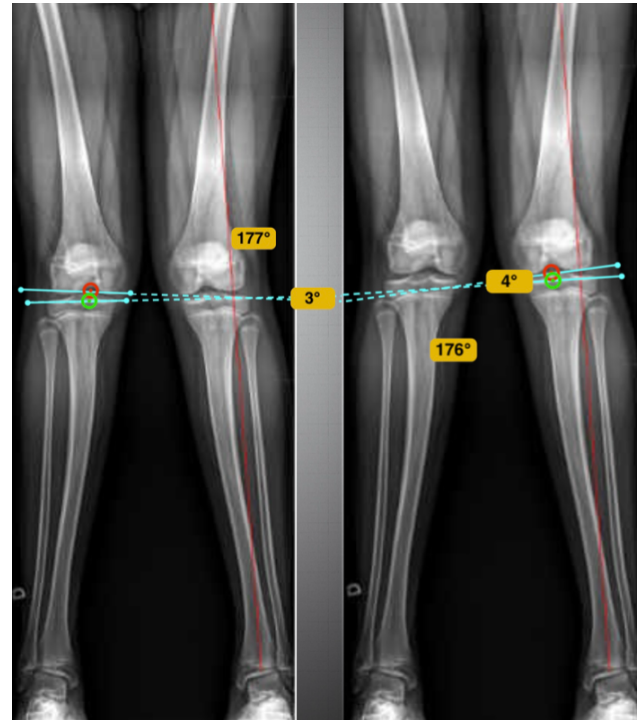


Figura 7. Valores resultantes de la medición del Ángulo de la articulación de la rodilla (JLCA)

Posteriormente al análisis se elaboró una tabla comparativa con los resultados, donde se observó la diferencia existente entre los valores naturales del cuerpo humano y los obtenidos con deformidad valgo, este dato nos permitió reconocer el punto donde comienza la principal afección hacia los miembros inferiores, la Tabla 4 expone lo analizado.

Tabla 4. Comparación de resultados obtenidos mediante el Test de Mal Alineamiento de Paley. Fuente: Autoría propia

Ángulo evaluado	Rangos de normalidad	Resultado obtenido	
		Derecha	Izquierda
Desviación del eje mecánico (MAD)	3 mm ± 2	28 mm	36 mm
Ángulo de la rótula femoral (mLDFA)	85° - 90 °	88°	81°
Ángulo de la tibia (MPT)	85° - 90 °	96°	92°
Ángulo de la articulación de la rodilla (JLCA)	0° - 2°	3°	4°

Los resultados indicaron un caso de genu valgo severo, evidenciado por una desviación significativa del eje mecánico a nivel de las rodillas. Con base en esta información, se desarrolló un diseño adaptado a las necesidades del paciente.

Diseño: estructura de la órtesis.

Se decidió colocar un punto de sujeción por encima y por debajo de la rodilla, ya que la evaluación indicó la necesidad de corrección en esa zona. Este sistema se conecta directamente al punto donde se produce la flexión,

y sobre él se ubican los dos puntos de corrección. Con la ayuda de un anclaje ajustado en la suela del zapato, el sistema tira de la rodilla hacia afuera durante la marcha. El diseño está integrado al zapato del paciente para mayor comodidad. Su principal beneficio es la firmeza con la que sujeta cada punto clave, lo que proporciona estabilidad al caminar. La Figura 8 muestra el diseño realizado con base en los resultados del Test de Mal Alineamiento de Paley.



Figura 8. Boceto de mecanismo para órtesis

Para el diseño se utilizó el programa Fusion 360 con el objetivo de crear una representación visual de la órtesis basada en el boceto seleccionado. El diseño cumple con la función de realizar la corrección requerida, aunque presenta una diferencia en el punto de sujeción en comparación con el modelo clásico.

IV. DISCUSIÓN

El diseño ortésico desarrollado para el tratamiento de un caso de genu valgo severo evidencia la importancia de una intervención mecánica adaptada a las necesidades específicas del paciente. A partir de la desviación significativa del eje mecánico observada mediante el Test de Mal Alineamiento de Paley, se estableció una estrategia de corrección centrada en aplicar fuerzas laterales controladas que contrarresten la deformidad durante la marcha.

Comparado con órtesis tradicionales de uso general, este diseño personalizado presenta ventajas importantes, como su integración al calzado, lo que mejora la funcionalidad, comodidad y adherencia al tratamiento. Estudios previos han señalado que los dispositivos que permiten el movimiento dinámico sin restringir la flexión de la rodilla favorecen una mejor adaptación neuromuscular y evitan la atrofia muscular asociada a dispositivos rígidos (Hidalgo, 2020).

Además, el uso de puntos de sujeción estratégicamente ubicados por encima y por debajo de la rodilla permite aplicar una corrección localizada que actúa directamente sobre el eje femorotibial, lo cual concuerda con los principios biomecánicos descritos por Paley en la corrección de deformidades angulares. Este tipo de diseño no solo actúa sobre la alineación, sino que también mejora la estabilidad y el patrón de marcha del paciente, lo cual podría reducir el riesgo de artrosis temprana y disfunción progresiva.

Finalmente, este estudio resalta la necesidad de intervenciones ortésicas individualizadas basadas en evaluaciones biomecánicas detalladas. El diseño presentado representa una alternativa prometedora en el tratamiento conservador del genu valgo, y futuras investigaciones podrían centrarse en su eficacia a largo plazo, su impacto funcional y su integración en protocolos de rehabilitación interdisciplinarios.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo permitió observar que la deformidad en valgo afecta directamente la alineación del eje mecánico en la región de las rodillas, generando una desviación que altera la marcha y puede afectar el desarrollo del paciente si no se corrige oportunamente. A partir del análisis radiográfico y el uso del software Bone Ninja Sensei, se identificaron los puntos clave de corrección, lo que permitió diseñar una solución adaptada a la necesidad específica del caso.

El diseño desarrollado se integró al calzado del paciente, buscando una combinación entre corrección funcional y comodidad. La propuesta ofrece estabilidad al caminar gracias a una sujeción firme en los puntos estratégicos. Además, el uso de herramientas digitales facilitó una representación precisa del diseño.

Sin embargo, aún existen áreas de mejora importantes. La principal limitación fue la falta de una evaluación funcional directa del prototipo en uso real, por lo que se propone incluir pruebas de marcha y seguimiento clínico en futuras fases del proyecto. También se podría mejorar la estética y materiales del diseño para aumentar la aceptación por parte del paciente pediátrico y sus tutores.

Finalmente, este trabajo sienta las bases para continuar con el desarrollo de soluciones ortopédicas más accesibles y adaptadas a cada paciente, promoviendo una corrección temprana y efectiva de deformidades angulares en miembros inferiores.

REFERENCIAS

Alcivar, R. (2019). Corrección del genu valgum con osteotomía varizante supracondílea única en fémur. Reporte de casos clínicos. Recuperado de:

<https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-ortopedia-traumatologia-380-articulo-correccion-del-genu-valgum-con-S0120884519300252>

Arcia, R., Corti, M. (2023). Tratamiento para deformidades angulares en fémur distal con sistema LCP. Recuperado de:

<https://www.svcot.org/ediciones/2023/1/art-3/>

Arnal, J. (2017). Genu Valgo: Deformidad en «X» de las Rodillas. Recuperado de: <https://traumatologomadrid.es/genu-valgo/#:~:text=B%C3%A1sicamente%20consiste%20en%20a%C3%B1adir%20una,inevitablemente%20hacia%20el%20desgaste%20prematureo.>

Clínica DKF. (2025). *Genu varo y genu valgo en niños y adolescentes: causas y tratamientos*. Recuperado de <https://www.clinicadkf.com/traumatologia-infantil/genu-varo-y-genu-valgo-en-ninos-y-adolescentes-causas-y-tratamientos/>

Cordova, J., Regino, J., López, C. Y Pimentel, B. (2015). Prevalencia de defectos posturales de miembros inferiores en pacientes de 2 meses a 14 años de edad del Centro de Rehabilitación y Educación Especial de Tabasco. SALUD EN TABASCO Vol. 21, No. 2 y 3, 57-58.

Gaggioti, G. (2023). Reemplazo unicompartmental bilateral de rodilla en un tiempo quirúrgico. Resultados a mediano plazo de 86 prótesis con un seguimiento promedio de 6.2 años. Recuperado de: <https://raaot.org.ar/index.php/AAOTMAG/article/download/1574/5197?inline=1>

Hidalgo, D. (2020). Artrodiástasis de tobillo como opción de tratamiento en artrosis postraumática: indicaciones, técnica quirúrgica y resultados. Recuperado de: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/0c581255-c604-4d93-b2fa-b54d3df34a3c/content>

Mujica, E. (1981). Desviaciones de los ejes de miembros inferiores en la infancia. Ponencia Oficial Española. XIII Congreso Hispano-Luso de Cirugía Ortopédica y Traumatología Oviedo-Gijón. Recuperado de: https://www.secot.es/media/docs/ponencias_historicas/desviaciones_ejes_inferiores.pdf

Riviera, O. Coronel, E. (2019). Genu Valgo: un reto inquietante para el ortopedista. Recuperado de: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/08/1010316/revista-pediatria-vfinal-65-68.pdf>