



Análisis de la cinemática del pedaleo y características del dolor patelofemoral en ciclistas amateur

Analysis of pedaling kinematics and patellofemoral pain characteristics in amateur cyclists

Autores

Diana Carolina Velasco-Garzón ¹
Verónica Gabriela Salinas Velastegui ¹
Paul Fernando Cantuña-Vallejo
Andrea Carolina Peñafiel-Luna ¹
María Augusta Latta-Sánchez ¹
Paola Gabriela Ortiz-Villalba ¹
Javier Caiza-Lema ¹

¹ Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)

Autor de correspondencia:
Javier Caiza-Lema
sj.caiza@uta.edu.ec

Recibido: 18-03-26
Aceptado: 02-05-26

Cómo citar en APA

Velasco-Garzón, D. C., Salinas-Velastegui, V. G., Cantuña-Vallejo, P. F., Peñafiel-Luna, A. C., Latta-Sánchez, M. A., Ortiz-Villalba, P. G., & Caiza Lema, J. (2026). Análisis de la cinemática del pedaleo y características del dolor patelofemoral en ciclistas amateur. *Retos*, 79, 1034-1043. <https://doi.org/10.47197/retos.v80.119064>

Resumen

Introducción: El ciclismo es una de las actividades físicas más practicadas a nivel recreativo y competitivo, pese a sus beneficios indica una elevada incidencia de lesiones destacando la presencia de dolor patelofemoral situación que puede llegar a condicionar la cinemática del pedaleo.

Objetivo: Analizar el desplazamiento angular durante el pedaleo y su posible condicionamiento con la presencia de dolor patelofemoral.

Metodología: Se desarrollo un estudio de tipo descriptivo y transversal, realizado con una muestra de 30 ciclistas amateurs de sexo masculino (edad promedio 38,97 ± 13,54 años). Para la evaluación de la cinemática del pedaleo, se utilizó el análisis 3D con el software BioLab, mientras que para la evaluación del dolor patelofemoral y la funcionalidad de la rodilla se utilizó el cuestionario Kujala (AKPS).

Resultados: Los resultados evidencian rangos articulares de tobillo, extensión máxima de rodilla y ángulo cerrado de cadera con diferencias estadísticas con respecto a los referenciales ($p < 0,05$). El análisis ANOVA con un $p = 0,013$ para el ángulo de flexión máxima de rodilla mostro una diferencia en medias para puntuación de Kujala misma que para todos los casos tuvo una ponderación de 70,57(±4,17) siendo categorizado dentro de un dolor moderado.

Discusión: Los hallazgos se alinean con la literatura actual, sugiere que el dolor patelofemoral en ciclistas responde a un origen multifactorial, donde la cinemática del pedaleo constituye solo uno de los múltiples componentes implicados.

Conclusiones: La cinemática del pedaleo en ciclistas amateurs con dolor patelofemoral presenta alteraciones principalmente en tobillo y cadera, mientras la rodilla mantiene rangos funcionales; sin embargo, la flexión máxima de rodilla se asocia significativamente con la funcionalidad.

Palabras clave

Captura de movimiento; ciclismo; cinemática; deportista; dolor patelofemoral.

Abstract

Introduction: Cycling is one of the most practiced physical activities at both recreational and competitive levels. Despite its benefits, it has a high incidence of injuries, notably patellofemoral pain, a condition that can affect pedaling kinematics.

Objective: To analyze angular displacement during pedaling and its possible influence on the presence of patellofemoral pain.

Methodology: A descriptive, cross-sectional study was conducted with a sample of 30 male amateur cyclists (mean age 38.97 ± 13.54 years). 3D analysis using BioLab software was used to evaluate pedaling kinematics, while the Kujala questionnaire (AKPS) was used to assess patellofemoral pain and knee function.

Results: The results show statistically significant differences in ankle range of motion, maximum knee extension, and hip flexion angle compared to the reference values ($p < 0.05$). ANOVA analysis with $p = 0.013$ for the maximum knee flexion angle showed a difference in mean Kujala scores, which in all cases had a weighted average of 70.57 (±4.17), categorizing the patient as having moderate pain.

Discussion: These findings align with current literature, suggesting that patellofemoral pain in cyclists has a multifactorial origin, where pedaling kinematics constitute only one of the multiple components involved.

Conclusions: Pedaling kinematics in amateur cyclists with patellofemoral pain present alterations primarily in the ankle and hip, while the knee maintains functional ranges. However, maximum knee flexion is significantly associated with functionality.

Keywords

Motion capture; cycling; kinematics; athlete; patellofemoral pain.

Introducción

El ciclismo se ha convertido en una opción popular de desplazamiento, recreación y ejercicio físico dada la democratización acelerada de la actividad, no obstante, la masificación de la práctica de ciclismo también implica un mayor riesgo de lesiones y afecciones que pueden impactar tanto a ciclistas amateurs como profesionales (Oja et al., 2011; Priego Quesada et al., 2019). Entre las lesiones mayormente reportadas está el síndrome patelofemoral (SPF) dolor localizado en la parte anterior de la rodilla destacada como una de las afecciones por sobreuso más frecuente en este grupo (Bini & Flores-Bini, 2018). La frecuencia de lesiones en ciclistas no profesionales varía considerablemente entre los estudios, con tasas que van desde 3,23 hasta 116 lesiones por cada 1000 individuos (Rooney et al., 2020).

Las lesiones musculoesqueléticas están ligadas a las variables cinemáticas del tren inferior particularmente los patrones de movimiento de cadera, rodilla y tobillo como también parámetros extrínsecos de la bicicleta como por ejemplo altura y posición del sillín, la posición del manillar, la longitud de la biela, cadencia hasta la carga de pedaleo razón que ha hecho que el área investigativa vuelque toda su atención sobre esta disciplina (Gatti et al., 2021; Vigário et al., 2024; Brand et al., 2020). Por estas razones, se ha vuelto prioritario encontrar la posición óptima de máxima economía metabólica y menor riesgo ergonómico que conlleve la máxima sostenibilidad de la tarea.

Desde una perspectiva biomecánica, el pedaleo constituye un movimiento cíclico complejo que involucra la interacción coordinada de múltiples articulaciones y segmentos corporales, principalmente cadera, rodilla y tobillo. El análisis de la cinemática del pedaleo hace referencia a la exploración y entendimiento del movimiento angular y lineal de los segmentos corporales, sin considerar directamente las fuerzas que lo producen denominado proceso denominado bike-fitting (Asplund & St Pierre, 2004). Este análisis se centra en movimientos del miembro inferior sobre el plano sagital y frontal a lo largo de las fases de empuje y recuperación del pedal. En el contexto del ciclismo, la cinemática permite identificar patrones de movimiento eficientes o principalmente lesivos asociadas a la repetición cíclica del gesto deportivo (Bini & Flores-Bini, 2018; Martín-Sosa et al., 2026).

En este sentido, aún se vislumbra ciertos interrogantes con respecto a los ajustes biomecánicos del pedaleo y su relación con la presencia e intensidad del dolor, estudios sugieren que una excesiva flexión de la rodilla se asocia con dolor en la región anterior así mismo, se postula que un tobillo con rangos fuera de los valores normativos, aumenta la rigidez y repercute en la rodilla produciendo un aumento de la aducción, rotación externa y mayor aducción de la cadera estos cambios se relacionan a dolor patelofemoral., mientras que una extensión excesiva puede afectar a los isquiotibiales, ajustes propios de la actividad dinámica del pedaleo. (Bini & Diefenthaler 2010; Galindo-Martínez et al., 2021) La evidencia disponible también pone al descubierto factores intrínsecos para la aparición de dolor patelofemoral como el sexo, la edad, la presencia de patologías crónicas, lesiones previas, tipo de entrenamiento, presencia de varo o valgo de rodilla, fuerza de cuádriceps, debilidad muscular en glúteos, aumento de ángulo Q hasta propias del ciclismo como tiempo de experiencia o modalidad reforzando la hipótesis de un origen multifactorial del dolor patelofemoral (Wanich et al., 2007; Johnston et al., 2017).

En este contexto, resulta pertinente profundizar en el análisis de la cinemática del pedaleo en ciclistas amateur y su posible comportamiento en presencia de dolor patelofemoral, contribuyendo a la comprensión integral de esta problemática y al diseño de estrategias preventivas, evaluativas y rehabilitadoras. El objetivo de esta investigación fue analizar el desplazamiento angular durante el pedaleo y su posible condicionamiento con la presencia de dolor patelofemoral.

Método

La presente investigación es de tipo descriptivo de carácter transversal donde se evaluó la cinemática del pedaleo con la ayuda del software BioLab (BioBike). Todos los participantes pasaron por un proceso de evaluación por parte de un médico deportólogo y fisioterapeuta realizando un screening biomecánico (bike-fitting). Se utilizó un método de muestreo no probabilístico y la muestra fue seleccionada a conveniencia de los investigadores, con base en la disponibilidad de los participantes.

Participantes

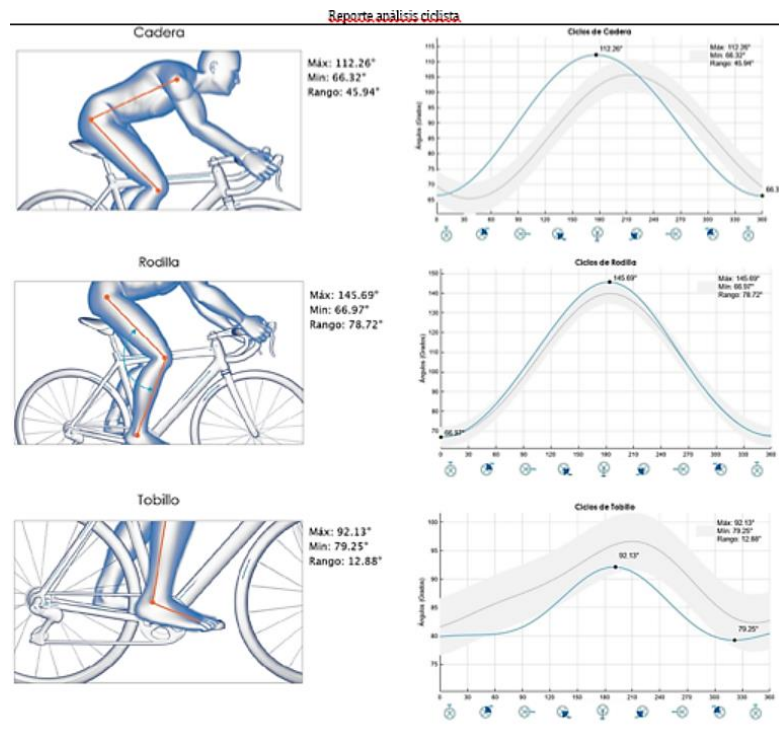


La muestra inicial estuvo conformada por 53 ciclistas amateur, de los cuales se seleccionó a 30 de sexo masculino en un 100%, todos integrantes de un mismo grupo denominado The Door's con una edad media de $38,97 \pm 13,54$ años, que practicaban ciclismo de ruta o montaña de manera regular. Los criterios de inclusión contemplaron una práctica mínima de ciclismo de al menos seis meses, ausencia de lesiones o cirugías recientes en el miembro inferior que limiten el gesto de pedalear y con diagnóstico clínico y funcional de dolor patelofemoral. Los participantes fueron limitados de participar al considerar criterios de exclusión como uso de prótesis en miembro inferior y aquellos que hayan tenido un cambio considerable en el equipo en al menos el último mes.

Procedimiento

La evaluación se realizó dentro del Laboratorio de Análisis de Movimiento perteneciente a la Carrera de Fisioterapia de la Universidad Técnica de Ambato (Ecuador) considerándose un entorno controlado. Se utilizó un rodillo fijo, en el cual cada ciclista adecuó la llanta trasera de su propia bicicleta manteniendo la configuración habitual de entrenamiento. Previo al registro, los participantes realizaron un calentamiento de un minuto a ritmo moderado para de manera continua registrar el gesto de pedaleo mediante un sistema de cámaras inteligentes ubicadas en los planos sagital y frontal, permitiendo el análisis tri-dimensional del movimiento como se plasma en la figura 1.

Figura 1. Diagrama Bike-fitting, donde se realiza capturas de movimiento de forma automática en base de puntos de referencia anatómicos. Software BioLab.



Instrumentos

Para evaluar el dolor patelofemoral se decidió aplicar la puntuación de Kujala (Anterior Knee Pain Scale, AKPS), cuestionario propuesto para cuantificar las limitaciones y complicaciones funcionales en personas con dolor patelofemoral compuesto por 13 ítems que abordan aspectos relacionados con el dolor, los síntomas y la funcionalidad de la rodilla. Cada pregunta tiene entre 3 a 5 opciones de respuesta, con puntuaciones que varían según el ítem, con un puntaje total que va de 0 a 100, donde 100 representa la mejor condición funcional posible (Kujala et al., 1993). La puntuación de Kujala debido a su alto valor pronóstico para el dolor patelofemoral ha tenido procesos de transculturización pudiendo utilizarse la versión en español propuesta por Gil- Gámez et al., (2016) obtuvieron un alfa de Cronbach de 0.8, y una fiabilidad test-retest adecuada (ICC= 0.99).

Todas las evaluaciones fueron realizadas en el laboratorio de análisis de movimiento con el empleo del software BioLab (BioBike) que emplea 2 cámaras Logitech Brio una en el plano frontal y una en el plano sagital ubicadas a 2 metros de distancia del ciclista y a 1 metro de altura del suelo, siendo obligatoria la vista completa de la persona en ambos planos. La evaluación bike-fitting permite registrar los movimientos lineales y angulares en tres dimensiones registros que son tomados a una frecuencia de 60 fps (frames por segundo) exclusivamente del lado derecho del ciclista. Las grabaciones son procesadas mediante la inteligencia artificial y redes neuronales las cuales arrojan una estimación de la posición de 25 puntos del cuerpo para cada fotograma siendo solo motivo de análisis puntos correspondientes al hombro, codo, muñeca, cadera, rodilla, tobillo, talón y dedo meñique conjuntamente se utilizó un rodillo fijo (Bkool SmarthPro 2) posicionado en la llanta trasera de la bicicleta de cada participante la cual estuvo sobre una superficie antideslizante (Takeda et al., 2021; Kidziński et al., 2020; Encarnación-Martínez et al., 2025).

Se solicitó a cada participante que llevase su bicicleta manteniendo los ajustes rutinarios de su práctica deportiva, mantener un pedaleo contante con una cadencia aproximada de 60 a 80 rpm medido por el rodillo, usar calzado adecuado, llevar la vestimenta con la que entrena para facilitar la identificación de puntos anatómicos específicos por el software, considerados el acromion, articulación radio cubital superior, apófisis estiloides del cúbito, trocánter mayor, cóndilo femoral externo, maléolo externo y quinto metatarsiano. Previo al registro de video se le pidió a la persona que inicie el pedaleo a ritmo lento hasta progresar a un ritmo moderado respetando el gesto individual (Too, 1990). Todo lo recomendado al ciclista tuvo como objetivo evitar el sesgo en la evaluación procurando mantener el total control sobre cada una de las variables evitando principalmente compensaciones musculares.

Análisis de datos

Los datos obtenidos durante todas las evaluaciones fueron recolectados y anonimizados mediante Microsoft Excel® para ser analizados con el software estadístico IBM SPSS®, versión 26. Se procesaron los datos univariados con estadística descriptiva (media, desviación e intervalo de confianza) y de las variables categóricas se obtuvo frecuencias absolutas y relativas. Previo al análisis bivariado se ocupó las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk en concordancia de la cantidad muestral. El análisis inferencial se basó en el empleo de análisis de varianza ANOVA para el análisis de medias todas con un nivel de significancia estadística de $p < 0,05$.

Análisis de datos

La investigación fue aprobada por el Comité de Bioética para la Investigación de Seres Humanos de la Universidad Técnica de Ambato con el código 102-CEISH-UTA-2025 de fecha 26 de agosto de 2025. Todos los participantes tuvieron un proceso de socialización de la investigación donde se dio a conocer el procedimiento y objetivos del estudio posterior se obtuvo el consentimiento informado por parte de la persona proceso que aseguro que la investigación se enmarque dentro de los principios de la Declaración de Helsinki aplicada investigaciones en seres humanos.

Resultados

La muestra estuvo conformada exclusivamente por ciclistas hombres, con una edad promedio de 38,97 ($\pm 13,54$), años predominando un rango etario entre los 18 a 25 años. La mayor parte de ciclistas se desempeñan en la modalidad montaña (66,7%), un grupo menor el de ruta (33,3%), es importante mencionar que esto podría influir en sus demandas fisiológicas y perfiles de rendimiento. La talla media es de 1,69 mt ($\pm 0,06$) y el peso promedio de 69,67 kg ($\pm 6,43$), configurando un IMC global de 24,26 ($\pm 2,03$), dentro del rango normal. Sin embargo, el 33,3% presenta sobrepeso (Tabla 1).

Tabla 1. Características sociodemográficas

Variable	n = 30
Sexo	
Hombre, n (%)	30(100)
Mujer, n (%)	-
Edad (años), m (\pm DE)	38,97(13,54)
Talla (mt), m (\pm DE)	1,69(0,06)
Peso (Kg), m (\pm DE)	69,67(6,43)



IMC m(\pm DE)	24,26(2,03)
Normopeso, n (%)	20(66,7)
Sobrepeso, n (%)	10(33,3)
Modalidad	
Ruta, n (%)	10(33,3)
Montaña, n (%)	20(66,7)

Nota: Los valores se expresan en mt: Metros; Kg: Kilogramos; n: Frecuencia; %: Porcentaje; m: Media; \pm DE: Desviación estándar IMC: Índice de masa corporal.

La aplicación de la puntuación de Kujala fue analizada por valor de cada ítem y como valor global (Tabla 2). Se obtuvo una puntuación de 70,57(\pm 4,17) destacando que en ninguna pregunta se encontró puntuaciones de 0 para dolor o limitación funcional. Teniendo como referencia única un valor de 85 puntos reportado por Byravamoni Venugopal et al., (2026) se revela que el 100% de los casos supero este punto de corte lo cual pudiese inferir una afectación funcional de la articulación patelofemoral.

Tabla 2. Valores puntuación Kujala

Kujala	(Valor puntos) Descripción	n(%)	m(\pm DE)
Ítem 1	(5) Nunca	11(36,7)	3,73(0,98)
	(3) Leve o periódicamente	19(63,3)	
	(0) Constante		
Ítem 2	(5) Carga peso sin dolor	5(16,7)	3,33(0,76)
	(3) Doloroso al cargar peso	25(83,3)	
	(0) Imposible de cargar su propio peso		
Ítem 3	(5) Ilimitadamente	4(13,3)	3,13(0,82)
	(3) Mas de 2 km	22(73,3)	
	(2) Entre 1-2 km	4(13,3)	
Ítem 4	(0) Incapaz		7,47(1,66)
	(10) Sin dificultad	4(13,3)	
	(8) Leve dolor al bajar	18(60)	
Ítem 5	(5) Dolor tanto al bajar como al subir	8(26,7)	3,73(0,58)
	(0) Incapaz		
	(5) Sin dificultad	2(6,7)	
Ítem 6	(4) Dolor al agacharse varias veces	18(60)	6,4(0,97)
	(3) Dolor cada vez que se agacha	10(33,3)	
	(2) Puede agacharse con descarga parcial de peso		
Ítem 7	(0) Incapaz		6,93(1,08)
	(10) Sin dificultad	1(3,3)	
	(8) Dolor después de 2 km	4(13,3)	
Ítem 8	(6) Leve dolor desde el inicio	25(83,3)	7,73(1,36)
	(3) Dolor severo		
	(0) Incapaz		
Ítem 9	(10) Sin dificultad	1(3,3)	8
	(7) Leve dolor	28(93,3)	
	(2) Dolor constante	1(3,3)	
Ítem 10	(0) Incapaz		8(0,74)
	(10) Sin dificultad	2(6,7)	
	(8) Dolor después de dicha actividad	25(83,3)	
Ítem 11	(6) Dolor constante	3(10)	7,87(0,51)
	(4) El dolor obliga a extender las rodillas por momentos		
	(0) Incapaz		
Ítem 12	(10) Nunca		3,2(0,61)
	(8) Leve y ocasional	30(100)	
	(6) Interfiere con el sueño		
Ítem 13	(3) Ocasionalmente severo		3,27(0,69)
	(0) Constante y severo		
	(10) Nunca	2(6,7)	
Ítem 14	(8) Luego de hacer esfuerzo intenso	26(86,7)	7,87(0,51)
	(6) Luego de las actividades diarias	2(6,7)	
	(4) Todas las noches		
Ítem 15	(0) Constante		28(93,3)
	(10) Nunca	2(6,7)	
	(8) Ocasionalmente en actividades deportivas		
Ítem 16	(6) Ocasionalmente en actividades de la vida diaria	2(6,7)	3,2(0,61)
	(2) Al menos una luxación identificada		
	(0) Mas de 2 luxaciones		
Ítem 17	(5) Nunca	3(10)	3,2(0,61)
	(3) Leve o periódicamente	27(90)	
	(0) Severa		
Ítem 18	(5) No	4(13,3)	3,27(0,69)
	(3) Leve	26(86,7)	
	(0) Aguda		
	Valor total		70,57(4,17)

Nota: Los valores se expresan en n: Frecuencia; %: Porcentaje; \pm DE: Desviación estándar

El análisis cinemático obtenido se comparó con los valores propuestos por Scoz et al., (2021) que mostraron un rango para cada segmento desde cadera hasta tobillo. Los resultados muestran gran homogeneidad en la distribución de valores en rangos articulares al analizarlos de forma conjunta omitiendo el tipo de modalidad los únicos ángulos que respetaron la normalidad establecida en un 50% fue la flexión máxima de rodilla $110,60^\circ (\pm 0,46^\circ)$. Por otro lado, la puntuación Kujala oscilo entre los $72,67(\pm 3,9)$ a $67,67(\pm 4,5)$ ambos valores en rangos normales y por debajo de la normalidad de la flexión máxima de rodilla. La comparación entre medias por ANOVA mostro valores todos con un $p > 0,05$ excluyendo el valor para la flexión máxima de rodilla donde se obtuvo un $p=0,013$ mostrando una diferencia significativa, así mismo el post hoc por prueba de Games-Howell reflejo un $p=0,027$ entre el valor referencial y valor por debajo de este (Tabla 3).

Tabla 3. Valores estandarizados para bike-fitting

Rangos normales	n(%)	m(\pm DE)	p valor t de Student	Intervalo de confianza 95%		Puntuación Kujala m(\pm DE)	p valor ANOVA
				ICI	ICS		
↑	30(100)	98,9(1,36)		96,13	101,67	70,57(4,17)	-
MDFT 65-75°	-	-	<0,001	-	-	-	
↓	-	-		-	-	-	
Total		98,9(1,36)					
↑	28(93,3)	78,14(1,11)		75,86	80,43	70,54(4,31)	0,937
MFPT 90-100°	1(3,3)	-	<0,001	-	-	70	
↓	1(3,3)	-		-	-	72	
Total		79,33(7,39)					
↑	16(53,3)	14,88(0,87)		13,03	16,72	70,06(4,4)	0,76
RT 20-30°	13(43,3)	23,62(0,85)	<0,001	21,76	25,47	71,23(4,11)	
↓	1(3,3)	-		-	-	70	
Total		19,3(6,06)					
↑	9(30)	104,22(0,55)		102,96	105,48	69(2,5)	0,013
FMR: 107-113°	15(50)	110,60(0,46)	0,862	109,62	111,58	72,67(3,9)	
↓	6(20)	118(1,03)		115,35	120,65	67,67(4,5)	
Total		110,17(5,21)					
↑	4(13,3)	28,5(0,87)		25,74	31,26	71,25(3,77)	0,883
EMR: 32-42°	13(43,3)	37,38(0,72)	0,017	35,81	38,96	70,77(3,79)	
↓	13(43,3)	46,92(1,11)		44,5	49,35	70,15(4,86)	
Total		40,33(7,24)					
↑	15(50)	65,53(0,53)		64,39	66,68	70,4(2,95)	0,625
RAR: 70-75°	11(36,7)	72,18(0,57)	0,266	70,91	73,45	71,36(4,5)	
↓	4(13,3)	84,5(4,5)		70,18	98,82	69(7,35)	
Total		70,5(7,25)					
↑	3(10)	63,33(1,67)		56,16	70,5	69,33(1,15)	0,865
ACC: 66-76°	9(30)	71(1,18)	<0,001	68,28	73,72	70,56(5,66)	
↓	18(60)	80,56(0,6)		79,29	81,82	70,78(3,75)	
Total		75,97(6,71)					
↑	5(16,7)	105,4(1,12)		102,28	108,52	71,2(3,03)	0,112
AAC: 110-120°	13(43,3)	115,15(0,98)	0,111	113,02	117,29	70,69(3,47)	
↓	12(40)	124,67(1,1)		122,25	127,08	70,17(5,37)	
Total		117,33(7,77)					
↑	11(36,7)	34,36(0,78)		32,63	36,1	69,64(3,17)	0,363
RAC: 40-45°	9(30)	41,56(0,58)	0,604	40,22	42,89	72,22(3,96)	
↓	10(33,3)	48,9(0,9)		46,86	50,94	70,1(5,17)	
Total	41,37(6,62)						

Nota: Los valores se presentan en n: Frecuencia; %: Porcentaje; \pm DE: Desviación estándar; t de Student: Prueba para una muestra; ICI: Intervalo de confianza inferior; ICS: Intervalo de confianza superior; ANOVA: Análisis de Varianza; ↑: Valor por encima del referencial; ↓: Valor por encima del referencial; MDFT: Máxima dorsiflexión de tobillo; MFPT: Máxima flexión plantar de tobillo; RT: Rango del tobillo; FMR: Flexión máxima de rodilla; EMR: Extensión máxima de rodilla; RAR: Rango del ángulo de rodilla; ACC: Ángulo cerrado de cadera; AAC: Ángulo abierto de cadera; RAC: Rango del ángulo de cadera

Discusión

Los resultados del presente estudio permitieron caracterizar un patrón cinemático de pedaleo en ciclistas amateurs con dolor patelofemoral caracterizado por una rodilla con una flexión = $110,17^\circ (\pm 5,21)$, extensión = $40,3^\circ (\pm 7,24)$, rango del ángulo = $70,5^\circ (\pm 7,25)$, en tobillo con una dorsiflexión = $98,9^\circ (\pm 1,36)$, plantiflexión = $79,3^\circ (\pm 7,39)$, rango = $19,3^\circ (\pm 6,06)$ y en cadera con un ángulo cerrado = $75,97^\circ$



($\pm 6,71$), ángulo abierto = $117,33(\pm 7,77)$ y rango del ángulo = $41,37^\circ (\pm 6,62)$. En cuanto a la puntuación Kujala presentaron un valor de $70,57(\pm 4,17)$ puntos, sugerente de presencia de dolor o limitación funcional clínicamente significativa.

Los hallazgos reportados aluden que la presencia de dolor anterior de rodilla en ciclistas puede condicionar cambios en la cinemática del pedaleo, Bailey et al., (2003) reportan un cambio entre $4,9^\circ$ ($p = 0,014$) sobre la dorsiflexión de tobillo gesto compensatorio que ayuda a la mantención del rango de rodilla haciendo más eficiente el pedaleo evento que se presentó en personas con lesiones previas de rodilla. Así mismo un estudio realizado por Branco et al., (2023) han demostrado que la presencia de dolor patelofemoral está asociada a interacciones entre el rango articular de la cadera y dorsiflexión de tobillo apegado a nuestros resultados donde los valores angulares de tobillo diferían de los considerados referenciales ($p < 0,001$). Por otro lado, estudios como los de Soares et al., (2023) apuntan que el ángulo de dorsiflexión de tobillo ($X^2 = 6,947$, $p = 0,014$) y avance de la rodilla condicionado por el posicionamiento del sillín se asociado con dolor lumbar ($r = 2,728$; $p = 0,002$). Considerando además al síndrome de la banda iliotibial como uno de los trastornos más recurrentes en ciclistas Ménard et al., (2020) reportan que el ángulo de extensión de cadera máximo presente en $194,1 \pm 3^\circ$ del ciclo de pedaleo se asocia a tensión máxima sobre esta estructura condicionando la aparición de dolor.

El patrón cinemático encontrado coincide parcialmente con la literatura, como lo mencionan Holliday et al., (2023) donde el ángulo de rodilla presenta cambios considerables en dependencia de la intensidad del ejercicio pudiendo alcanzar valores de $37^\circ (\pm 7^\circ)$, $35^\circ (\pm 6^\circ)$ y $34^\circ (\pm 6^\circ)$ al trabajar al 60%, 80% y 90% de la frecuencia cardiaca máxima ratificando el rol predominante en la producción de potencia y la baja implicación que tiene este segmento cuando se modifica estructuras como el tronco (Savelberg et al., 2003). En contra parte, destaca lo reportado por Gómez-Cazorla et al., (2026) donde mencionan que el rendimiento en la carrera parece no tener relación con las variables fisiológicas de los ciclistas como el consumo máximo de O_2 (VO_{2max}). La incongruencia observada en el tobillo con un rango articular por encima de los valores considerados como referencia hipotetiza la relación que tiene con estrategias propias de ciclistas de montaña modalidad predominante en la muestra 66.7%, quienes tienden a utilizar patrones de rigidez distal para mejorar la estabilidad en terrenos irregulares (Branco et al., 2023). Así mismo, la investigación de Seo et al., (2016) refieren valores normales que van desde los $30,04 (\pm 7,90)$, $20,45 (\pm 4,92)$ y $-9,59 (\pm 8,38)$ para rango de tobillo, dorsiflexión y flexión plantar respectivamente donde se asemeja de manera exclusiva con nuestros resultados en el rango del tobillo situación que se explica por el gesto mecánico al pedaleo, fatiga y la carga de trabajo (Bini & Diefenthaler 2010).

De la misma manera la cadera mostró un comportamiento disperso en categorías por encima y debajo de los valores estándar aludiendo un patrón compensatorio caracterizado por un ángulo abierto menor al esperado y un rango total mucho mayor que el reportado en ciclistas creativos y competitivos (Scoz et al., 2021). No obstante estudios como los de Oliveira y Thorsen, (2025) postulan valores entre los 36° a 82° de movimiento en el plano sagital de cadera apegados a los encontrados en la presente investigación que fueron entre los 66° a 120° de ángulo cerrado y abierto de cadera. El impacto de la articulación de la cadera se relaciona con la función muscular de aquellos monoarticulares (bíceps femoral, vasto lateral, intermedio y medial) que actúan durante la fase de propulsión mientras los biarticulares (recto femoral, semitendinoso y semimembranoso) se encargan de distribuir los momentos sobre las articulaciones adyacentes (Wakeling & Horn, 2009), estas características de activación muscular hacen cambios sobre los rangos esperados con el fin de priorizar la estabilidad de rodilla (da Silva et al., 2016). Una variable que no fue evaluada, pero es de vital consideración y que interviene de forma directa en la cinemática es la posición del sillín donde como lo remarca Husband et al., (2024). una posición elevada de este repercute de forma directa sobre articulaciones de cadera y tobillo haciendo que se alejen de valores normales en forma compensatorio para evitar angulaciones excesivas que puedan provocar lesión (Jongorius et al., 2022). En conjunto, estos hallazgos permiten entender que el dolor patelofemoral no puede atribuirse a un único factor, sino que resulta de la interacción entre la mecánica articular, la respuesta biológica del tejido y el control neuromuscular.

El presente estudio presenta limitaciones entre las que destacan la distribución heterogénea de modalidades de ciclismo condicionando el análisis de valores de referencia en bike-fitting, el análisis unilateral del gesto del pedaleo, la omisión de modificaciones ergonómicas sobre la bicicleta y el gesto deportivo mismo que no fue analizado bajo diferentes parámetros como potencia, fitness cardiovascular. Sin embargo, el empleo de equipos sofisticados y de alta calidad permitieron analizar de forma orgánica el



gesto de pedaleo. Además, se implica la necesidad de monitorear adaptaciones estructurales y prevenir sobreuso, especialmente en tobillo y cadera, siendo recomendable revisar las definiciones operativas de ciertos parámetros como extensión máxima de rodilla y rango del ángulo de cadera para asegurar su validez biomecánica en el contexto del ciclismo. Sumado a esto, este trabajo aporta evidencia local relevante sobre la biomecánica del pedaleo en ciclistas amateurs, debido a que los resultados respaldan la importancia de abordar el dolor patelofemoral desde una visión integral.

Conclusiones

En conclusión, el presente estudio evidencia una cinemática diferenciada y única en ciclistas amateurs con dolor patelofemoral, donde solo los ángulos de flexión máxima de rodilla, rango del ángulo de rodilla y rango del ángulo de cadera están dentro de los valores estandarizados. Por otro lado, la única variable con repercusión significativa sobre la funcionalidad medida mediante la puntuación de Kujala fue la flexión máxima de rodilla, lo que sugiere un papel específico de esta variable dentro del complejo mecánico del pedaleo. Estos hallazgos se suman a lo existente sobre la naturaleza multifactorial del dolor patelofemoral en el ciclismo, indicando que las alteraciones cinemáticas por sí solas no son justificativas de la presencia ni la severidad del dolor, sino que interactúan con factores neuromusculares, biomecánicos y de carga de entrenamiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) de la Universidad Técnica de Ambato (UTA) – Ecuador por la aprobación y apoyo de la investigación. Este respaldo institucional fue fundamental para el desarrollo y finalización del presente manuscrito.

Referencias

- Asplund, C., & St Pierre, P. (2004). Knee pain and bicycling: fitting concepts for clinicians. *The Physician and Sportsmedicine*, 32(4). <https://doi.org/10.3810/psm.2004.04.201>
- Bailey, M. P., Maillardet, F. J., & Messenger, N. (2003). Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendinitis. *Journal of Sports Sciences*, 21(8). <https://doi.org/10.1080/0264041031000102015>
- Bini, R., & Flores-Bini, A. (2018). Potential factors associated with knee pain in cyclists: a systematic review. *Open Access Journal of Sports Medicine*, Volume 9. <https://doi.org/10.2147/oajsm.s136653>
- Bini, R. R., & Diefenthaler, F. (2010). Kinetics and kinematics analysis of incremental cycling to exhaustion. *Sports Biomechanics*, 9(4). <https://doi.org/10.1080/14763141.2010.540672>
- Branco, G. R., Resende, R. A., Carpes, F. P., & Mendonça, L. D. (2023). Association of Cycling Kinematics With Anterior Knee Pain in Mountain Bike Cyclists. *Journal of Sport Rehabilitation*, 32(1). <https://doi.org/10.1123/jsr.2021-0233>
- Brand, A., Sepp, T., Klöpfer-Krämer, I., Müßig, J. A., Kröger, I., Wackerle, H., & Augat, P. (2020). Upper Body Posture and Muscle Activation in Recreational Cyclists: Immediate Effects of Variable Cycling Setups. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 91(2). <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1665620>
- Byravamoni Venugopal, A., Chauhan, N., Wani, S., Maramreddy, L. V. S. K., Pathak, K., & Mittal, R. (2026). Anterior knee pain in anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone graft and autologous bone grafting. *World Journal of Orthopedics*, 17(1). <https://doi.org/10.5312/wjo.v17.i1.112677>
- da Silva, J. C. L., Tarassova, O., Ekblom, M. M., Andersson, E., Rönquist, G., & Arndt, A. (2016). Quadriceps and hamstring muscle activity during cycling as measured with intramuscular electromyography. *European Journal of Applied Physiology*, 116(9). <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3428-5>



- Encarnación-Martínez, A., Rizo-Albero, J., & Pérez-Soriano, P. (2025). Changes in saddle setback and intensity affect comfort and lower limb kinematics in recreational cyclists. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09649-w>
- Galindo-Martínez, A., López-Valenciano, A., Albaladejo-García, C., Vallés-González, J. M., & Elvira, J. L. L. (2021). Changes in the trunk and lower extremity kinematics due to fatigue can predispose to chronic injuries in cycling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph18073719>
- Gatti, A. A., Keir, P. J., Noseworthy, M. D., Beauchamp, M. K., & Maly, M. R. (2021). Hip and ankle kinematics are the most important predictors of knee joint loading during bicycling. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(1). <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.07.001>
- Gil-Gámez, J., Pecos-Martín, D., Kujala, U. M., Martínez-Merineró, P., Montañez-Aguilera, F. J., Romero-Franco, N., & Gallego-Izquierdo, T. (2016). Validation and cultural adaptation of “Kujala Score” in Spanish. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(9). <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3521-z>
- Gómez-Cazorla, D., López-Grueso, R., & Vicens-Bordas, J. (2026). The physiological parameters, training characteristics and race performance in highly trained cyclists. A cross-sectional study. *Retos*, 79, 259–269. <https://doi.org/10.47197/retos.v79.118526>
- Holliday, W., Theo, R., Fisher, J., & Swart, J. (2023). Cycling: joint kinematics and muscle activity during differing intensities. *Sports Biomechanics*, 22(5). <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1640279>
- Husband, S. P., Wainwright, B., Wilson, F., Crump, D., Mockler, D., Carragher, P., Nugent, F., & Simms, C. K. (2024). Cycling position optimisation—a systematic review of the impact of positional changes on biomechanical and physiological factors in cycling. In *Journal of Sports Sciences* (Vol. 42, Number 15). <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2394752>
- Johnston, T. E., Baskins, T. A., Koppel, R. V., Oliver, S. A., Stieber, D. J., & Høglund, L. T. (2017). The influence of extrinsic factors on knee biomechanics during cycling: A systematic review of the literature. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(7). <https://doi.org/10.26603/ijsp20171023>
- Jongorius, N., Wainwright, B., Walker, J., & Bissas, A. (2022). The biomechanics of maintaining effective force application across cycling positions. *Journal of Biomechanics*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111103>
- Kidziński, Ł., Yang, B., Hicks, J. L., Rajagopal, A., Delp, S. L., & Schwartz, M. H. (2020). Deep neural networks enable quantitative movement analysis using single-camera videos. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17807-z>
- Kujala, U. M., Jaakkola, L. H., Koskinen, S. K., Taimela, S., Hurme, M., & Nelimarkka, O. (1993). Scoring of patellofemoral disorders. *Arthroscopy*, 9(2). [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(05\)80366-4](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(05)80366-4)
- Martín-Sosa, E., Mayo, J., & Ojeda, J. (2026). Methodology for three-dimensional analysis of asymmetries in joint moments in cycling. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1692531>
- Ménard, M., Lacouture, P., & Domalain, M. (2020). Iliotibial band syndrome in cycling: a combined experimental-simulation approach for assessing the effect of saddle setback. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 15(6). <https://doi.org/10.26603/ijsp20200958>
- Oja, P., Titze, S., Bauman, A., de Geus, B., Krenn, P., Reger-Nash, B., & Kohlberger, T. (2011). Health benefits of cycling: A systematic review. In *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* (Vol. 21, Number 4). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01299.x>
- Oliveira, N., & Thorsen, T. (2025). Comparison of Lower Limb Kinematics Between Increased Hip Flexion Gait and Cycling: Implications for Exercise Prescription in Clinical Populations. *Applied Sciences* (Switzerland), 15(14). <https://doi.org/10.3390/app15148045>
- Priego Quesada, J. I., Kerr, Z. Y., Bertucci, W. M., & Carpes, F. P. (2019). A retrospective international study on factors associated with injury, discomfort and pain perception among cyclists. *PLoS ONE*, 14(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211197>
- Rooney, D., Sarriegui, I., & Heron, N. (2020). “As easy as riding a bike”: A systematic review of injuries and illness in road cycling. In *BMJ Open Sport and Exercise Medicine* (Vol. 6, Number 1). <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000840>

- Savelberg, H. H. C. M., Van de Port, I. G. L., & Willems, P. J. B. (2003). Body Configuration in Cycling Affects Muscle Recruitment and Movement Pattern. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(4). <https://doi.org/10.1123/jab.19.4.310>
- Scoz, R. D., Amorim, C. F., Espindola, T., Santiago, M., Mendes, J. J. B., De Oliveira, P. R., Ferreira, L. M. A., & Brito, R. N. (2021). Discomfort, pain and fatigue levels of 160 cyclists after a kinematic bike-fitting method: An experimental study. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, 7(3). <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001096>
- Seo, J. W., Kim, D. H., Yang, S. T., Kang, D. W., Choi, J. S., & Tack, G. R. (2016). Comparison of joint kinematics and pedaling force in the young and the elderly. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(8). <https://doi.org/10.1589/jpts.28.2245>
- Soares, L. F., Ribeiro, L. O. P., Seixas, M. T. T., Augusto, V. G., de Aquino, C. F., Pernambuco, A. P., & E Fernandes Lima, V. V. de A. (2023). Low back pain and joint position changes in cyclists: A cross-sectional study. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 29. https://doi.org/10.1590/1517-8692202329022021_0413i
- Takeda, I., Yamada, A., & Onodera, H. (2021). Artificial Intelligence-Assisted motion capture for medical applications: a comparative study between markerless and passive marker motion capture. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 24(8). <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1856372>
- Too, D. (1990). Biomechanics of Cycling and Factors Affecting Performance. In *Sports Medicine* (Vol. 10, Number 5). <https://doi.org/10.2165/00007256-199010050-00002>
- Vigário, P. C., Ferreira, R. M., Sampaio, A. R., & Martins, P. N. (2024). Effects of Saddle Position on Cycling: An Umbrella Review. *Physiologia*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/physiologia4040032>
- Wakeling, J. M., & Horn, T. (2009). Neuromechanics of muscle synergies during cycling. *Journal of Neurophysiology*, 101(2). <https://doi.org/10.1152/jn.90679.2008>
- Wanich, T., Hodgkins, C., Columbier, J. A., Muraski, E., & Kennedy, J. G. (2007). Cycling injuries of the lower extremity. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 15(12). <https://doi.org/10.5435/00124635-200712000-00008>

Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Diana Carolina Velasco-Garzón	dianacarolinavelasco89@gmail.com	Autor/a
Verónica Gabriela Salinas-Velastegui	vg.salinas@uta.edu.ec	Autor/a
Paul Fernando Cantuña-Vallejo	pf.cantuna@uta.edu.ec	Autor/a
Andrea Carolina Peñafiel-Luna	ac.penafiel@uta.edu.ec	Autor/a
María Augusta Latta-Sánchez	mariaalatta@uta.edu.ec	Autor/a
Paola Gabriela Ortiz-Villalba	pg.ortiz@uta.edu.ec	Autor/a
Javier Caiza-Lema	sj.caiza@uta.edu.ec	Autor/a