

Relación entre patrones de movimiento funcional (FMS-3) y el rendimiento en salto vertical evaluado mediante el sensor Wheeler Jump en estudiantes de secundaria peruanos

Relationship between functional movement patterns (FMS-3) and vertical jump performance assessed with the Wheeler Jump sensor in Peruvian secondary school students

Yfuma-Pedroza, Giancarlo Jossue¹

<https://orcid.org/0009-0008-5977-5843>

Acevedo-Mindiola, Andrés Alonso²

<https://orcid.org/0009-0004-0355-3126>

¹ Universidad Europea de Madrid, España

² Universidad Manuela Beltrán, Colombia

RESUMEN

Objetivo: Relacionar tres ítems de la evaluación funcional de movimiento como la sentadilla profunda (SP), paso de valla (PV) y movilidad de hombro (MH), denominada FMS-3 como protocolo funcional tripartito para educación física escolar con el rendimiento en salto en cuclillas (SJ), salto con contramovimiento (CMJ) y salto con contramovimiento con brazos libres (ABK).

Metodología: Diseño descriptivo correlacional con una muestra a conveniencia de estudiantes de secundaria del Colegio Rosario del Solar, Lima, Perú (n=42). La batería FMS-3 fue realizada en condición de reposo y las pruebas de salto se aplicaron tras calentamiento estandarizado y familiarización con el sensor Wheeler Jump. Se empleó Spearman como correlación primaria y Student t / Welch t para comparaciones por sexo.

Resultados: La SP fue el único ítem con asociaciones significativas con el salto vertical

(SP→ SJ: $\rho=0,392$, $p=0,014$; SP→CMJ: $\rho=0,357$, $p=0,026$). El FMS-3 total se relacionó marginalmente con el SJ ($\rho=0,321$, $p=0,047$). El PV y el MH no mostraron relaciones significativas con ninguna modalidad de salto. Los hombres superaron a las mujeres en las tres modalidades de salto ($d=1,15-1,20$).

Conclusión: Los resultados indican que, del total de ítems evaluados, únicamente la sentadilla profunda mostró correlación significativa con el rendimiento en salto vertical, específicamente con el SJ y el CMJ, lo que sugiere su utilidad como indicador de potencia explosiva en estudiantes de secundaria. Por otra parte, se sugiere PV como detector de asimetrías funcionales del tren inferior, y MH como evaluador de la cadena cinética del tren superior.

Palabras clave: Patrones de movimiento, salto vertical, educación física, escolares.



ORIGINAL

Recibido: 12 de abril de 2026
Aceptado: 20 de junio de 2026

Correspondencia:
Giancarlo Jossue
Yfuma Pedroza

E-mail:
gianyp8182@gmail.com



ABSTRACT

Objective: To examine the relationship between three functional movement assessment items — Deep Squat (DS), Hurdle Step (HS), and Shoulder Mobility (SM), termed FMS-3 as a tripartite functional protocol for school physical education — and performance on Squat Jump (SJ), Counter Movement Jump (CMJ), and free-arm Counter Movement Jump (ABK).

Methodology: A descriptive-correlational design was used with a convenience sample of secondary school students from Colegio Rosario del Solar, Lima, Peru ($n=42$). The FMS-3 battery was administered under resting conditions, and jump tests were applied following a standardized warm-up and familiarization with the Wheeler Jump sensor. Spearman correlation was used as the primary statistical measure, and Student's t / Welch's t -tests were applied for sex-based comparisons.

Results: The DS was the only item with significant associations with vertical jump performance (DS→SJ: $\rho=0.392$, $p=0.014$; DS→CMJ: $\rho=0.357$, $p=0.026$). The total FMS-3 score was marginally associated with SJ ($\rho=0.321$, $p=0.047$). The HS and SM showed no significant associations with any jump modality. Males outperformed females across all three jump modalities ($d=1.15-1.20$).

Conclusion: The findings indicate that, among the items assessed, only the Deep Squat showed a significant correlation with vertical jump performance, specifically with SJ and CMJ, suggesting its utility as an indicator of explosive power in secondary school students. Additionally, the Hurdle Step is proposed as a detector of lower-limb functional asymmetries, and Shoulder Mobility as an evaluator of the upper-body kinetic chain.

Keywords: Movement patterns, vertical jump, physical education, schoolchildren.

Introducción

El interés por evaluar la calidad del movimiento en poblaciones escolares ha crecido sustancialmente en las ciencias del deporte aplicadas durante la última década, impulsado por evidencia que vincula los déficits en los patrones fundamentales de movimiento tanto con el aumento del riesgo de lesión como con la disminución del rendimiento físico durante la adolescencia^{1,2}. Entre los instrumentos desarrollados para este propósito, la evaluación funcional de movimiento (Functional Movement Screen, FMS) es el que ha alcanzado mayor difusión internacional. Concebida por Cook y Burton a mediados de la década de 1990, la FMS parte del principio de que la calidad del movimiento precede y condiciona su expresión cuantitativa: un adolescente que no puede ejecutar una sentadilla profunda con control adecuado no puede expresar su potencial de potencia explosiva de forma segura ni eficiente^{3,4}.

El instrumento evalúa siete patrones fundamentales de movimiento mediante observación estandarizada, puntuados de 0 a 3, con los patrones bilaterales puntuados por el lado más débil para capturar asimetrías funcionales, generando una puntuación compuesta de hasta 21

puntos¹. La sentadilla, la zancada y el paso de valla se describen como patrones de nivel superior que examinan las tres posiciones esenciales de pie en el deporte, mientras que las pruebas de estabilidad rotatoria y flexión de brazos evalúan predominantemente la estabilidad triplanar y sagital⁵.

Dos síntesis recientes han avanzado en la comprensión del FMS en poblaciones jóvenes. Un metaanálisis sobre valores normativos en niños y adolescentes escolarizados, que incluyó 19 estudios de ocho bases de datos internacionales, reportó una media ponderada de 14/21 con variabilidad entre estudios aproximadamente cinco veces mayor en muestras de secundaria que en primaria⁶. Una revisión sistemática sobre FMS y rendimiento atlético en adolescentes con 13 estudios de 4 bases de datos encontró que los sujetos con puntuaciones más altas tienden a rendir mejor en velocidad, agilidad, fuerza y resistencia cardiovascular, aunque las correlaciones oscilaron entre débiles y moderadas⁵.

A pesar de la creciente evidencia internacional, ningún estudio procedente de América del Sur fue incluido en ninguna de las dos revisiones anteriores, dejando a los docentes de educación física e investigadores de la región sin datos

normativos de origen local ni evidencia de validez para este instrumento. Además, la mayoría de las investigaciones sobre FMS y rendimiento en salto han involucrado a atletas jóvenes de élite o jugadores de nivel universitario⁷, excluyendo sistemáticamente a los estudiantes de secundaria que participan en educación física general sin entrenamiento deportivo sistemático.

Con respecto a lo anterior, una brecha de investigación es la viabilidad del protocolo completo del FMS en contextos escolares. El protocolo estándar de siete patrones fue diseñado para evaluadores con formación clínica y requiere 20–30 minutos por participante, equipamiento estandarizado y criterios de puntuación que exigen formación previa estructurada⁸. Adicionalmente, existe una ausencia de un protocolo de cribado motor fundamentado empíricamente para la educación física escolar latinoamericana. Ningún estudio en América del Sur ha combinado una batería de cribado funcional viable para el docente con tecnología portátil de salto validada en escolares, ni ninguna investigación ha propuesto un protocolo que asigne roles pedagógicos diferenciados a los ítems individuales del FMS para docentes de educación física sin formación especializada.

En cuanto con el sensor Wheeler Jump, es un dispositivo fotoeléctrico portátil con conectividad Bluetooth que estima la altura del salto a partir del tiempo de vuelo. Su validez concurrente ha sido establecida frente al sistema

de referencia OptoGait con ICC = ,997–,998 ($p < 0,001$) en 119 atletas colombianos de alto rendimiento⁹. Sin embargo, ningún estudio lo ha aplicado en escolares. Relacionar la FMS-3 con el rendimiento en salto vertical evaluado mediante el sensor Wheeler Jump resulta relevante por dos razones. Primero, desde el plano biomecánico, la calidad del movimiento funcional y la capacidad de producir potencia explosiva comparten requerimientos neuromusculares comunes, particularmente en la estabilidad del tren inferior y el control del core, por lo que es plausible que déficits en los patrones de movimiento se expresen en un menor rendimiento en salto^{4,5}. Segundo, desde el plano pedagógico, contar con dos instrumentos viables para el docente una batería de cribado funcional y un sensor portátil de salto en una misma sesión permitiría al profesional de educación física obtener un perfil motor básico de sus estudiantes sin requerir infraestructura especializada, optimizando la toma de decisiones curriculares y el diseño de intervenciones diferenciadas.

De esta manera, el presente estudio propone el objetivo primario de relacionar la batería FMS-3 como protocolo funcional tripartito con el rendimiento en SJ, CMJ y ABK medidos con el sensor Wheeler Jump en estudiantes de secundaria del Colegio Rosario del Solar, Lima, Perú. Así como un objetivo secundario de comparar el rendimiento en salto vertical entre hombres y mujeres de la misma muestra. Todos los hallazgos se consideran exploratorios dado el tamaño muestral y el diseño de institución única.

Metodología

Diseño del estudio

Se empleó un diseño descriptivo correlacional de corte transversal. Este diseño es apropiado para estimar asociaciones entre variables en un único punto temporal sin manipulación experimental, en consonancia con estudios previos que examinaron FMS y rendimiento atlético en poblaciones jóvenes⁵.

Participantes

La muestra estuvo compuesta por 43 estudiantes con rango de edad entre 12 a 16 años de secundaria de la 1.º a 5.º grado del Colegio Rosario del Solar, institución privada del distrito de Santiago de Surco, Lima, Perú. El muestreo fue intencional y no probabilístico, incluyendo a todos los estudiantes matriculados en las clases de educación física que cumplieron los criterios de elegibilidad durante el período de evaluación (mayo–julio de 2025).

El estudio fue realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki. El Colegio Rosario del Solar autorizó formalmente el estudio y todos los padres o tutores legales firmaron formularios de consentimiento informado. Los datos de los participantes fueron anonimizados para el análisis.

Criterios de inclusión: (a) estar matriculado en el colegio durante el período de evaluación; (b) contar con consentimiento informado escrito del padre o tutor legal; y (c) completar ambas baterías FMS-3 y Wheeler Jump en la misma sesión.

Criterios de exclusión: (a) lesión musculoesquelética activa diagnosticada en los 30 días previos; (b) dolor referido durante cualquier patrón de movimiento (puntuación FMS = 0); y (c) ausencia el día de evaluación.

Un participante adicional fue excluido antes del análisis por un resultado de SJ biomecánicamente inverosímil (2,7 cm), atribuido a falta de esfuerzo según confirmación de los evaluadores en el momento de la prueba. La muestra final fue de $n = 42$ (25 hombres, 17 mujeres).

Instrumentos de evaluación

Batería FMS-3

Se aplicaron tres de los siete patrones del FMS: sentadilla profunda, paso de valla y movilidad de hombro. La selección de ítems siguió dos criterios: (a) cobertura biomecánica puesto que los tres ítems cubren colectivamente los planos sagital, frontal y escapulotorácico; y (b) viabilidad para el docente puesto que no se requiere equipamiento especializado, los ítems son puntuables por observación directa y el tiempo total de administración para un grupo completo es inferior a ocho minutos. Cada patrón fue puntuado de 0 a 3 (0 = dolor; 3 = patrón completado sin compensaciones). En los patrones bilaterales paso de valla y movilidad del hombro, se utilizó la puntuación del lado más débil conforme al protocolo estándar del FMS¹. La puntuación compuesta del FMS-3 oscila entre 0 y 9.

La batería FMS-3 fue administrada en primer lugar, en condición de reposo y sin calentamiento previo, siguiendo el protocolo de administración original del FMS¹, que estipula que los patrones de movimiento funcional deben evaluarse en el estado neuromuscular basal del participante para capturar la calidad de movimiento habitual y no el rendimiento potenciado. Administrar el FMS tras el calentamiento elevaría artificialmente las puntuaciones al aumentar la temperatura articular y reducir la resistencia viscoelástica, comprometiendo la validez ecológica de la evaluación.

Dos evaluadores integrantes del semillero de investigadores en ciencias del deporte con formación de pregrado completaron una sesión estandarizada de dos horas que incluyó revisión de criterios, práctica basada en video y calibración interexaminador¹⁰. La movilidad de hombro presenta la mayor fiabilidad publicada ($\kappa = ,90-1,00$; ICC = $,96-.98$)¹¹, mientras que el paso de valla muestra la mayor variabilidad ($\kappa = -.01$ a $,39$; 9)¹⁰.

Sensor Wheeler Jump

El rendimiento en salto vertical fue medido con el sensor fotoeléctrico portátil Wheeler Jump, que estima la altura del salto (cm)

a partir del tiempo de vuelo mediante conectividad Bluetooth con un dispositivo móvil. Su validez concurrente ha sido establecida en la literatura científica⁹. Se evaluaron tres modalidades de salto de la batería de Bosco¹²: salto en cuclillas (SJ) con inicio estático con 90° de flexión de rodilla, manos en caderas, sin contramovimiento, evaluando la fuerza concéntrica pura del tren inferior; salto con contramovimiento (CMJ) desde bipedestación con contramovimiento, evaluando la utilización del ciclo estiramiento-acortamiento; y el salto con contramovimiento con brazos libres (ABK), evaluando la potencia total de la cadena cinética. Se realizaron tres intentos por modalidad, registrándose el mejor resultado.

Procedimiento de evaluación

Las evaluaciones se llevaron a cabo entre mayo y julio de 2025 en las instalaciones deportivas del Colegio Rosario del Solar durante las clases programadas de educación física, evaluándose cada grado en una única sesión de 90 minutos. La sesión siguió esta secuencia exacta:

(1) Batería FMS-3 en condición de reposo (sin calentamiento), en el orden SP → PV → MH, con dos minutos de descanso entre ítems y tres intentos por patrón. (2) Calentamiento estandarizado de 10 minutos compuesto por: (a) cinco minutos de trote continuo a ritmo autoseleccionado; (b) movilidad articular dinámica de miembros inferiores y superiores (10 repeticiones por articulación); y (c) familiarización con el sensor Wheeler Jump y los protocolos de salto mediante instrucción en video, explicación verbal de los examinadores y tres saltos de práctica submáximos por modalidad, siguiendo el protocolo de familiarización recomendado por Patiño-Palma et al.⁹. (3) Pruebas de salto en el orden SJ → CMJ → ABK, progresando de menor a mayor complejidad neuromuscular para minimizar los efectos de aprendizaje¹², con 45 segundos de descanso entre intentos y dos minutos entre modalidades.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados con Python 3.11 y las bibliotecas pandas, NumPy y SciPy (Python Software Foundation). El nivel de significación fue establecido en $\alpha = 0,05$ para todas las pruebas. Los tamaños del efecto fueron reportados para todas las comparaciones: r (Spearman) para correlaciones, R^2 para regresión, ϵ^2 para Kruskal-Wallis y d de Cohen¹³ para comparaciones por sexo.

La normalidad fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk como criterio primario para $n < 50$ (mayor potencia estadística para muestras

pequeñas. Dado que el FMS-3 total no cumplió la normalidad (SW $p = 0,007$) y, de forma determinante, constituye una puntuación compuesta ordinal (suma de ítems ordinales), la correlación de rangos de Spearman (ρ) fue empleada como medida primaria de asociación entre las variables del FMS-3 y el rendimiento en salto. La r de Pearson se reporta como índice complementario para facilitar la comparación con la literatura previa, con la advertencia explícita de que su aplicación a predictores ordinales constituye una limitación metodológica. Una corrección de Bonferroni para 12 comparaciones simultáneas arrojó una α ajustada = 0,0042; todas las correlaciones reportadas se consideran exploratorias dado que

ningún coeficiente de Spearman superó este umbral.

Para las comparaciones de salto por sexo, la normalidad fue confirmada dentro de cada subgrupo (todos los SW $p > 0,05$). La homogeneidad de varianzas fue evaluada con la prueba de Levene: se aplicó la t de Student para SJ y CMJ (Levene $p > 0,05$) y la t de Welch para ABK (Levene $p = 0,023$). Los modelos de regresión lineal simple fueron ajustados únicamente para los pares predictor-resultado con ρ de Spearman significativo ($p < 0,05$). Las diferencias en el FMS-3 por sexo fueron examinadas con Mann-Whitney U. Los supuestos de regresión (normalidad de residuos y homocedasticidad) fueron verificados para cada modelo.

Resultados

La Tabla 1 presenta los resultados de la puntuación del FMS-3 y media de los saltos evaluados. En esta se evidencia que el FMS-3 osciló entre 3 y 8 ($5,76 \pm 1,34$), con la movilidad de hombro mostrando la media de ítem más alta ($2,57 \pm 0,73$) y el paso de valla la más baja ($1,40 \pm 0,62$). La media del SJ fue $21,99 \pm 8,54$ cm,

del CMJ $21,95 \pm 7,31$ cm y del ABK $25,01 \pm 9,16$ cm. En las puntuaciones FMS-3 por sexo no se encontraron diferencias significativas en el FMS-3 entre participantes masculinos ($5,64 \pm 1,41$) y femeninos ($5,94 \pm 1,25$; Mann-Whitney U = 180,5, $p = 0,409$, $r = 0,128$).

Tabla 1. Características generales y estadísticos descriptivos de todas las variables del estudio.

Variable	n	Media-SD	P25	P75	Rango	IC 95% M
Peso (kg)	42	61,12 $\pm$ 14,14				
Talla (cm)	42	1,65 $\pm$ 0,94				
FMS-3 Total	42	5,76 $\pm$ 1,34	5	7	3–8	[5,35, 6,18]
Sentadilla profunda	42	1,79 $\pm$ 0,76	1	2	1–3	[1,55, 2,02]
Paso de valla	42	1,40 $\pm$ 0,62	1	2	1–3	[1,21, 1,60]
Movilidad hombro	42	2,57 $\pm$ 0,73	2	3	1–3	[2,34, 2,80]
SJ (cm)	42	21,99 $\pm$ 8,54	15,3	27,2	9,2–43,8	[19,22, 24,76]
CMJ (cm)	42	21,95 $\pm$ 7,31	16,8	26,3	10,3–40,6	[19,58, 24,32]
ABK (cm)	42	25,01 $\pm$ 9,16	18,3	30,3	10,8–46,2	[21,99, 28,02]

Nota. M = media; SD = desviación típica; P25–P75 = rango intercuartílico; IC 95% basado en distribución t de Student. Rango FMS-3: 0–9; rango por ítem: 0–3.

Con respecto a la tabla 2, se presentan las diferencias por sexo en el salto vertical. Los participantes masculinos superaron significativamente a las participantes femeninas en las tres modalidades de salto, con tamaños del

efecto grandes ($d = 1,15-1,20$). Se aplicó la *t* de Student para SJ y CMJ (Levene $p > 0,05$, varianzas iguales) y la *t* de Welch para ABK (Levene $p = 0,023$, varianzas desiguales).

Tabla 2. Rendimiento en salto vertical por sexo y resultados de la comparación entre grupos.

Variable	n	Hombres (M – SD)	Mujeres (M – SD)	t	p	d Cohen
SJ (cm)	25/17	26,49±7,51	13,98±5,64	5,5	< 0,001***	1,2
CMJ (cm)	25/17	25,54±6,44	15,46±5,30	5,02	< 0,001***	1,18
ABK (cm)	25/17	29,65±8,26	17,00±6,34	4,83	< 0,001***	1,15

Nota: d de Cohen. ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. M = media; SD = desviación típica

Por otra parte, en la Tabla 3 se presentan todas las correlaciones de Spearman ρ (primario) y Pearson r (complementario). La sentadilla profunda fue el único ítem del FMS-3 con asociaciones significativas con el rendimiento en salto: $\rho = 0,392$ con el SJ ($p = 0,014$) y $\rho = 0,357$ con el CMJ ($p = 0,026$). La asociación entre la sentadilla profunda y el ABK no fue significativa según el coeficiente primario de Spearman ($\rho = 0,286$); nótese que la r de Pearson 0,410 sí fue

significativa, discrepancia que probablemente refleja la influencia desproporcionada de un participante de alto rendimiento sobre el estimador paramétrico. El FMS-3 total mostró una asociación marginal únicamente con el SJ ($\rho = 0,321$, $p = 0,047$). El paso de valla y la movilidad de hombro no mostraron asociaciones significativas con ninguna modalidad de salto (todos los $p > 0,05$). Ninguna correlación de Spearman superó la corrección de Bonferroni ($\alpha = 0,0042$); todos los hallazgos son exploratorios.

Tabla 3. Correlaciones de Spearman ρ (primario) y Pearson r (complementario) entre los ítems del FMS-3 y las variables de salto vertical.

	SJ			CMJ			ABK		
	ρ (p)	r (p)	R^2	ρ (p)	r (p)	R^2	ρ (p)	r (p)	R^2
FMS-3 Total	0,321*	0,047	0,103	0,249	0,287	0,082	0,185	0,269	0,072
Sentadilla profunda	0,392*	0,014	0,161	0,357*	0,026	0,127	0,286	0,410*	0,168
Paso de valla	0,156	0,212	0,045	0,104	0,149	0,022	0,139	0,176	0,031
Movilidad hombro	0,185	0,198	0,039	0,167	0,176	0,031	0,187	0,221	0,049

Nota. ρ = correlación de rangos de Spearman (primaria; FMS-3 es ordinal); r = Pearson (complementaria; aplica advertencia ordinal). R^2 derivado de r de Pearson. * $p < 0,05$. ‡ ρ y r discrepan en significación; Spearman es el criterio primario

Ahora bien, en la Tabla 4 se evidencia los modelos predictivos, donde tres modelos de regresión cumplieron el criterio de inclusión (Spearman $p < 0,05$): FMS-3 Total $\rightarrow$ SJ ($R^2 = 0,121$, $p = 0,030$), sentadilla profunda $\rightarrow$ SJ ($R^2 = 0,201$, $p = 0,004$) y sentadilla profunda $\rightarrow$ CMJ

($R^2 = 0,178$, $p = 0,007$). El diagnóstico de regresión confirmó que los residuos cumplieron los supuestos de normalidad (todos los SW $p > 0,09$) y homocedasticidad (todos los Levene $p > 0,22$). La sentadilla profunda explicó aproximadamente el 20% de la varianza del SJ y el 18% de la varianza del CMJ.

Tabla 4. Modelos de regresión lineal simple para los pares predictor de resultados significativos.

Modelo	β_0	β_1	r	R^2	R^2_{adj}	F	p	IC 95% β_1
FMS-3 Total $\rightarrow$ SJ	12,23	1,7	0,348	0,121	0,098	5,06	0,030*	[0,17, 3,23]
SP $\rightarrow$ SJ	9,04	7,24	0,448	0,201	0,179	9,31	0,004**	[2,52, 11,96]
SP $\rightarrow$ CMJ	10,88	6,18	0,422	0,178	0,155	8,00	0,007**	[1,81, 10,55]

Nota. β_0 = intercepto; β_1 = pendiente; r = Pearson r; R^2 = coeficiente de determinación; R^2_{adj} = R^2 ajustado; F con valor de p. Diagnóstico de residuos: SW $p > 0,09$ (normalidad) y Levene $p > 0,22$ (homocedasticidad) para todos los modelos.

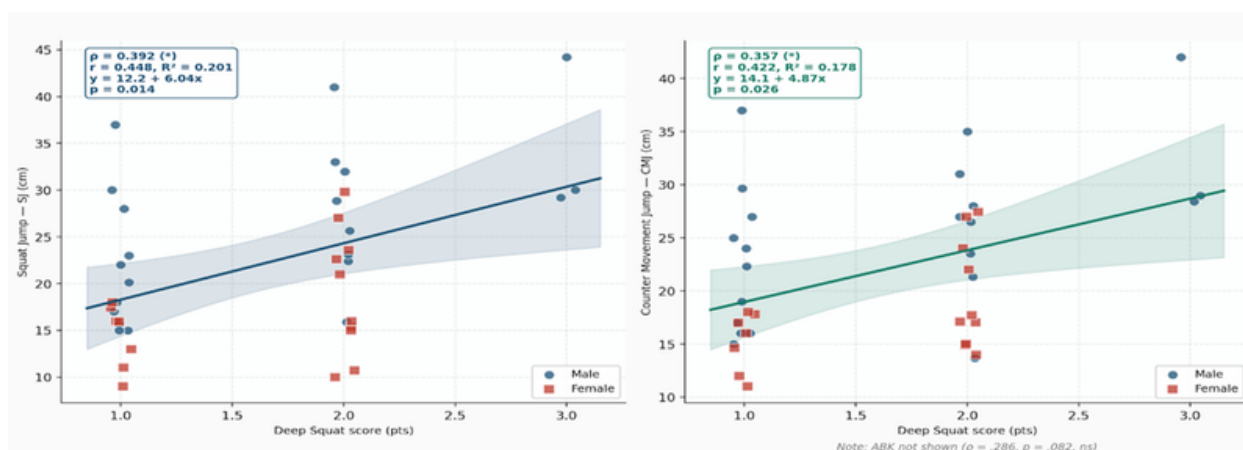


Figura 2. Puntuación de la sentadilla profunda como predictor del rendimiento en SJ y CMJ, por sexo, con línea de regresión y banda de confianza del 95%.

Nota. Círculos azules: masculino; cuadrados rojos: femenino. ρ = correlación de rangos de Spearman. * $p < 0,05$.

Discusión

Sentadilla profunda como predictor de rendimiento

El hallazgo principal de este estudio fue que el ítem sentadilla profunda de la batería FMS-3 mostró asociaciones positivas significativas tanto con el SJ ($\rho = 0,392$, $p = 0,014$, $R^2 = 0,201$) como con el CMJ ($\rho = 0,357$, $p = 0,026$, $R^2 = 0,178$). Este hallazgo es biomecánicamente coherente: la sentadilla profunda desafía la mecánica corporal total y el control neuromuscular, evaluando la movilidad funcional

simétrica bilateral y la estabilidad de caderas, rodillas y tobillos¹. Estas demandas se superponen directamente con los requerimientos neuromusculares del SJ que demanda la producción de fuerza concéntrica bilateral en el plano sagital sin ciclo estiramiento-acortamiento y del CMJ que añade la fase de carga excéntrica replicando la mecánica de descenso de la sentadilla profunda.

Evidencia cinemática reciente confirma que los participantes con puntuación 3 en la sentadilla

profunda del FMS exhiben momentos de extensión de rodilla y excursiones de flexión de cadera significativamente mayores que los que puntúan 1 o 2⁴, validando que la puntuación observacional captura diferencias biomecánicas reales relevantes para la mecánica del salto. El hallazgo de que la sentadilla profunda explica $R^2 \approx 0,20$ de la varianza del SJ en esta muestra escolar no deportista es consistente con las asociaciones moderadas reportadas en el único estudio previo que examinó la sentadilla profunda específicamente ($r = 0,26$, $p = 0,049$)⁵ y extiende este hallazgo a un contexto latinoamericano con un sensor portátil validado. La asociación entre el FMS-3 total y el SJ ($p = 0,321$, $p = 0,047$) fue marginal y no sobrevivió la corrección de Bonferroni, lo que sugiere que la puntuación compuesta está en gran medida impulsada por la contribución de la sentadilla profunda. Esto es consistente con la crítica establecida de que el compuesto del FMS puede diluir las asociaciones específicas de ítem con los resultados de rendimiento^{5,14}, y refuerza el argumento de que el análisis a nivel de ítem en lugar del nivel compuesto proporciona información más accionable para el docente de educación física.

Paso de Valla y Movilidad de Hombro: especificidad funcional frente a la predicción compuesta

Los ítems paso de valla y movilidad de hombro no mostraron asociaciones significativas con ninguna modalidad de salto (todos los $p < 0,31$, todos los $p > 0,06$). Lejos de representar un fracaso de estos ítems, este patrón de resultados constituye el hallazgo conceptualmente central del estudio y el fundamento empírico del protocolo tripartito propuesto. Los patrones de sentadilla, zancada y paso de valla del FMS se describen como patrones de nivel superior que examinan las tres posiciones esenciales del pie en el deporte, mientras que las pruebas de estabilidad rotatoria y flexión de brazos evalúan predominantemente la estabilidad triplanar y sagital⁵.

El paso de valla evalúa la estabilidad dinámica unilateral y el control pélvico en el plano frontal¹, una demanda neuromuscular fundamentalmente distinta a la producción de fuerza sagital bilateral requerida para el salto vertical. En poblaciones escolares no deportistas sin entrenamiento sistemático, la capacidad de estabilizarse en apoyo unipodal no se correlaciona necesariamente con la potencia con-

céntrica bilateral, ya que representan subsistemas neuromusculares distintos. El hallazgo de la revisión sistemática previa de una asociación positiva moderada entre el paso de valla y el alcance posteromedial en equilibrio ($r = 0,52$, $p < 0,05$)⁵ respalda la interpretación de que el paso de valla está más alineado con los constructos de equilibrio y control postural que con la potencia explosiva.

La ausencia de asociación del ítem movilidad de hombro con el salto vertical es esperada y biomecánicamente consistente: la movilidad del hombro evalúa el rango de movimiento glenohumeral y escapulotorácico¹, un componente de la cadena cinética que se activa directamente en la variante ABK (donde el balanceo de brazos contribuye a la altura del salto) pero no en el SJ ni en el CMJ. Las correlaciones cercanas a cero observadas ($p = 0,104$ – $0,185$) confirman que la movilidad del tren superior en reposo no predice la contribución dinámica del balanceo de brazos capturada en el ABK una distinción que en sí misma merece investigación futura.

El protocolo Tripartito FMS-3

El patrón diferencial de asociaciones demostró que la sentadilla profunda predice el rendimiento en salto, pero el paso de valla y movilidad de hombro no proporciona evidencia para conceptualizar la FMS-3, no como una batería abreviada de predicción del salto, sino como un protocolo de cribado funcional tripartito en el que cada ítem interroga un subsistema neuromuscular distinto con utilidad pedagógica diferenciada. La Tabla 5 formaliza este protocolo. En la medida de nuestro conocimiento, esto representa el primer protocolo tripartito fundamentado empíricamente derivado de una batería parcial del FMS específicamente diseñado para su uso por docentes de educación física en un contexto de secundaria latinoamericana, sin requerir formación biomecánica especializada ni instrumentación.

Una trayectoria de desarrollo de la calidad del movimiento funcional a lo largo de los años de secundaria en el período adolescente representa una ventana de competencia motora variable vinculada a perturbaciones neuromusculares asociadas a la maduración^{6,15}. No obstante, esta interpretación permanece tentativa dadas las limitaciones muestrales. Se necesitan estudios futuros con muestras mayores en escolares para caracterizar las trayectorias de desarrollo del FMS-3.

Ítem FMS-3	Subsistema neuromuscular	Asociación con salto	Función pedagógica	Aplicación en clase de EF
Sentadilla Profunda	Movilidad y estabilidad bilateral en plano sagital (cadera, rodilla, tobillo + core).	Predictor de rendimiento SJ: $p:0,0392^*$ ($R^2=0,20$) CMJ: $p=0,357^*$ ($R^2=0,18$).	Diagnóstico de potencia explosiva bilateral.	SP=1 → priorizar movilidad cadera/tobillo y fuerza excéntrica antes de actividades de salto.
Paso de Valla	Estabilidad unilateral en plano frontal + control pélvico dinámico.	Sin asociación con salto vertical (todos $p < 0,16$, $p > 0,33$) Función independiente del constructo "salto".	Detección de asimetrías funcionales del tren inferior.	Asimetría D≠I → ejercicios correctivos unilaterales antes de tareas de cambio de dirección o
Movilidad de Hombro	Movilidad glenohumeral y escapulotorácica (cadena cinética superior).	Sin asociación con SJ/CMJ ($p=0,10-0,19$). Correlación cero con plano sagital.	Evaluación de la cadena cinética del tren superior.	MH=1 bilateral → diferenciación de calentamiento y selección de ejercicios en voleibol y baloncesto

Nota: El protocolo está motivado empíricamente por el patrón de asociaciones significativas (SP) y no significativas (PV, MH) con el salto vertical. Se declara exploratorio y requiere validación prospectiva con muestras más amplias. SJ: salto en cuclillas; CMJ: salto con contramovimiento

Diferencias por sexo en el rendimiento en salto

Los participantes masculinos superaron significativamente a las participantes femeninas en las tres modalidades de salto con tamaños del efecto grandes ($d = 1,15-1,20$), consistentes con las diferencias establecidas relacionadas con el sexo en la potencia neuromuscular durante la adolescencia, atribuidas a trayectorias hormonales y de masa muscular divergentes tras el inicio de la pubertad¹⁵. Por lo tanto, existen grandes diferencias por sexo en el rendimiento en salto, lo que sugiere que la calidad en tareas de potencia explosiva está significativamente modulada por el sexo biológico. Esta disociación tiene implicaciones prácticas para las clases de educación física mixtas: los docentes deben aplicar valores de referencia estratificados por sexo al interpretar los datos de rendimiento en salto

Limitaciones

Deben reconocerse diversas limitaciones. En primer lugar, el diseño transversal impide la infe-

rencia causal, únicamente pueden establecerse relaciones entre la calidad del movimiento funcional y el rendimiento en salto. En segundo lugar, la muestra se limita a $n = 42$ estudiantes de un colegio privado de Lima, lo que restringe la generalización a otros tipos de institución, contextos socioeconómicos y regiones. En tercer lugar, ninguna correlación de Spearman superó la corrección de Bonferroni ($\alpha = 0,0042$) por lo que los hallazgos deben considerarse exploratorios. En cuarto lugar, el uso de la escala ordinal (FMS-3) como predictor en la regresión lineal se reconoce como una limitación metodológica, aunque los coeficientes de regresión se reportan junto al análisis primario basado en Spearman. En quinto lugar, los reducidos tamaños de subgrupo impidieron los análisis de interacción sexo $\times$ grado; esto merece investigación en estudios futuros con muestras más amplias. En sexto lugar, el estudio no contó con un sistema de referencia estándar de oro para la validación concurrente de las mediciones de salto vertical.

Conclusión

Este estudio aporta la primera evidencia empírica que respalda la conceptualización de una batería abreviada de tres ítems del FMS (FMS-3: sentadilla profunda, paso de valla, movilidad de hombro) como protocolo funcional tripartito para educación física escolar. Por lo tanto, la contribución principal de esta investigación es la relación que cada ítem cumple como propósito pedagógico: la sentadilla profunda como predictor de rendimiento, el paso de valla como detector de asimetrías del tren inferior, y el ítem movilidad de hombro como evaluador de la cadena cinética del tren superior.

De esta manera, con respecto al primer objetivo se encontró una correlación significativa entre la sentadilla profunda con el SJ y CMJ, mientras que

el paso de valla y la movilidad de hombro no mostraron asociaciones significativas con ninguna modalidad de salto. Estos resultados sugieren que la sentadilla profunda es el único ítem con capacidad predictiva sobre la potencia explosiva bilateral. Por otro lado, con respecto al segundo objetivo, los hombres superaron significativamente a las mujeres en las tres modalidades de salto, lo cual indica que las diferencias por sexo en la potencia explosiva son significativas durante la adolescencia. Esto implica la necesidad de aplicar valores de referencia estratificados por sexo al interpretar el rendimiento en salto en contextos escolares mixtos.

Referencias

1. Cook G, Burton L, Hoogenboom B. Pre-participation screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 1. *N Am J Sports Phys Ther*. 2006;1(2):62–72
2. Kiesel K, Plisky PJ, Voight ML. Can serious injury in professional football be predicted by a preseason Functional Movement Screen? *N Am J Sports Phys Ther*. 2007;2(3):147–58.
3. Cook G, Burton L, Kiesel K, (Chiropraticien) GR, Bryant MF. Movement functional movement systems : Screening, assessment, and corrective strategies. Aptos, CA, Estados Unidos de América: On Target Publications; 2010.
4. Macmillan C, Olivier B, Benjamin-Damons N, Wood W-A, Obiora OL. Altered sagittal plane mechanics is associated with Functional Movement Screen deep squat score. *S Afr J Physiother* [Internet]. 2023;79(1):1865. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4102/sajp.v79i1.1865>
5. Fitton Davies K, Sacko RS, Lyons MA, Duncan MJ. Association between functional movement screen scores and athletic performance in adolescents: A systematic review. *Sports* (Basel) [Internet]. 2022;10(3):28. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/sports10030028>
6. O'Brien W, Khodaverdi Z, Bolger L, Tarantino G, Philpott C, Neville RD. The assessment of functional movement in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* [Internet]. 2022;52(1):37–53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-021-01529-3>
7. Marques VB, Medeiros TM, de Souza Stigger F, Nakamura FY, Baroni BM. The functional movement screen (fmsTM) in elite young soccer players between 14 and 20 years: Composite score, individual-test scores and asymmetries. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2017;12(6):977–85. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26603/ijsp20170977>

8. Abraham A, Sannasi R, Nair R. Normative values for the functional movement screentm in adolescent school aged children. *Int J Sports Phys Ther*. 2015;10(1):29–36.
9. Patiño-Palma BE, Wheeler-Botero CA, Ramos-Parracé CA. Validación y fiabilidad del sensor Wheeler Jump para la ejecución del salto con contramovimiento. *Apunts Educ Fís Esports* [Internet]. 2022;(149):37–44. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2022/3\).149.04](http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2022/3).149.04)
10. Harper BA, Glass SM. Item-level and composite-level interrater reliability of Functional Movement ScreenTM scores following condensed training in novice raters. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2021;16(4):1016–24. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26603/001c.25793>
11. Shultz R, Anderson SC, Matheson GO, Marcello B, Besier T. Test-retest and interrater reliability of the functional movement screen. *J Athl Train* [Internet]. 2013;48(3):331–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-48.2.11>
12. Bosco C. La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Barcelona: Paidotribo; 1994.
13. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2a ed. Mahwah, NJ, Estados Unidos de América: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
14. Pfeifer CE, Sacko RS, Ortaglia A, Monsma EV, Beattie PF, Goins J, et al. FUNCTIONAL MOVEMENT SCREENTM in YOUTH SPORT PARTICIPANTS: EVALUATING the PROFICIENCY BARRIER for INJURY. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2019;14(3):436–44. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26603/ijsp20190436>
15. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation and physical activity. 3a ed. Champaign, IL, Estados Unidos de América: Human Kinetics; 2015.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiación externa.