

# Efecto de un programa de realidad virtual para mejorar la estabilidad de tronco en lanzadores de bala y jabalina paralímpicos. Un estudio de casos

## Effect of a virtual reality program to improve trunk stability in Paralympic shot put and javelin throwers. A case study

Luz Edith Pérez-Trejos<sup>1</sup>  , Lessby Gómez Salazar<sup>1</sup>  , Daniela Ortiz-Muñoz<sup>1</sup>  , Gloria-Patricia Arango-Hoyos<sup>1</sup>  

<sup>1</sup> Facultad de salud; Universidad del Valle; Cali; Colombia.



### Correspondencia

Luz Edith Pérez-Trejos.  
 Email: luz.perez@correounivalle.edu.co

### Citar así

Pérez-Trejos, Luz Edith; Gómez Salazar, Lessby; Ortiz-Muñoz, Daniela; Arango-Hoyos, Gloria-Patricia. (2022). Efecto de un programa de realidad virtual para mejorar la estabilidad de tronco en lanzadores de bala y jabalina paralímpicos. Un estudio de casos. *Revista de Investigación e Innovación en Ciencias de la Salud*. 4(2), 34-49. <https://doi.org/10.46634/riics.135>

**Recibido:** 13/04/2022

**Revisado:** 17/06/2022

**Aceptado:** 25/08/2022

### Editor

Jorge Mauricio Cuartas Arias, Ph.D. 

### Coeditor

Fraidy-Alonso Alzate-Pamplona, MSc. 

**Copyright** © 2022. Fundación Universitaria María Cano. *La Revista de Investigación e Innovación en Ciencias de la Salud* proporciona acceso abierto a todo su contenido bajo los términos de la licencia [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

## Resumen

**Introducción:** El deporte paralímpico se originó como parte de procesos de rehabilitación para personas que tuvieran discapacidad. Durante la ejecución de las disciplinas paralímpicas el control motor en la región del tronco y en especial del abdomen es de gran importancia para prevenir lesiones y mejorar el registro de la marca deportiva. Son muchas las herramientas utilizadas por los entrenadores deportivos para mejorar la fuerza muscular y por consiguiente la estabilidad de tronco, buscando disminuir el riesgo en el ámbito deportivo. Sin embargo, las investigaciones sobre el uso de realidad virtual, junto con plataformas de estabilometría para el entrenamiento de deportistas paralímpicos con lesiones físicas, son escasas.

**Objetivo:** Establecer el efecto de un programa de entrenamiento del tronco apoyado en realidad virtual en deportistas de alto rendimiento paralímpicos, lanzadores de bala y jabalina con lesiones físicas y que compiten en sillas de lanzamiento.

**Materiales y método:** La investigación fue diseñada como un estudio cuasiexperimental intrasujeto. Se evaluaron cinco sujetos deportistas paralímpicos de alto rendimiento con discapacidad física. Se empleó un software de realidad virtual que incluye patrones y juegos lúdicos ajustables en tiempo e intensidad y una plataforma de bipedestación dinámico como parte del equipo de intervención, ajustable al paciente, que permite reeducar el equilibrio, la propiocepción, fortalecer y lograr el control del tronco. Las variables de análisis fueron el nivel del desplazamiento anteroposterior y lateral del tronco y los cambios en el volumen de acción. Se realizó una evaluación inicial, una intervención que duró de seis semanas y la evaluación final.

**Resultados:** En las evaluaciones iniciales de todos los atletas se observó una tendencia al desplazamiento en sentido posterior. En la evaluación final, los rangos de desplazamiento aumentan en casi todos los sujetos con excepción del sujeto 5, cuyos

#### Declaración de intereses

Los autores han declarado que no hay conflicto de intereses.

#### Disponibilidad de datos

Todos los datos relevantes se encuentran en el artículo. Para mayor información, comunicarse con el autor de correspondencia.

#### Financiamiento

Ninguna. Esta investigación no recibió subvenciones específicas de agencias de financiación en los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

#### Descargo de responsabilidad

El contenido de este artículo es responsabilidad exclusiva de los autores y no representa una opinión oficial de sus instituciones ni de la *Revista de Investigación e Innovación en Ciencias de la Salud*.

#### Contribución de los autores

**Luz Edith Pérez-Trejos:** conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, software, validación, visualización, escritura: borrador original, escritura: revisión y edición.

#### **Lessby Gómez Salazar:**

conceptualización, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración de proyecto, software, supervisión, validación, visualización, escritura: borrador original.

#### **Daniela Ortiz-Muñoz:**

conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, validación, escritura: revisión y edición.

#### **Gloria-Patricia Arango-Hoyos:**

conceptualización, adquisición de fondos, investigación, metodología, supervisión.

valores permanecen casi estables tanto en las evaluaciones iniciales como las finales. La diferencia en el desplazamiento entre la prueba inicial y final en promedio de los participantes fue de 6.26 grados.

**Conclusiones:** los resultados positivos del entrenamiento del tronco apoyado en realidad virtual para los participantes constituyen un aporte al conocimiento sobre el tema y abren la posibilidad de incluir esta tecnología en protocolos de entrenamiento en deporte paralímpico.

### Palabras claves

Estabilidad del tronco; lanzamiento paralímpico; realidad virtual; estabilidad del core; balance postural; control postural.

### Abstract

**Introduction:** Paralympic sport originated as part of rehabilitation processes for people with disabilities. During the execution of Paralympic disciplines, motor control in the trunk region and especially in the abdomen is of great importance to prevent injuries and improve the registration of the sports record. There are many tools used by sports coaches to improve muscle strength and therefore trunk stability to reduce the risk in the sports field. However, research on the use of virtual reality along with stabilometry platforms for the training of Paralympic athletes with physical injuries are scarce.

**Objective:** To establish the effect of a trunk training program supported by virtual reality in high performance Paralympic athletes, shot put and javelin throwers with physical injuries who compete in throwing frames.

**Materials and method:** The research was designed as an intrasubject quasi-experimental study. Five high-performance Paralympic athletes with physical disabilities were evaluated. A virtual reality software that includes patterns and playful games adjustable in time and intensity and a dynamic standing platform were used as part of the intervention equipment, adjustable to the patient, which allows reeducating balance, proprioception, strengthening, and achieving trunk control. The variables of analysis were the level of anteroposterior and lateral displacement of the trunk and changes in the volume of action. An initial evaluation, an intervention that lasted six weeks, and a final evaluation were carried out.

**Results:** In the initial evaluations of all athletes, a tendency towards posterior displacement was observed. In the final evaluation, the displacement ranges increase in almost all subjects except for subject 5, which showed values that remain almost stable in both the initial and final evaluations. The difference in displacement between the initial and final test on average of the participants was 6.26 degrees.

**Conclusions:** the positive results of trunk training supported by virtual reality for the participants constitute a contribution to the knowledge on the subject and open the possibility of including this technology in training protocols in Paralympic sports.

### Keywords

Trunk stability; Paralympic throwing; virtual reality; core stability; postural balance; postural control.

## Introducción

El deporte paralímpico congrega a personas con discapacidad alrededor de un deporte de alto rendimiento, el cual se rige bajo los mismos parámetros del deporte olímpico [1]. Sus orígenes datan desde la segunda guerra como una alternativa para los veteranos de la guerra con lesiones medulares [2]. En los juegos paralímpicos de 2012 se reunieron alrededor de 160 países con más de 4000 atletas con diferentes discapacidades compitiendo en 28 deportes [3]. Algunos de esos deportes son el atletismo de pista y el lanzamiento de jabalina, adaptados para la diversidad de sus atletas, los cuales son clasificados según su patología, el nivel neurológico de la lesión, el control y la fuerza de sus miembros superiores, inferiores y tronco [4] (o según las extremidades que puedan usar). Para el desempeño del deporte, en el caso de los lanzadores de las categorías F54- 57 [5], compiten en una silla especial anclada a la pista de lanzamiento, algunos con posibilidad de utilizar una barra de sujeción, permitiendo entonces que para el gesto deportivo el atleta use principalmente el tronco y las extremidades superiores.

Para poder entender la ejecución del movimiento en el deporte de lanzamiento de jabalina hay que tener en cuenta que, para los atletas sin discapacidad, el lanzamiento de jabalina se puede dividir en dos fases: la de la carrera de aproximación y la entrega (también llamada empuje final o fase de lanzamiento). La primera juega un papel clave en el aumento de la velocidad de lanzamiento de la jabalina, factor importante para determinar la distancia de lanzamiento. Sin embargo, en el caso de los atletas que lanzan desde silla, al tener un uso escaso o nulo de sus extremidades inferiores, el impulso que se transmite al objeto proviene esencialmente del tronco y los miembros superiores [6].

Es por esto que en este tipo de deportistas es importante el uso y el entrenamiento de los músculos del llamado cinturón lumbo-pélvico o Core [7], lo cual ha sido reportado por diversos autores [8,9], con resultados que son corroborados con estudios electromiográficos que evidencian la actividad de los músculos del tronco. Estos últimos preceden a la activación de los músculos de las extremidades, en este caso los miembros superiores, lo que puede interpretarse como una forma de crear una base estable para el movimiento desde la pelvis y la columna vertebral [10]. La literatura reporta que en pacientes con una lesión por encima del nivel medio torácico, quienes carecen de control volitivo de la musculatura del tronco y la cadera, pueden presentar inestabilidad de la columna y un aumento en los riesgos de patologías osteomusculares, como el dolor lumbar, lesiones del manguito rotador y otros problemas crónicos de salud [11,12]. Así mismo, la inestabilidad del tronco puede causar una inclinación pélvica posterior (retroversión) que flexiona considerablemente la columna toraco-lumbar, llevando a la aparición de posturas cifóticas [13] y el acortamiento del brazo de palanca de las extremidades superiores.

En tal sentido, la inestabilidad del tronco parece tener una relación desfavorable con las lesiones deportivas y varios componentes del rendimiento deportivo [14]. Por ejemplo, estudios reportan la eficacia de entrenamiento de la estabilidad del Core en deportistas, para el manejo de problemas como el dolor lumbar o la prevención de lesiones de miembro inferior [15]. Específicamente en el lanzamiento desde silla, Chow y cols. [6] plantean que, debido a los ajustes a las exigencias de la técnica deportiva y la presencia de condiciones de salud que afectan la estabilidad de tronco, debe hacerse un especial énfasis en maximizar el potencial funcional de los movimientos del tronco en la preparación física de los lanzadores paralímpicos, y así optimizar el rendimiento, junto con la prevención de lesiones.

Sin embargo, la valoración y entrenamiento de la estabilidad es una tarea compleja, dado que es el resultado de la interacción de los sistemas sensoriomotor, visual y vestibular [16]. De allí que cada vez tome más auge el uso de herramientas interactivas con ambientes virtuales, conocido como realidad virtual. Esta es una simulación a través de computadoras en la que los gráficos son usados para crear un mundo realista, permitiendo interactividad en tiempo real [17]. La realidad virtual puede ser inmersiva, la cual utiliza medios externos, como cascos, plataformas, gafas, guantes, etc., o puede ser no inmersiva, pues no requiere que el usuario esté completamente centrado en el programa y puede hacer uso de un ratón o teclado [18].

Dichas intervenciones han sido probadas con éxito en procesos de rehabilitación en pacientes con alteraciones neurológicas y musculoesqueléticas, tales como artritis, parálisis cerebral, Párkinson, entre otros [19–21]. En el deporte, esta tecnología de realidad virtual también empieza a ser ampliamente utilizada, especialmente en el ámbito de la recreación y en deportes como el atletismo de carreras, el fútbol, el ciclismo y el remo [22,23]. Sin embargo, son pocos los reportes de estudios en deporte paralímpico y menos aún con intervenciones en lanzadores desde silla.

El presente trabajo, tiene entonces como objetivo describir el efecto que produce una intervención basada en realidad virtual usando la plataforma Thera-Trainer Balance (Thera-Trainer, Hochdorf, Germany), para mejorar la estabilidad de tronco en un grupo de deportistas paralímpicos de alto rendimiento en lanzamiento de jabalina, buscando con ello contribuir a definir su posible uso en esta población.

## Metodología

La investigación se llevó a cabo como un estudio cuasiexperimental intrasujeto, evaluando las condiciones de los participantes antes y después de la intervención. La población inicial fue convocada a través del Centro de Medicina Deportiva de la Liga de Atletismo. Estuvo constituida por siete atletas de altos logros en el lanzamiento de bala y jabalina paralímpico, ubicados en la categoría funcional de F51 a F57 [5], que son aquellos deportistas que compiten en sillas de lanzamiento. En estas clasificaciones, los atletas poseen una discapacidad física como lesión medular a diferentes niveles, amputaciones o acortamientos de las extremidades inferiores. Cada deportista participó de manera voluntaria y firmó el consentimiento informado. La investigación cuenta con la aprobación del Comité de Ética 002-018 de la Universidad del Valle, cumpliendo con las normas de Helsinki.

Las evaluaciones e intervenciones fueron realizadas en el laboratorio de análisis de movimiento de la unidad de medicina deportiva de la Liga de Atletismo de Intervalle de Cali, Colombia. Dado que algunos de los deportistas asistieron a menos del 80% de las sesiones de entrenamiento con realidad virtual, estos fueron excluidos del estudio, quedando al final una muestra de cinco deportistas paralímpicos.

## Instrumentos y métodos

En la evaluación e intervención de la estabilidad de tronco se empleó la plataforma Thera-Trainer Balance (Thera-Trainer, Hochdorf, Germany) que es un bipedestador que se puede ajustar según las necesidades del paciente, facilita la reeducación del equilibrio y el control del tronco [24,25], además de brindar información del desplazamiento del centro de gravedad estático y dinámico durante las pruebas preestablecidas por el equipo, por medio de un sensor de movimiento ubicado en la plataforma. Cuenta con un software Thera – Soft SB Basic que proporciona un entrenamiento mediante realidad virtual, el cual contiene juegos

lúdicos que pueden ser modificados según la necesidad propia de cada deportista (Figura 1). La plataforma se ubica a nivel de la cresta iliaca anterior (como recomienda el fabricante), aunque en los casos de las lesiones medulares más altas se fija la mesa a un nivel que permita que el participante logre tener control del tronco.



**Figura 1.** Interfaz software Thera – Soft SB Basic

El protocolo de evaluación se estandarizó mediante una de las pruebas del software, que consistió en desplazar la plataforma hasta su máxima capacidad en dirección antero-posterior y laterales durante un minuto. El sensor de movimiento registra en el software la información del desplazamiento en una gráfica de plano cartesiano, permitiendo evaluar el desplazamiento del centro de gravedad durante las actividades. Con el propósito de eliminar la ayuda que se puede obtener de los miembros superiores, se les solicitó a los deportistas cruzar los brazos en la parte anterior del tronco, para llevar a cabo la prueba.

Para definir los tiempos, la frecuencia, la duración de las sesiones y el tipo de ejercicios, se realizó una revisión bibliográfica a partir de la cual se determinó realizar el siguiente protocolo de intervención: seis semanas, tres sesiones semanales de 45 minutos cada una [26,27]. Se utilizaron todos los ejercicios incluidos en el software Thera soft. Se ajustó la resistencia mecánica de la plataforma al 50% para las evaluaciones iniciales y se fue incrementando a medida que fueron avanzando en las intervenciones.

Se realizaron también evaluaciones iniciales que constaron de tres repeticiones de cada actividad determinada, para favorecer el efecto de aprendizaje y la interacción con el software y así se estableció la línea de base, para así realizar una evaluación final. El software genera los resultados en forma de PDF, en el que se puede evidenciar un informe con las gráficas de los desplazamientos, para analizarlos posteriormente de forma descriptiva, según las diferencias en los registros gráficos de las evaluaciones iniciales y finales.

Como una variable adicional, a cada deportista se le evaluó la estabilidad de tronco antes y después de la intervención, a partir del volumen de acción en sedente [28], el cual evalúa el máximo desplazamiento del tronco en dirección antero-posterior y lateral en una silla sin respaldo, y se emplea como referente funcional en el deporte paralímpico [29]. Aunque la escala tiene parámetros cualitativos de valoración (Tabla 1), para este estudio el desplazamiento del tronco también se midió en grados, a partir de videografía.

**Tabla 1. Escala de valoración del Volumen de Acción, según la IWBF [30]**

Clasificación IWBF basada en la función	
Clasificación	Función
1.0	<ul style="list-style-type: none"><li>• Poco o ningún movimiento controlado del tronco en el plano frontal</li><li>• El equilibrio en las direcciones frontal y lateral está significativamente afectado</li><li>• Los jugadores necesitan sus brazos para volver a la posición vertical (inicial)</li></ul>
2.0	<ul style="list-style-type: none"><li>• Movimiento del tronco parcialmente controlado en el plano frontal</li><li>• Ningún movimiento controlado del tronco en el plano lateral</li></ul>
3.0	<ul style="list-style-type: none"><li>• Buen movimiento del tronco en el plano frontal</li><li>• Ningún movimiento controlado del tronco en el plano lateral</li></ul>
4.0	<ul style="list-style-type: none"><li>• Movimientos normales del tronco, pero generalmente el jugador tiene dificultad con el movimiento controlado hacia un lado</li></ul>
4.5	<ul style="list-style-type: none"><li>• Movimientos normales del tronco en todas las direcciones</li><li>• Capaz de inclinar el tronco hacia un lado u otro sin limitaciones</li></ul>

**Nota.** Hay situaciones en que un jugador no parece encajar perfectamente en una clase, presentando características de dos o más clases. En este caso el clasificador puede atribuir al jugador una clasificación de medio punto, 1.5, 2.5 o 3.5. Esto generalmente se hace solo cuando al jugador no se le puede asignar una clase definida, y no debe considerarse como la primera opción para el clasificador.

## Resultados

Luego de aplicar los criterios de inclusión o de exclusión, la población analizada estuvo constituida por cinco atletas de altos logros de la Selección Valle, Colombia, participantes en el lanzamiento de jabalina paralímpico. Tres deportistas presentan antecedentes de trauma raquímedular; los otros dos, afectaciones del miembro inferior. A continuación, se presentan las características demográficas y clínicas de los deportistas participantes en el estudio (Tabla 2).

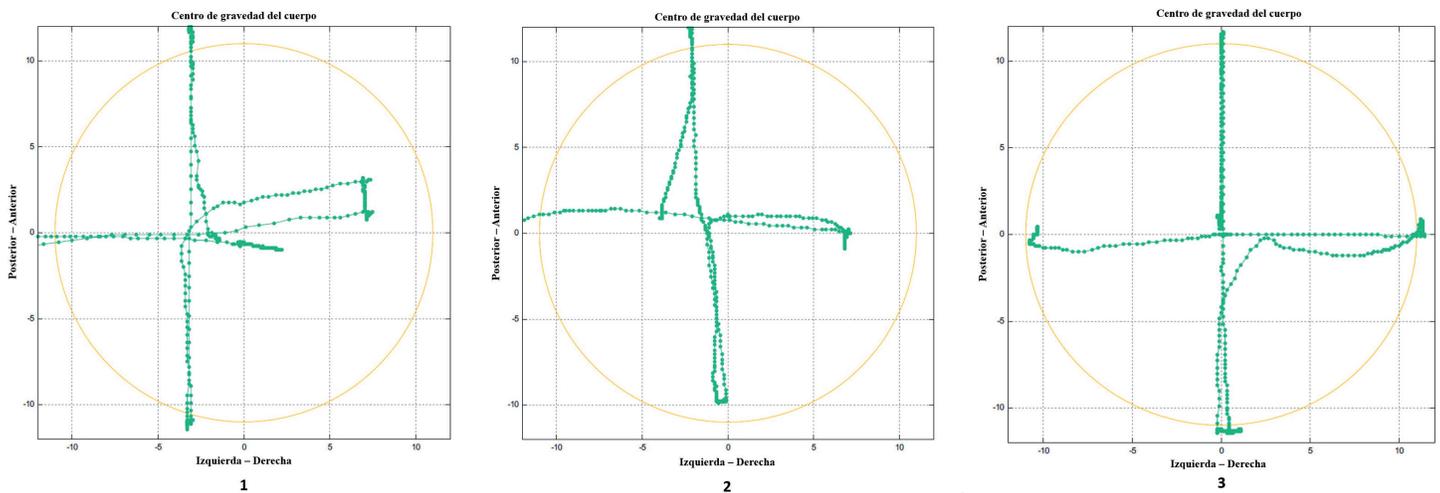
**Tabla 2. Características demográficas y clínicas de los deportistas**

Sujetos	Edad (años)	Género	Mecanismo de lesión	Secuelas de la lesión	Tiempo de evolución (años)	Clasificación médico funcional
Sujeto 1	47	Masculino	Accidente traumático	Trauma Raquimedular T4	10	F54
Sujeto 2	33	Masculino	Accidente traumático	Trauma raquimedular T4	10	F54
Sujeto 3	35	Femenino	Accidente traumático	Trauma raquimedular T11	8	F55
Sujeto 4	25	Femenino	Patología congénita	Acortamiento de fémur 10 cm	25	F57
Sujeto 5	45	Masculino	Accidente traumático	Amputación transtibial	38	F57

Como se mencionó previamente en este documento, los sujetos fueron evaluados antes y después de las sesiones de intervención en la plataforma estabilométrica (Figura 2). El software arroja de forma automática unos resultados gráficos que permiten analizar los datos obtenidos durante las sesiones (Figura 3). Posteriormente, los resultados finales fueron graficados según el desplazamiento máximo que logró cada deportista, tanto en dirección lateral como anteroposterior y el valor promedio de desplazamiento, para identificar la tendencia al movimiento en un sentido en particular (Figuras 4 y 5).

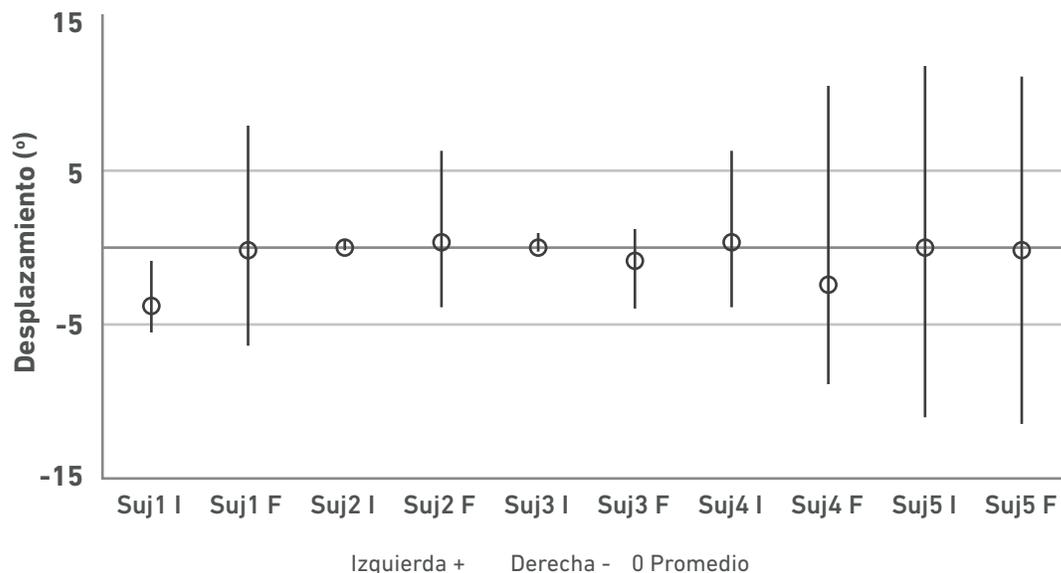


**Figura 2.** Imágenes entrenamiento con el Thera-Trainer Balance



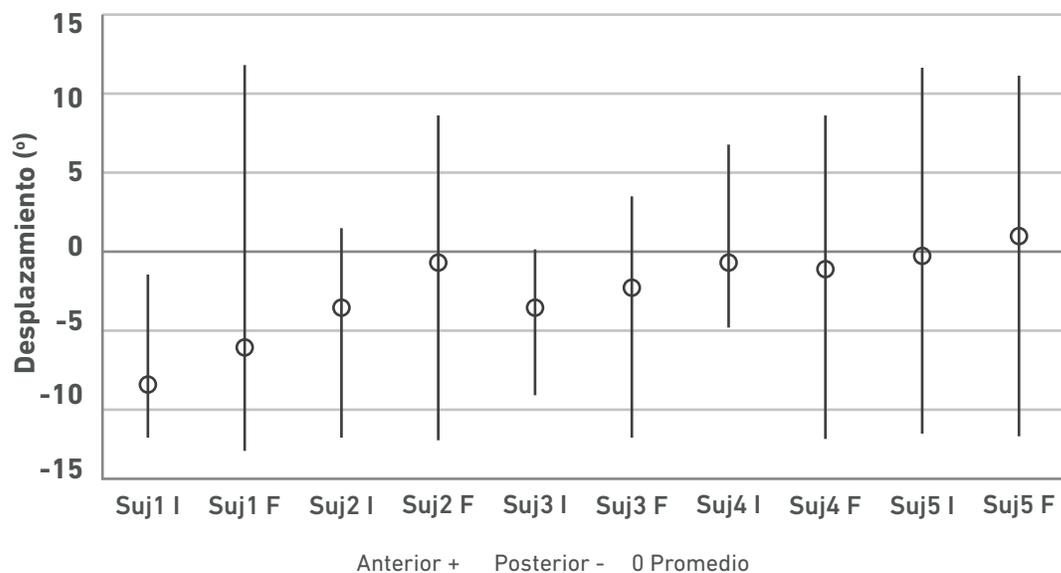
**Figura 3.** Evaluaciones paralímpicas escaladas.

**Nota.** Gráficas del informe arrojado por el software de la evaluación 1 (repeticiones 1, 2 y 3)



**Figura 4.** Desplazamiento del CG en sentido lateral (derecho-izquierdo), antes y después de la intervención

**Nota. I:** Inicial; F: Final



**Figura 5.** Desplazamiento del CG en sentido antero-posterior, antes y después de la intervención.

**Nota. I:** Inicial; F: Final

En las pruebas iniciales es posible evidenciar un rango de desplazamiento menor en los deportistas sin lesión medular (sujetos 4 y 5) en comparación con los otros deportistas. Sin embargo, se aprecia una mayor dificultad para desplazar el centro de gravedad (CG) en sentido lateral que en sentido antero-posterior. En todos se observa una tendencia al desplazamiento en sentido posterior.

En la evaluación final, el rango de desplazamiento aumenta en casi todos los sujetos (Tabla 3), con excepción del sujeto 5, cuyos valores permanecen casi estables tanto en las evaluaciones iniciales como en las finales. La diferencia en el desplazamiento entre la prueba inicial y final en promedio de los participantes fue de 6.26 grados. Los sujetos 2 y 4 fueron los que presentaron los mayores cambios en sentido derecho-izquierdo y los sujetos 1 y 4 en sentido antero-posterior.

**Tabla 3. Valores totales de desplazamiento y diferencias entre evaluaciones inicial y final**

Sujeto	Prueba	Desplazamiento derecha-izquierda			Desplazamiento antero-posterior		
		Total* (grados)	Diferencia Inicial-Final	Promedio	Total* (grados)	Diferencia Inicial-Final	Promedio
1	Inicial	6.13	8.20	6.26	13.25	11.12	6.78
	Final	14.33			24.37		
2	Inicial	0.47	9.69		12.87	7.57	
	Final	10.16			20.44		
3	Inicial	1.01	4.11		8.99	6.06	
	Final	5.11			15.04		
4	Inicial	9.86	9.25		11.38	8.82	
	Final	19.11			20.21		
5	Inicial	21.46	0.06		21.66	0.34	
	Final	21.52			22.00		

**Nota.** \* Valores de magnitud total de desplazamiento, sin tener en cuenta su dirección.

Con relación al control de tronco medido a través del volumen de acción, los cambios fueron menos evidentes en términos cuantitativos, ya que no se presentó mayor variación en los resultados evaluados desde la valoración inicial y la final, pues los sujetos 4 y 5 mantuvieron el máximo puntaje de la escala de calificación, mientras que en los sujetos 1, 2 y 3, los cuales presentan lesión medular, la valoración cualitativa final incrementó su valor en relación a la inicial. Solo el sujeto 3 presentó cambios en los grados de desplazamiento del tronco en flexión y en inclinaciones laterales (Tabla 4).

**Tabla 4. Cambios en el volumen de acción, antes y después de la intervención**

Deportista	Volumen de acción							
	Flexión		Extensión		Inclinaciones laterales		Clasificación IWBF	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Sujeto 1	20°	20°	20°	20°	20°	20°	1.5	2.5
Sujeto 2	20°	20°	20°	20°	20°	20°	1.0	2.0
Sujeto 3	20°	40°	40°	40°	40°	60°	3.0	4.0
Sujeto 4	60°	60°	60°	60°	60°	60°	4.5	4.5
Sujeto 5	60°	60°	60°	60°	60°	60°	4.5	4.5

## Discusión

El rol de la estabilidad del tronco en el rendimiento deportivo es controversial, debido a que se conoce poco sobre su relación directa. Sin embargo, numerosos investigadores consideran que una adecuada estabilidad del tronco previene lesiones y posibilita un mejor desempeño deportivo, siendo más evidente en algunas disciplinas deportivas como los lanzamientos [31,32]. De allí que los entrenadores deban buscar siempre las mejores estrategias para el logro del máximo nivel posible de estabilidad en este segmento corporal.

En las evaluaciones iniciales llevadas a cabo en los cinco deportistas paralímpicos, cuatro de ellos muestran deficiencias en el control de tronco y solo uno completa el rango de movimiento exigido por la plataforma, aun cuando el nivel de exigencia de la prueba fue graduada para todos al 50% de la máxima resistencia que ofrece el Thera Trainer Balance. Aunque, como era de esperarse, los deportistas con lesión medular fueron los que obtuvieron los peores resultados, sí llama la atención que la deportista que presentaba problemas de acortamiento de una extremidad tuviera dificultades para completar la prueba.

En las personas con lesión medular torácica, en dependencia del nivel de lesión, se presentan afectaciones en el control motor de algunos o todos los músculos del tronco, lo que puede generar como consecuencia la incapacidad o dificultad para sentarse sin apoyo, mantenerse de pie, caminar o hacer transiciones de movimiento [33]. En los deportistas 1, 2 y 3 de esta investigación no solo se presentan antecedentes de lesión traumática en espina dorsal, sino que también existe un prolongado tiempo de evolución de la patología (mayor a ocho años), que daba para pensar que los cambios en el control postural posteriores al desarrollo del programa de ejercicios propuestos fueran mínimos. Sin embargo, contrario a ello, en los tres sujetos se evidenciaron importantes mejoras en el desplazamiento de tronco, lo cual es posible explicar desde la existencia de una plasticidad neuromuscular que permite que en individuos con lesión medular se generen nuevas sinergias musculares cuando el paciente es sometido a entrenamientos multidireccionales, ejecutados de forma repetitiva [34]. Adicional a los resultados ya mencionados, los deportistas manifestaron que el mejor efecto para ellos fue el poder mantenerse de pie durante las sesiones, así como la disminución de la espasticidad y el clonus asociados a su patología.

Como se mencionó previamente, la deportista 4, que presentaba un acortamiento del miembro inferior, evidenció dificultades para realizar el movimiento del tronco, especialmente en sentido lateral. Esto puede sugerir que más allá de las limitaciones físicas que afectan directamente la columna, como en el caso de los lesionados medulares, existen otros factores que pueden generar un pobre balance muscular, tales como la fatiga por sobreuso, los antecedentes de lesión muscular o articular, la falta o desequilibrios de la fuerza muscular por desuso o inadecuadas técnicas de entrenamiento, entre otras [35]. Estos factores deben considerarse dentro de la evaluación y seguimiento de la condición física de los deportistas. Al finalizar las sesiones de entrenamiento, la deportista mejoró su desempeño, sin que al final lograra alcanzar el valor máximo en la prueba. Durante la ejecución de las actividades virtuales, cada deportista debía vencer una resistencia generada por la plataforma, llevando a reclutamiento de fibras y activación muscular del Core, lo que puede explicar el mejoramiento de la estabilidad de tronco reflejado en los desplazamientos registrados por el software [31].

Por otro lado, con relación a los datos obtenidos, se aprecia una tendencia a la extensión del tronco en todos los participantes, aunque más evidente en los deportistas con lesión medular. Si bien esto puede explicarse desde la falta de fuerza abdominal para llevar el tronco hacia

adelante, el diseño de la plataforma de bipedestación facilita que los sujetos puedan dejar caer el cuerpo hacia atrás sin participación incluso de la musculatura extensora del tronco.

Con relación a los métodos de entrenamiento para mejorar la estabilidad del tronco, se considera que estos deben incluir estrategias tanto para entrenar cognitivamente como para mejorar la entrada sensorial de la musculatura del tronco [36]. Además, se deben tener en cuenta otros aspectos que puedan influir directamente en el rendimiento deportivo, como aspectos sociales, emocionales y clínicos de cada deportista [37]. En el caso de la utilización de una plataforma de bipedestación apoyada en realidad virtual, se ha demostrado que, para los deportistas intervenidos, puede generar buenos resultados, como consecuencia de la exigencia impuesta por la postura bípeda, la variedad de ejercicio que integran amplitud de movimiento, velocidad de reacción y precisión, así como la posibilidad de graduar el nivel de complejidad de manera individualizada. Todo ello resulta en una actividad altamente exigente y motivante para su ejecución.

Si bien Vera- García [38] menciona que no existe claridad sobre la frecuencia e intensidad de las sesiones de ejercicio para el trabajo de estabilidad del tronco, la estructura de tres sesiones semanales de media hora durante seis semanas, elegida para esta investigación, parece generar buenos resultados. Sin embargo, dada la pequeña muestra de participantes, se requiere ampliar la intervención en más sujetos y así obtener mejores evidencias.

La transferencia del entrenamiento para mejorar la estabilidad a las actividades de la vida diaria o el deporte es un tema controversial [39]. En el caso de esta investigación, la evaluación del volumen de acción pretendió tener un acercamiento a las condiciones del lanzamiento desde silla. Como se observó, la ganancia en la amplitud del movimiento en la plataforma no necesariamente se transfirió al volumen de acción. Sin embargo, la clasificación cualitativa sí mejoró en algunos deportistas.

## Conclusiones

Los resultados permitieron evidenciar el efecto positivo del entrenamiento apoyado en realidad virtual para la estabilidad de tronco de los participantes en esta investigación, además de obtener otros beneficios a través de la bipedestación, como la disminución de algunas alteraciones asociadas a su patología. La investigación constituye un importante aporte al conocimiento sobre el tema. Asimismo, abre la posibilidad de incluir el uso de esta tecnología como parte de los protocolos de entrenamiento en esta población.

### Puntos destacados:

- Los resultados evidencian la posibilidad del uso de plataformas de estabilidad y software de realidad virtual para mejorar el control motor de tronco.
- La plataforma estabilométrica puede considerarse una buena herramienta para la intervención en pacientes con lesión medular
- El uso de realidad virtual y plataformas de estabilidad podría incluirse como parte de los entrenamientos habituales en deportistas con discapacidad y otras poblaciones similares.

## Referencias

1. Ruiz S. Deporte paralímpico: una mirada hacia el futuro. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 2012;15:97–104. doi: <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.nsup.2012.897>
2. Legg D. Paralympic Games: History and Legacy of a Global Movement. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America* [Internet]. 2018 May 1;29(2):417–25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2018.01.008>
3. Morriën F, Taylor MJD, Hettinga FJ. Biomechanics in Paralympics: Implications for Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [Internet]. 2017 May 1;12(5):578–89. doi: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0199>
4. Reina R, Vilanova-períz N. Guía sobre clasificación de la discapacidad en deporte paralímpico. En: Limencop SL, editor. España; 2016. p. 31–37.
5. Moya Cuevas RM. Deporte adaptado. España: Ceapat-Imsero; 2014 Sep 14. Disponible en: <http://riberdis.cedid.es/handle/11181/5025>
6. Chow JW, Kuenster AF, Lim Y tae. Kinematic analysis of javelin throw performed by wheelchair athletes of different functional classes. *J Sports Sci Med*. 2003;2(2):36. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3938047/>
7. Wirth K, Hartmann H, Mickel C, Szilvas E, Keiner M, Sander A. Core Stability in Athletes: A Critical Analysis of Current Guidelines. *Sports Medicine*. 2016 Jul 30;47(3):401–14. doi: <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0597-7>
8. Ghasempoor KH, Rahnama N, Bagherian S, Wikstrom EA. P18 The effect of core stability training on functional movement patterns in collegiate athletes. *BMJ Publishing Group Ltd and British Association of Sport and Exercise Medicine*; 2017. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-anklesymp.50>
9. Manchado C, García-Ruiz J, Cortell-Tormo JM, Tortosa-Martínez J. Effect of core training on male handball players' throwing velocity. *J Hum Kinet*. 2017;56(1):177–85. doi: <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0035>
10. Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med*. 2007;35(7):1123–30. doi: <https://doi.org/10.1177/0363546507301585>
11. Lema CPH, Parra JEP. Lesiones medulares y discapacidad: revisión bibliográfica. *Aquichan*. 2010;10(2):157–72. doi: <https://doi.org/10.5294/aqui.2010.10.2.5>
12. Bjerkefors A, Squair JW, Chua R, Lam T, Chen Z, Carpenter MG. Assessment of abdominal muscle function in individuals with motor-complete spinal cord injury above T6 in response to transcranial magnetic stimulation. *J Rehabil Med*. 2015;47(2):138–46. doi: <https://doi.org/10.2340/16501977-1901>
13. Triolo RJ, Bailey SN, Lombardo LM, Miller ME, Foglyano K, Audu ML. Effects of intramuscular trunk stimulation on manual wheelchair propulsion mechanics in 6 subjects with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2013;94(10):1997–2005. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.04.010>

14. Hides JA, Stanton WR. Can motor control training lower the risk of injury for professional football players? *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2014;46(4):762–8. doi: <https://doi.org/10.1249/MSS.000000000000169>
15. De Blaiser C, Roosen P, Willems T, Danneels L, Bossche L Vanden, De Ridder R. Is core stability a risk factor for lower extremity injuries in an athletic population? A systematic review. *Physical therapy in sport*. 2018;30:48–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2017.08.076>
16. Nesser TW, Lee WL. The relationship between core strength and performance in division i female soccer players. *J Exerc Physiol Online*. 2009;12(2):1750-4. doi: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181874564>
17. Martínez FJP. Presente y Futuro de la Tecnología de la Realidad Virtual. *Creatividad y sociedad*. 2011;16:1-39. Disponible en: <https://pdfslide.tips/technology/presente-y-futuro-de-la-tecnologia-de-la-realidad-virtual.html?page=1>
18. Aznar Díaz I, Romero-Rodríguez JM, Rodríguez-García AM. La tecnología móvil de Realidad Virtual en educación: una revisión del estado de la literatura científica en España. 2018;7(1):256-274. doi: <https://doi.org/10.21071/edmetic.v7i1.10139>
19. Shahmoradi L, Almasi S, Ahmadi H, Bashiri A, Azadi T, Mirbagherie A, et al. Virtual reality games for rehabilitation of upper extremities in stroke patients. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2021 Apr 1;26:113–22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.10.006>
20. Choi YH, Paik NJ. Mobile Game-based Virtual Reality Program for Upper Extremity Stroke Rehabilitation. *J Vis Exp [Internet]*. 2018 Mar 8;2018(133). doi: <https://doi.org/10.3791/56241>
21. Feng H, Li C, Liu J, Wang L, Ma J, Li G, et al. Virtual Reality Rehabilitation Versus Conventional Physical Therapy for Improving Balance and Gait in Parkinson's Disease Patients: A Randomized Controlled Trial. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research [Internet]*. 2019;25:4186. doi: <https://doi.org/10.12659/MSM.916455>
22. Neumann DL, Moffitt RL, Thomas PR, Loveday K, Watling DP, Lombard CL, et al. A systematic review of the application of interactive virtual reality to sport. *Virtual Reality*. 2018;22(3):183–98. doi: <https://doi.org/10.1007/s10055-017-0320-5>
23. de Araújo AVL, Neiva JFDO, Monteiro CBDM, Magalhães FH. Efficacy of Virtual Reality Rehabilitation after Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *BioMed Research International*. 2019;. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/7106951>
24. Fasola J, Kannape OA, Bouri M, Bleuler H, Blanke O. Error Augmentation Improves Visuomotor Adaptation during a Full-Body Balance Task. In: 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE; 2019;1529–33. doi: <https://doi.org/10.1109/embc.2019.8857523>

25. Chisholm DH, Ferrer BC, Domínguez NMC, Fuentes YP, Perdomo VC, Castillo YS. Protocolo de actuación de los equipos Thera Trainer en trastornos de equilibrio, postura y marcha del adulto mayor. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*. 2017;9(1):1–14. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=75117>
26. Killane I, Fearon C, Newman L, McDonnell C, Waechter SM, Sons K, et al. Dual motor-cognitive virtual reality training impacts dual-task performance in freezing of gait. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2015;19(6):1855–61. doi: <https://doi.org/10.1109/JBHI.2015.2479625>
27. Peruzzi A, Cereatti A, Della Croce U, Mirelman A. Effects of a virtual reality and treadmill training on gait of subjects with multiple sclerosis: a pilot study. *Mult Scler Relat Disord*. 2016;5:91–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msard.2015.11.002>
28. Commission IPC. A Guide to the IWBF Functional Classification System for Wheelchair Basketball Players. Ontario: International Paralympic Committee ; 2004.
29. Gustavo de Souza Pena L, Barra Danyau C, Fernández M, Gustavo Teixeira Fabrício dos Santos L, Paulo Casteleti de Souza J, Luarte Rocha C, et al. Limitaciones y Posibilidades en el Entrenamiento del Baloncesto en Silla de Ruedas. *Revista Peruana de ciencia de la actividad física y del deporte* [Internet]. 2020 Jun 14 [cited 2022 Aug 18];7(4):9–9. Disponible en: <https://rpcafd.com/index.php/rpcafd/article/view/117/163>
30. de Souza Pena LG, Danyau CB, Fernández M, dos Santos LGTF, Casteletti JP, Rocha CL, et al. Limitaciones y Posibilidades en el Entrenamiento del Baloncesto en Silla de Ruedas. *Revista Peruana de ciencia de la actividad física y del deporte*. 2020;7(4):9. Disponible en: <https://rpcafd.com/index.php/rpcafd/article/view/117>
31. Reed CA, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. The effects of isolated and integrated ‘core stability’ training on athletic performance measures. *Sports medicine*. 2012;42(8):697–706. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03262289>
32. Saeterbakken AH, Van den Tillaar R, Seiler S. Effect of core stability training on throwing velocity in female handball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011;25(3):712–8. doi: <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181cc227e>
33. Harvey L. Management of Spinal Cord Injuries E-Book: A Guide for Physiotherapists. Amsterdam: Elsevier Health Sciences; 2008.
34. Milosevic M, Yokoyama H, Grangeon M, Masani K, Popovic MR, Nakazawa K, et al. Muscle synergies reveal impaired trunk muscle coordination strategies in individuals with thoracic spinal cord injury. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2017;36:40–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2017.06.007>
35. Larson DJ, Brown SHM. The effects of trunk extensor and abdominal muscle fatigue on postural control and trunk proprioception in young, healthy individuals. *Hum Mov Sci*. 2018;57:13–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.10.019>

36. Zazulak B, Cholewicki J, Reeves PN. Neuromuscular control of trunk stability: clinical implications for sports injury prevention. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2008;16(8):497–505. doi: <https://doi.org/10.5435/00124635-200809000-00002>
37. Rojas A, Fernando J. Entrenamiento en alto rendimiento deportivo: desde las percepciones de los atletas paralímpicos [Trabajo de grado]. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional; 2019.
38. Vera-García FJ, Barbado D, Moreno-Pérez V, Hernández-Sánchez S, Juan-Recio C, Elvira JLL. Core stability: evaluación y criterios para su entrenamiento. *Rev Andal Med Deport*. 2015;8(3):130–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2014.02.005>
39. Anderson K, Behm DG. The impact of instability resistance training on balance and stability. *Sports medicine*. 2005;35(1):43–53. doi: <https://doi.org/10.2165/00007256-200535010-00004>