

# Empleo de sistemas de realidad virtual sobre la extremidad superior en niños con parálisis cerebral

## Revisión de la literatura científica

M.I. Díez-Alegre (a)  
E. Muñoz-Hellín (b)

- (a) *Unidad de Fisioterapia, Centro de Referencia Estatal para la Atención a Personas con Grave Discapacidad y para la Promoción de la Autonomía Personal y Atención a la Dependencia dependiente del Instituto de Mayores y Servicios Sociales (IMERSO), San Andrés del Rabanedo, León, España.*
- (b) *Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Rey Juan Carlos (URJC), Alcorcón, Madrid, España.*

# Empleo de sistemas de realidad virtual sobre la extremidad superior en niños con parálisis cerebral

## Revisión de la literatura científica

M.I. Díez-Alegre y E. Muñoz-Hellín

### **PALABRAS CLAVE:**

Realidad virtual; Extremidad superior; Aprendizaje motor; Parálisis cerebral

### **Resumen:**

El objetivo fue refisar la efectividad del empleo de los sistemas de realidad virtual (RV) en la mejora de la funcionalidad del miembro superior en niños con parálisis cerebral, mediante una revisión de la literatura científica.

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las principales bases de datos desde 2005 a 2011. Se evaluó el nivel de evidencia científica y el grado de recomendación mediante la Escala Modificada de Marzo y Viana.

Los resultados sugieren mejoras en la funcionalidad de la extremidad superior, la cinemática de alcance, la calidad de movimiento, la movilidad activa, la motricidad fina, así como en determinadas actividades básicas de la vida diaria.

Sin embargo, las limitaciones metodológicas de los estudios incluidos justifican una lectura cuidadosa de los resultados. Por ello, es fundamental abrir nuevas líneas de investigación comparando el empleo de RV con otros métodos específicos de intervención de fisioterapia neurológica.

*Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.*

## Introducción:

La parálisis cerebral (PC) se define como un grupo de trastornos no progresivos que cursan con deterioro de la postura y del movimiento, ocasionados por una alteración en el desarrollo del sistema nervioso central (SNC) que puede ocurrir intraútero, durante el parto o en los 2 primeros años de vida (1, 2). La PC es la causa más frecuente de discapacidad física en la infancia (3). No se conoce con exactitud la incidencia y prevalencia de la PC en el mundo (4). Algunos datos indican que la prevalencia globalmente podría encontrarse entre 2-3 casos por cada 1.000 nacidos vivos (3, 5). En Europa la prevalencia es de 2,12 a 2,45 por cada 1.000 nacimientos, siendo mayor en las poblaciones con bajo nivel socioeconómico, y varía según el tipo de PC (6). En España se ha prestado escasa atención a la epidemiología de la PC (7).

La PC constituye un problema de primera magnitud debido a su cronicidad y a las implicaciones médicas, sociales y educativas asociadas(8). En el año 2003 en Estados Unidos se estimó que los costes directos (revisiones médicas, ingresos hospitalarios, servicios de asistencia y adaptación de la vivienda) e indirectos (repercusión en la productividad laboral) derivados de la PC ascendían a 11.500 millones de dólares (8, 9). Las limitaciones en la funcionalidad y en la calidad de vida de los pacientes precisan un tratamiento neurorrehabilitador durante toda la vida (10), y en consecuencia existe la necesidad de buscar estrategias de tratamiento de menor coste y con mayor efectividad.

Es frecuente la pérdida de la funcionalidad de la extremidad superior en tareas como el alcance, la prensión y la manipulación en la PC (11). La valoración de la discapacidad exigirá la utilización de sistemas estandarizados, siendo el entrenamiento del miembro superior (MS) un objetivo terapéutico esencial en el programa neurorrehabilitador. Entre los diversos enfoques de

tratamiento neurorrehabilitador, el empleo de los sistemas de realidad virtual (RV) es una apuesta novedosa (12).

La RV consiste en la simulación de un entorno real generado por ordenador en la que, a través de una interfaz hombre-máquina, se va a permitir al usuario interactuar con ciertos elementos dentro de un escenario simulado (13). Las características que definen los sistemas de RV con la interacción y la inmersión (14). La interacción es definida cuando la actividad se caracteriza porque la persona interactúa con el mundo virtual en tiempo real, mientras que la inmersión es considerada como la sensación que tiene la persona de encontrarse físicamente en un entorno virtual. Los sistemas de RV empleados en el ámbito de neurorrehabilitación pueden ser clasificados en 3 tipos. En primer lugar, los sistemas inmersivos que están ligados a un entorno virtual generado por un ordenador, en el cual el sujeto interactúa a través de un hardware, mediante guantes de datos (CyberGlove®), cascos de visualización estereoscópica (Head Mounted Displays®), pantallas, cabinas o cuevas virtuales (15). Los sistemas más utilizados son el IREX® y HEAD MOUNTED DISPLAYS®.

Por otra parte, también existen dispositivos que utilizan robots para generar interacción entre el usuario y la RV, denominados sistemas hápticos, donde se incluirán NJIT-RAVR®, GENTLE-R®, MIT-Manus®, PneuWERX®, RUTGER MASTER II-ND® y DATA GLOVES®, que proporcionan efectos hápticos mediante el entrenamiento de la extremidad superior en un entorno virtual (16). Y finalmente, los sistemas no inmersivos donde la interacción con el entorno virtual se realiza mediante un teclado, mando o ratón sin que se precise de otro tipo de hardware o periférico adicional conectado al ordenador. Se diferencian de los anteriores por su bajo coste y por no precisar de otros dispositivos o hardware adicionales al propio ordenador, como serían los sistemas Wii® (Nintendo), Playstation® (Sony) y Xbox® (Microsoft).

La RV es una herramienta de entrenamiento en diversas enfermedades neurológicas, estando además en la línea de trabajo del aprendizaje motor orientado a la tarea, donde la repetición, el feedback y la motivación son elementos clave del trabajo terapéutico (17). La repetición, basada en una sistematología de mejora de la actividad del gesto y por ende del control motor subyacente ligada a un feedback sensorial (18), es un aspecto esencial en la adquisición de destrezas motrices en los pacientes neurológicos, en la mejora de la ejecución de tareas funcionales. Otro aspecto a tener en cuenta es la motivación (19) y el grado de implicación del paciente en el tratamiento, siendo descrita la terapia mediante RV como amena y atractiva para los

pacientes. Es importante también destacar la transferencia del aprendizaje a tareas cotidianas con este tipo de entrenamiento (20).

Actualmente, la RV es una apuesta novedosa en el campo de la neurorrehabilitación al objeto de mejorar las habilidades motrices del MS. La mayoría de las investigaciones publicadas en la literatura científica se centran en sujetos adultos con ACV, existiendo sistemas de realidad virtual que se han desarrollado específicamente para la rehabilitación de la extremidad tras un ACV(21,22), así como para pacientes con lesión medular, esclerosis múltiple y enfermedad de Parkinson, siendo menos numerosos los estudios en niños con PC.

El objetivo del presente estudio fue revisar la literatura científica acerca de la efectividad del empleo de los sistemas de RV sobre la funcionalidad del MS en niños con PC.

## **Estrategia de búsqueda**

Se realizó una búsqueda bibliográfica entre los años 2005 y 2011 en las bases de datos Tripdatabase, Cochrane Library Plus, Pubmed (Medline), CINHAl, ISI web of Knowledge y PEDro. Las palabras clave utilizadas fueron: *cerebral palsy*, *virtual reality*, *upper limb and motor learning*, siendo combinadas con distintos operadores booleanos. Cuando fue posible, se utilizaron límites de búsqueda como estudios de tipo *clinical trial* o *randomized controlled trial*. Solo se tuvieron en cuenta los artículos escritos en lengua española e inglesa.

## **Selección de estudios**

Para que los estudios encontrados fueran incluidos en la presente revisión se establecieron como criterios de selección los siguientes:

### ***Tipo de participantes***

Se incluyeron estudio con niños con diagnóstico de PC de edades comprendidas entre 4 y 16 años.

### ***Tipo de intervención***

Se buscaron ensayos donde la intervención consistiese en el empleo de sistemas de RV, como herramienta terapéutica en la extremidad superior.

### ***Tipos de medidas de resultados***

Las variables del resultados fueron escalas de valoración de la funcionalidad de la extremidad superior estandarizadas y validadas como el Test de Jebsen Taylor<sup>(23)</sup>, *Quality of Upper Extremity Skills* (QUEST)<sup>(24)</sup>, *Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function Test* (MAUULF)<sup>(25)</sup> y el *Pediatric Motor Activity Log questionnaire* (PMAL)<sup>(26)</sup>, entre otras. Asimismo, fueron incluidos estudios en los que se realizó un análisis cinemático de los MMSS mediante sistemas instrumentales.

### ***Tipos de estudios***

Ensayos clínicos aleatorizados (ECA) y estudios de casos pre y postintervención que comparasen el entrenamiento de la extremidad superior, mediante el empleo de dispositivos de RV, con el tratamiento convencional o la aplicación de no tratamiento.

No se incluyeron otras revisiones sistemáticas y metanálisis en la presente revisión. Como medida de selección de los artículos incluidos en la presente revisión de la literatura científica, dos investigadores de manera independiente revisaron los estudios potencialmente de interés para el presente trabajo. Así, un investigador realizó un primer cribado de los títulos y los resúmenes de las búsquedas electrónicas y, en función de su contenido, decidió qué estudios podían cumplir potencialmente los criterios de elección y, para analizar este punto, se procedió a obtener los trabajos completos. Un

segundo investigador realizó el *screening* de todos los trabajos completos, recuperados para comprobar su relevancia y cualquier desacuerdo acerca de la elección de los estudios fue dirimido por un tercer investigador. Los trabajos definitivamente consensuados se clasificaron en función de los objetivos planteados en los mismos.

Se realizó una metodología estandarizada de extracción de la información para con cada estudio, mediante la cual se determinó cada uno de los componentes de la pregunta clínica, en formato PICO, de acuerdo con la *Consolidated Standards of Reporting Trials statement (CONSORT)*<sup>(27)</sup>. De cada trabajo fue extraída la siguiente información: *criterios de inclusión y exclusión, diseño metodológico, aleatorización* (si era aplicable), *descripción del estudio, cegamiento* (si era aplicable), *medidas de resultado, descripción de la intervención terapéutica y resultados*.

Se evaluó el nivel de evidencia científica y el grado de recomendación mediante la Escala Modificada de Marzo y Viana<sup>(28)</sup> (tabla 1).

## Síntesis de resultados

### Resultados principales

El número inicial de trabajos encontrados fue de 197, de los cuales se excluyeron 189. El diagrama de flujo puede visualizarse en la figura 1.

Se analizaron en detalle un total de 8 artículos, con 70 pacientes. La edad media de los participantes estuvo comprendida entre 4 y 16 años, mientras que el sexo estaba determinado por 48 niños y 22 niñas. Los resultados principales de los estudios se muestran en la tabla 2.

Siete estudios incluidos en la presente revisión bibliográfica mostraron mejorías clínicas en la funcionalidad de la extremidad superior<sup>(29-36)</sup>, relacionadas con la mejora de la cinemática de alcance<sup>(31-33)</sup>, la calidad del

movimiento<sup>(32)</sup>, así como beneficios en la movilidad activa<sup>(32-34)</sup> de flexión, abducción de hombro y supinación. También los estudios observaron una disminución del tiempo empleado<sup>(32, 33)</sup> para realizar los movimientos, así como mejoras tanto en la motricidad fina<sup>(31, 35)</sup>, como en determinadas actividades básicas de la vida diaria (ABVD)<sup>(35)</sup> como la alimentación y el vestido. Mientras que el estudio de Reid y Kent<sup>(36)</sup> no encontró resultados estadísticamente significativos en aspectos motores sino en aspectos sociales. Por otra parte, no se encontró ningún estudio que valorará la calidad de vida relacionada con la salud mediante el empleo de la RV sobre la extremidad superior.

## Calidad metodológica

De todos los estudios incluidos en la presente revisión, fue evaluada su calidad metodológica en función del nivel de evidencia científica y el grado de recomendación, mediante la Escala modificada de Marzo y Viana<sup>(28)</sup>, donde el nivel de evidencia se relaciona con la metodología y el tipo de estudio empleado, siendo la fuerza de recomendación referente a la fiabilidad en relación con los beneficios y posibles riesgos para el paciente de llevar a la práctica la intervención. En este sentido, los estudios de mayor evidencia encontrados fueron 3 ensayos controlados aleatorizados, con un nivel de evidencia satisfactoria 1b y con grado de recomendación A; 4 estudios de serie de casos con baja evidencia de nivel 3 y grado de recomendación D y finalmente un estudio a propósito de un caso, con baja evidencia de nivel 4 y un grado de recomendación D.

Los resultados coinciden con otras revisiones sistemáticas<sup>(37-40)</sup> que emplean la RV como herramienta terapéutica en el entrenamiento del MS en niños con PC. En la misma línea, una reciente guía de práctica clínica<sup>(16)</sup>, publicada en 2012, señala que existe evidencia científica con fuerza de recomendación aceptable en el empleo de sistemas de RV en el tratamiento de niños con PC, obteniendo mejoras clínicas en la funcionalidad el MMSS, control postural, equilibrio, control selectivo articular y marcha.

Uno de los artículos con mayor evidencia fue el estudio controlado aleatorizado de los autores Jannink et al.<sup>(29)</sup>, tras un entrenamiento de 30 minutos 2 veces por semana, durante 6 semanas. Los autores obtuvieron mejoras clínicas en la funcionalidad de la extremidad superior, valorada



mediante el *Melbourne Assessment of unilateral Upper Limb Function*, y en la motivación, examinada con el *Questionnaire post-experience*. Estos autores señalaron que la motivación fue un elemento clave y que pudo contribuir en la mejora de los resultados motores, existiendo otras publicaciones que apuntan en la misma línea<sup>(41, 42)</sup>. En concordancia con el grupo de investigadores de New Jersey Instituto of Technology<sup>(30)</sup> que utilizan la robótica en entornos virtuales, comparada con la terapia por restricción del lado sano y la práctica bimanual intensiva, llevada a cabo mediante un programa de intervención de 3 días por semana, con una duración de 60 minutos durante 3 semanas, en la que el grupo de experimental consiguió beneficios estadísticamente significativos en la funcionalidad del MS evaluado mediante MAULF ( $p=0,0049$ ) y mejoras en la cinemática de alcance recogidos por el sistema de NJIT-RAVR, en ambos grupos.

Sin embargo, autores como Reid y Kent<sup>(36)</sup>, en su estudio controlado aleatorizado con una muestra de 31 niños, no encontraron resultados estadísticamente significativos en aspecto motores evaluados mediante el *Quality of Upper Extremity Skills Test* ( $p=0,43$ ), el *Canadian Occupational Performance Measure* ( $p=0,12$ ), sino en aspectos sociales examinados mediante la subescala de aceptación social *Harter Self-Perception Profile For Children* ( $p=0,02$ ).

En relación con los artículos con mejor evidencia, algunos trabajos<sup>(31,32,34)</sup> muestran mejoras en la cinemática del alcance. Es destacable el trabajo de los autores Chen et al.<sup>(31)</sup> que realizaron un seguimiento de 4 semanas posterior a la intervención, demostrando un mantenimiento parcial de los efectos en la cinemática de alcance evaluada mediante *Model 370 Vicon Motion*. Por otra parte, Fluet et al.<sup>(32)</sup> en su estudio mostraron una disminución del tiempo empleado para realizar los movimientos reduciendo un 26% ( $p=0,028$ ), en la misma línea que los autores Li et al.<sup>(33)</sup>.

Otros estudios<sup>(32, 34)</sup> hallaron mejoras significativas en la movilidad activa de la extremidad superior en la flexión de hombro, abducción y supinación. Chen et al.<sup>(31)</sup>, después de la realización de un programa de entrenamiento de 2 horas por semana durante 4 semanas, indicaron mejoras clínicas en la motricidad fina evaluada mediante el *Peadoby Developmental Motor Scales-Second Function* (PDMS-2), en concordancia con los hallazgos obtenidos por You et al.<sup>(35)</sup>, aunque no se alcanzaron resultados con significación estadística.

Algún estudio ha puesto de manifiesto mejoras en las ABVD. El trabajo de los autores You et al.<sup>(35)</sup> señaló mejoras, tanto en aspectos motrices, como

en determinadas ABVD, como el vestido y la alimentación, examinado mediante *Pediatric Motor Activity Log*. También emplearon como medida de valoración la resonancia magnética funcional (RMF), obteniendo resultados estadísticamente significativos en la activación de la corteza sensoriomotora ( $p=0,001$ ), tras una intervención de 5 horas por semana, durante 4 semanas en un niño con PC de tipo hemiparesia.

En relación con la duración y frecuencia de la intervención, en los estudios incluidos osciló entre 30 minutos por sesión, durante 10 días<sup>(33)</sup>, hasta 5 horas por semana, durante 4 semanas<sup>(35)</sup>. Por tanto, existe la necesidad de estandarizar los protocolos de intervención.

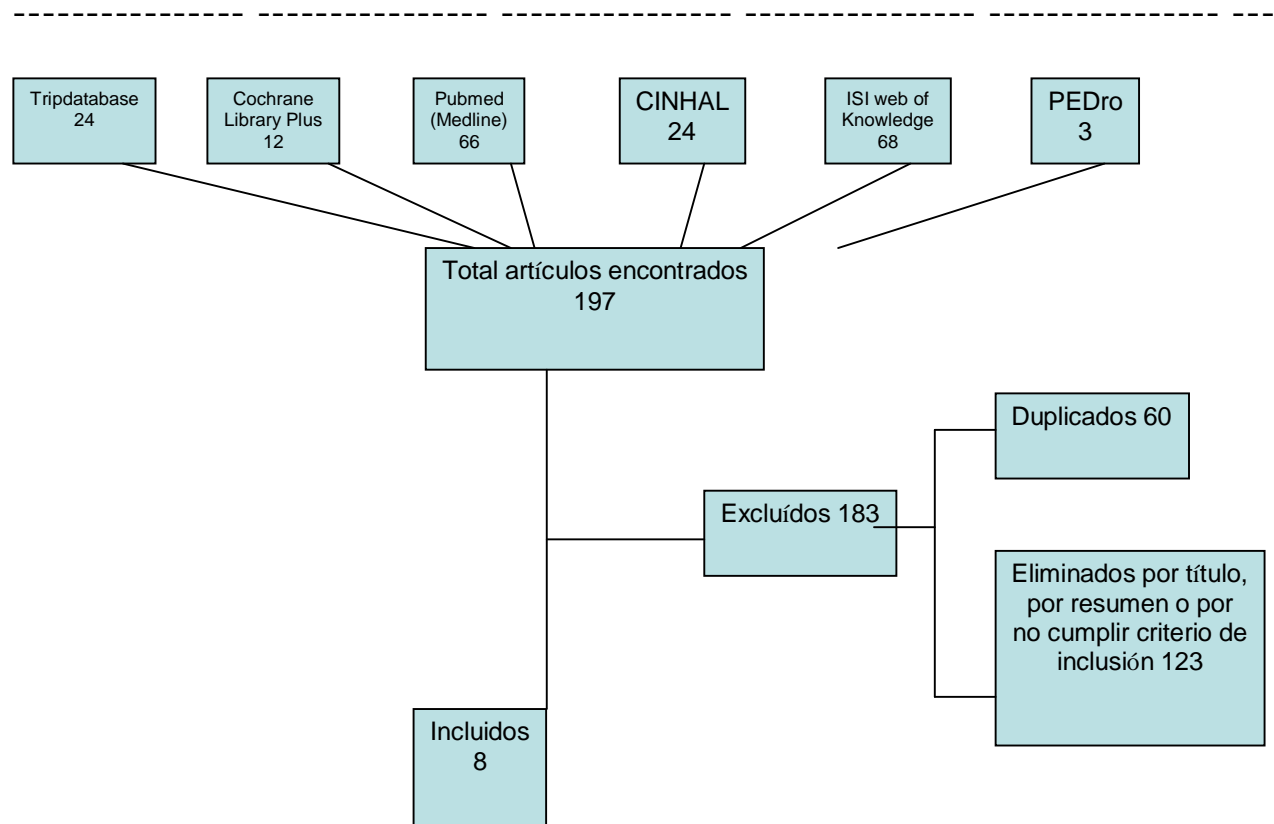
Respecto a los diferentes sistemas de RV utilizados por los artículos incluidos en esta revisión, 2 estudios<sup>(35, 36)</sup> emplearon el sistema inmerso IREX®, mientras que en 3 trabajos usaron sistemas hápticos<sup>(30,32,34)</sup> NJIT-RAVR®, empleando robots en un entorno virtual. Otros autores optaron por utilizar en sus estudios sistemas no inmersivos<sup>(29,31,33)</sup> (Sony Eye Toy). Aunque la literatura científica revela que a mayor inmersión existe mayor compromiso del paciente con la terapia<sup>(38)</sup>, no se puede establecer una relación directa en los resultados obtenidos. No obstante, la guía de práctica clínica<sup>(16)</sup> señala que los sistemas para los que existe máxima fuerza de recomendación son los muy inmersivos (IREX®, Mandala Gesture Xtreme®).

La presente revisión de la literatura científica presenta limitaciones metodológicas. En primer lugar, un reducido número de artículos, así como una baja evidencia científica y un escaso grado de recomendación. En segundo lugar, un reducido tamaño muestral de los artículos incluidos y con gran diversidad clínica, no pudiendo realizar una inferencia de los resultados al resto de población con PC con distintas edades y grados de afectación. Y, por último, existen diferentes escalas de valoración para evaluar la funcionalidad e la extremidad superior, no estando algunas de ellas validadas para la PC, por lo tanto, se dificulta la comparación entre diferentes estudios.

**Tabla 1.** Grado de recomendación, nivel de evidencia, tipo de estudio y significado

Grado de Recomendación	Nivel de evidencia	Tipo de estudio	Significado
A	1ª: Evidencia muy satisfactoria	Metaanálisis de ECA Revisiones sistemáticas de ECA	Hay evidencia buena o muy buena para recomendarlo
B	1b: Evidencia satisfactoria 2ª: Evidencia aceptable	ECA Revisiones sistemáticas de estudios de cohortes o casos y controles Estudios de cohortes o casos y controles de alta calidad	Evidencia razonable para recomendarla
C	2b: Evidencia aceptable	Estudios de cohortes o casos y controles	Evidencia aceptable para recomendarla
D	3: Baja evidencia 4: Evidencia muy baja	Estudio observacional Descriptivo, serie de Casos Opinión de expertos	Un grupo de consenso para la experiencia recomienda la intervención

Modificada de Marzo y Viana (28)



**Figura 1** Diagrama de flujo

## Conclusiones

El empleo de la RV podría ser una herramienta terapéutica útil, consiguiendo efectos positivos sobre la funcionalidad del MS, en niños con PC. Sin embargo, existen limitaciones metodológicas que justifican una lectura cuidadosa de los datos aportados, por lo que es fundamental abrir nuevas líneas de investigación con estudios bien diseñados, estableciendo correctos criterios de elegibilidad en cuanto a la edad, tipo de PC, nivel motor y habilidades cognitivas por medio de una asignación aleatoria y oculta. Por otra parte, también se precisa estandarizar los protocolos de RV utilizados y un seguimiento a largo plazo, así los futuros estudios deberían incluir medidas de resultado en el ámbito de las actividades de la vida diaria y de la calidad de vida validadas para la PC. Sería igualmente interesante abrir nuevas líneas de investigación comparando el empleo de la RV con otros métodos específicos de intervención de fisioterapia neurológica.

**Tabla 2.** Síntesis de los resultados de los estudios incluidos

Estudio	Participantes	Medidas de resultado	Resultados
Jannink et al. (29)	GE: 5(VR)	MAUULF Questionnaire Post-experience	(1) Mejora de la funcionalidad la extremidad superior y la motivación
ECA Fluet et al (30) ECA	GI: 5(VR+FTP) GE: 4(VR) GC: 4(VR+MIT)	MAAULF Cinemática de alcance	(1) Mejoras significativas del GI en la función motriz respecto al GC (2) Mejoras en ambos grupos de la cinemática de alcance
Reid y Kent(36) ECA Chen et al.(31)	GE:19(VR) GI: 12(VR+FTP y/o TO) n=4	COPM, QUEST, SPPC Model 370 Vicon Motion PDMS-2	(1) Solo beneficios significativos en la aceptación social (2) Las puntuaciones en la motricidad fina aumentaron de 1 a 11 puntos en todos los niños
Fluet et al.(32)	n=9	MAUULF Dinamometría Pinzómetro Goniometría Cinemática de alcance	(1) Mejora de la funcionalidad del MMSS significativamente (2) Mejoras en la flexión hombro, abducción y supinación (3) Aumentó la longitud de la trayectoria pero no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la suavidad de la trayectoria de la mano
Quiu et al.(34)	n=2	MAAULF Cinemática de alcance rango activo de movimiento recogido por el sistema	(1) Mejoras en la puntuación de un participante de 59,8-67, 2 (2) En el otro participante se observaron mejoras clínicas en la movilidad activa de la flexión de hombro 15º y supinación 50º y en las medidas cinemáticas de largo alcance
Li et al.(33)	n=5	QUEST Tiempos recogidos por el sistema Cuestionario de Satisfacción	(1) Hubo mejoras aunque no llegaron a alcanzar significación estadística en las actividades de alcance (2) Alcanzó nivel de significación estadística la disminución del tiempo empleado para realizar el movimiento, aumentado un promedio de 13 movimientos/min. (3) Aumento del grado de satisfacción
You et al.(35)	n=1	BOTMP, FMA, PMAL, RMF	(1) (2) Considerables mejoras en habilidades motrices y mejora de la calidad del movimiento (3) Mejoras en las actividades básicas de alimentación y vestido (4) Importante activación sensoriomotora del córtex contralateral

BOTMP: *Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency*; CIMT: Terapia por restricción del lado sano; COPM: *Canadian Occupational Performance Measure*; FMA: *Fugl-Meyer Assessment*; FTP: Fisioterapia; GC: grupo control; GE: grupo experimental; MAUULF: *Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function Test*; PDMS-2: *Peabody Developmental Motor Scales-Second Function*; PMAL: *Modified Pediatric Motor Activity Log*; QUEEST: *Quality of Upper Extremity Skills Test*; RMF: Resonancia magnética funcional; SPPC: *Harter Self-Perception Profile for Children*; TO: terapia ocupacional.

## Referencias no citadas

(43, 44)

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- 1.** Rosenbaum P., Paneth N., Leviton A., Goldstein M., Bax M. A. report: the definition and classification of cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. 2006; 49:8-14.
- 2.** Barber C. A guide to physiotherapy un cerebral palsy. Paediatr Child Healt. 2008; 18:410-3.
- 3.** Reddihough DS, Collins KJ. The epidemiology and causes of cerebral. Aust J. Physiother. 2003; 49:7-12.
- 4.** Koman LA, Smith BP, Shilt J. Cerebral palsy. Lancet. 2004; 15:1619-31.

- 5.** Bax M., Goldstein M., Rosenbaum P., Leviton A., Paneth N., Dan B., et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2005; 47:571-6.
- 6.** Odding E., Roebroek ME, Stam HJ. The epidemiology of cerebral palsy: incidence, impairments and risk factors. *Disabil Rehabil.* 2006; 28:183-91.
- 7.** Camacho-Salas A., Pallás-Alonso CR, de la Cruz-Bertolo J., Simón de las Heras R., Mateos-Beato F. Parálisis cerebral: concepto y registros de base poblacional. *Rev Neurol.* 2007; 45:503-8.
- 8.** Robaina-Castellanos GR, Riesgo-Rodríguez S., Robaina-Castellanos MS. Definición y clasificación de la parálisis cerebral ¿un problema ya resuelto? *Rev Neurol.* 2007; 45:110-7.
- 9.** Centers for disease control and prevention. Economic cost associated with mental retardation, cerebral palsy, hearing loss and vision impairment United States 2003. *Morb Mortal Wky Rep.* 2004; 53; 57-9.
- 10.** Scrutton D., Damiano DL, Mayston M. Management of the motor disorders of children with cerebral palsy. Cambridge: Cambridge University Press; 2004.
- 11.** Aircadi J. Disease of the nervoys system in childhood. London: MacKeith Press; 1992.
- 12.** Cano-de la Cuerda R., Collado-Vázquez S. *Neurorrehabilitación. Métodos específicos de valoración y tratamiento.* Madrid: Panamericana; 2012.
- 13.** Cano-de la Cuerda R., Muñoz-Hellín E., Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F. Telerrehabilitación y neurología. *Rev Neurol.* 2010; 51:49-56.
- 14.** Peñasco-Martin B., de los Reyes-Guzmán A., Gil-Agudo A., Bernal-Sahún A., Pérez-Aguilar B., De la Peña González A. Aplicación de la realidad virtual en aspectos motores de la neurorrehabilitación. *Rev Neurol.* 2010; 51:481-8.
- 15.** Bayón M, Martínez J. Rehabilitación del ictus mediante realidad virtual. *Rehabilitación.* 2010; 44:266-360.
- 16.** Monge-Pereira E., Molina-Rueda F., Alguacil-Diego IM, Cano de la Cuerda R., de Mauro A., Miangolarra-Page JC. Empleo de sistemas de realidad virtual como método de propiocepción en parálisis cerebral: guía de práctica clínica. *Neurología.* 2012. En prensa.

- 17.** Shumway-Cook AA, Woollacott MH. Motor control: theory practical applications. 3ª ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
- 18.** Miangolarra JC. Teorías y modelos de control motor. En: Cano de la Cuerda R, Collado-Vázquez S., editores. Neurorehabilitación. Métodos específicos de valoración y tratamiento. Madrid: Panamericana; 2012.
- 19.** Montgomery P., Connolly B. Clinical applications for motor control. Throfare: Slack Incorporated; 2003.
- 20.** Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. Cyberpsychol Behav. 2005; 8:187-211.
- 21.** Crosbie JH, Lennon S., McNeill MDJ, McDonough SM. Virtual reality in the rehabilitation of the upper limb after stroke: the user's perspective. Cyberpsychol Behav. 2006; 9:137-41.
- 22.** Merians AS, Poizner H., Boian R., Burdea G., Adamovich S. Sensorimotor training in a virtual reality environment: does it improve functional recovery poststroke? Neurorehabil Neural Repair. 2006; 20:252-67.
- 23.** Asher IE. Jebsen Hand Function Test. En: Occupational therapy assessment tools: an annotated index. 2ª ed. Bethesda: American Occupational Therapy Association; 1996.
- 24.** Dematteo C., Law M., Russel D., Pollock N., Rosenbaum P., Walter S. Quality of upper extremity skills test. Neurodevelopmental clinical research unit. Halminton: Chedoke-McMaster Hospitals; 1992.
- 25.** Randall M., Carlin JB, Chondros P., Reddihough D. Reality of the Melbourne assessment of unilateral upper limb function. Dev Med Child Neurol. 2001; 43:761-7.
- 26.** Lin KC, Chen HF, Chen CL, Wang TN, Wu CY, Hsieh YW, et al. Validity, responsiveness, minimal detectable change, and minimal clinically important change of the pediatric motor activity log in children with cerebral palsy. Res Dev Disabil. 2012; 33:570-7.
- 27.** Waters E., Davis E., Mackinnon A., Boyd R., Graham HK, Kai LS, et al. Psychometric properties of the quality of life questionnaire for children with CP. Dev Med Child Neurol. 2007; 49:49-55.



- 28.** Baars RM, Atherton CI, Koopman HM, Bullinger M., Power M. The European DISABKIDS project: development of seven condition-specific modules to measure health related quality of life in children and adolescents. *Health Qual Life Outcomes*. 2005; 3:70.
- 29.** Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT Group. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ*. 2010; 340:698-702.
- 30.** Águila-Maturana AM. Ciencias de la salud basadas en la evidencia: aportaciones a la neurorehabilitación. En: Cano de la Cuerda R., Collado-Vázquez S., editores. *Neurorehabilitación. Métodos específicos de valoración y tratamiento*. Madrid: Panamericana; 2012.
- 31.** Jannink MJ, van der Wilden GJ, Navis DW, Visser G., Gussinklo J., Ijzerman M. A low-cost video game applied for training of upper extremity function in children with cerebral palsy: a pilot study. *Cyberpsychol Behav*. 2008; 11:27-32.
- 32.** Fluet G., Qui Q., Saleh S., Ramirez D., Adamovich S. Robot Assisted virtual rehabilitation (NIJT-RAVR) system for children with upper extremity hemiplegia. *Virtual Rehabilitation International Conference*. 2009:189-92.
- 33.** Chen YP, Kang LJ, Chuang TY, Doong JL, Lee SJ, Tsai MW, et al. Use of virtual reality to improve upper-extremity control in children with cerebral palsy: a single-subject design. *Phys Ther*. 2007; 87:1441-57.
- 34.** Fluet GG, Qiu Q., Kelly D., Parikh HD, Ramirez D., Saleh S., et al. Interfacing a haptic robotic system with complex virtual environments to treat impaired upper extremity motor function in children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil*. 2010; 13:335-45.
- 35.** Li W, Lam-Damji S., Chau T., Fehlings D. The development of a home-based virtual reality therapy system to promote upper extremity movement for children with hemiplegic cerebral palsy. 2009; 21:107-13.
- 36.** Qiu Q, Ramirez DA, Saleh S., Fluet GG, Parikh HD, Kelly D., et al. The New Jersey Institute of Technology Robot- Assisted Virtual Rehabilitation (NIJT-RAVR) system for children with cerebral palsy: a feasibility study. *J Neuroeng Rehabil*. 2009; 16:40.

- 37.** You SH, Jang SH, Kim YH, Kwon YH, Barrow I, Hallett M. Cortical reorganization induced by virtual reality therapy in a child with hemiparetic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2005; 47:628-35.
- 38.** Reid D, Kent C. The use of virtual reality with children with cerebral palsy: a pilot randomized trial. *Ther Recreation J.* 2006; 40:255-68.
- 39.** Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, Merians AS. Sensorio-motor training in virtual reality: a review. *Neuro Rehabil.* 2009; 25:29-44.
- 40.** Wang M, Reid D. Virtual reality in pediatric neurorehabilitation: attention deficit hyperactivity disorder, autism and cerebral palsy. *Neuroepidemiology.* 2011; 36:2-18.
- 41.** Snider L, Majnemer A, Darsaklis V. Virtual reality as a therapeutic modality for children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil.* 2010; 13:120-8.
- 42.** Parsons TD, Rizzo AA, Rogers S, York P. Virtual reality in paediatric rehabilitation: a review. *Dev Neurorehabil.* 2009; 12:224-38.
- 43.** Schmidt RA, Lee TD. Motor control and learning: A behavioral emphasis. Champaign: Human Kinetics; 2005.
- 44.** Diez-Alegre MI, Cano-de la Cuerda R. Empleo de un video juego como herramienta terapéutica en adultos con parálisis cerebral tipo tetraparesia espástica. *Fisioterapia.* 2012; 34:23-30.