



Artículo de Investigación

**Mejora de las habilidades motoras y cognitivas de niños con autismo después de un periodo prolongado de juego con deportes virtuales**

Improvement of motor and cognitive skills in children with autism following long-term play of virtual sports

Crespo Celia N<sup>1,3</sup>, García Luis I<sup>1,2</sup>, Coria Genaro A<sup>1,2</sup>, Carrillo Porfirio<sup>4</sup>, Hernández María E<sup>1,2</sup>, Manzo Jorge<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Investigaciones Cerebrales, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., México. <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Cerebrales, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., México. <sup>3</sup>Centro de Rehabilitación Infantil de Veracruz, A.C., Veracruz, Ver., México. <sup>4</sup>Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., México.

Recibido: 28 de abril de 2016

Aceptado: 07 de julio de 2016

Puedes encontrar este artículo en: [www.uv.mx/eneurobiología/vols/2016/15/15.html](http://www.uv.mx/eneurobiología/vols/2016/15/15.html)

**Resumen**

**Introducción:** El autismo es un trastorno del desarrollo que se manifiesta y diagnostica por expresiones conductuales particulares, destacando el decremento en la interacción social, un lenguaje anormal y movimientos limitados o estereotipados. Recientemente se ha mostrado que el uso de juegos de video comerciales es una herramienta significativa para estimular el movimiento en personas con diferentes alteraciones motoras. Aquí propusimos que un paradigma experimental controlado de deportes en video en un largo plazo, podría ayudar a incrementar las habilidades motoras de niños autistas. **Métodos:** El programa de deportes en la consola Wii de Nintendo se utilizó para estimular a un grupo de menores autistas con el propósito de incrementar sus habilidades motoras (3 niñas y 7 niños). Se realizaron cuatro fases consecutivas de estimulación virtual en un lapso de 50 semanas. **Resultados:** Los datos mostraron que la estimulación de menores autistas con deportes virtuales los impulsa a ser sujetos no solamente con mayores habilidades motoras sino con una elevación significativa de respuestas cognitivas tal como vocalizaciones, interacciones sociales, percepción espacial y emociones. Todos los menores ejecutaron cada uno de los parámetros en el largo plazo, aunque las niñas adquirieron las habilidades antes que los niños. **Conclusiones:** El uso de un paradigma controlado de estimulación virtual es una técnica apropiada para incrementar las habilidades motoras y cognitivas de niños autistas. La temporalidad en adquisición de habilidades muestra una diferencia de género que requiere de mayores estudios.

**Palabras clave:** Socialización, Realidad virtual, Conductas espejo, Habilidad motora, Cognición.

**Abstract**

**Introduction:** Autism is a developmental disorder that is recognized and diagnosed by analyzing its particular behavioral displays, in which the most noticeable are reductions in social interaction, abnormal language, and limited or stereotyped movements. Recently it has been shown that the use of commercial video games is a significant tool to stimulate the movement of people with different motor disorders. Herein we proposed that a controlled experimental paradigm with sports in video in the long term could help to increase the motor abilities of autistic children. **Methods:** The sports software of the Nintendo Wii console was used to stimulate a group of autistic children with the purpose to increase their motor abilities. Four consecutive phases were carried out in a period of 50 weeks. **Results:** Data showed that the stimulation of autistic children with virtual sports motivates them not only to get enhanced motor abilities, but also to increase significantly cognitive responses such as vocalizations, social interactions, spatial perception, and emotions. Every child displayed each one of the parameters in the long term, although girls acquired the abilities before boys. **Conclusions:** The use of a controlled paradigm of virtual stimulation is an appropriate approach to increase the motor abilities and cognition of autistic children. The period for the acquisition of the abilities showed a gender difference that requires further studies.

**Keywords:** Socialization, Virtual reality, Mirror behaviors, Motor abilities, Cognition.

\*Correspondencia: Dr. Jorge Manzo. Centro de Investigaciones Cerebrales, Universidad Veracruzana. Médicos y odontólogos s/n, Unidad del Bosque, 91010 Xalapa Enríquez, Veracruz, México. Teléfono: (228) 841-8900 Ext. 16309. Correo electrónico: [jmanzo@uv.mx](mailto:jmanzo@uv.mx)

Este es un artículo de libre acceso distribuido bajo los términos de la licencia de Creative Commons, (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en algún medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.



## I. Introducción

El Autismo o Trastorno del Espectro Autista (TEA) es una compleja alteración del neurodesarrollo que resulta en manifestaciones conductuales y fisiológicas que pueden diferir de un niño a otro. Sin embargo, hay tres manifestaciones centrales que son comunes a todos los sujetos en el espectro y que están directamente relacionadas a las habilidades motoras, éstas son las modificaciones en la interacción social, el lenguaje anormal, y los movimientos restringidos o estereotipados.<sup>1,2</sup> En breve, existen numerosas alteraciones motoras en niños dentro del TEA que van desde fallas en el control postural hasta alteraciones en los movimientos finos,<sup>3</sup> cuya descripción ha sido útil para entender el espectro desde una perspectiva etológica.<sup>4</sup> Por otro lado, se sabe bien de los beneficios que se obtienen en las habilidades motoras de niños con desarrollo típico después de un periodo de entrenamiento físico.<sup>5</sup> Esto nos llevó a proponer la hipótesis de que las habilidades motoras en menores con autismo podrían mejorarse mediante el entrenamiento físico con deportes virtuales.

Los juegos comerciales en video se están utilizando cada vez más como herramientas para estimular el movimiento en personas con diferentes alteraciones motoras. En pacientes con enfermedad de Parkinson, el uso de la consola Wii de Nintendo mejoró la ejecución sensoriomotora del caminado, redujo las alteraciones motoras e incrementó la independencia de los sujetos,<sup>6</sup> mientras que menores con déficit de atención e hiperactividad mejoraron y mantuvieron el control de sus conductas hiperactivas,<sup>7</sup> y aquellas personas con debilidad de los miembros superiores después de un derrame cerebral mostraron mejoras en la fuerza y función de sus extremidades.<sup>8,9</sup> En niños dentro del TEA, el uso de la consola Wii fue exitosa en mejorar la condición cardiopulmonar y redujo los índices de obesidad.<sup>10,11</sup> Con ello, existe un consenso generalizado de que el uso apropiado de juegos de video con el Wii u otras consolas

puede ser exitoso no solamente en estimular las habilidades motoras de los pacientes, sino también en incrementar su motivación para el movimiento de todo el cuerpo, una situación que ha llevado al término “Wiihabilitación” y que está estimulando el diseño de sistemas dirigidos específicamente para estos pacientes.<sup>12</sup>

Los resultados óptimos obtenidos con el uso de tal realidad virtual están correlacionados con las observaciones realizadas en diversos experimentos de enriquecimiento ambiental en modelos animales, por lo que sugerimos que la práctica controlada de juegos de video emula un ambiente enriquecido, tópico que ha sido previamente reportado en niños autistas después de ser sometidos a múltiples estímulos sensoriomotores.<sup>13</sup> Estudios que iniciaron en los 1960s demostraron que la exposición a diversas experiencias que constantemente estimulan a las distintas modalidades sensoriales disparan procesos de plasticidad en el cerebro, con modificaciones adecuadas que permanecen durante toda la vida del sujeto.<sup>14</sup> La plasticidad del cerebro incluye un incremento en la neurogénesis y sobrevivencia celular, modificaciones en la morfología de la glía y regulación a la alta de factores de crecimiento, entre otras respuestas,<sup>15-19</sup> que son acompañadas por mejoras funcionales significativas. Aunque aún se desconoce en mucho los procesos moleculares que subyacen a los efectos positivos del ambiente enriquecido, se sabe que el factor neurotrófico derivado del cerebro juega un papel primordial, que recientemente se mostró como crucial en la plasticidad del cerebelo,<sup>20</sup> una estructura del sistema nervioso central que aparece dañada tanto en humanos con TEA como en modelos animales de autismo.<sup>21</sup>

A la fecha es ampliamente aceptado que el cerebelo está involucrado en funciones que van más allá del solo control motor, tal como aquellos relacionados con la cognición.<sup>21,22</sup> Tales funciones evitan que menores con TEA y pacientes con lesiones cerebelares adquiridas puedan completar

tareas que requieran cambios de atención entre estímulos visuales y auditivos,<sup>23</sup> que se presentan como retos principales cuando se usan juegos en video. Consecuentemente aquí sugerimos que un paradigma experimental apropiado en el largo plazo podría ayudar a incrementar las habilidades

motoras de personas autistas enfrentados a los retos de los deportes virtuales. Por ello, en el presente trabajo estimulamos el movimiento corporal de niños con autismo usando un diseño compuesto por cuatro experimentos consecutivos.

**Tabla I.** Característica de los participantes.

	Participante	Edad*	Sexo	Edad de diagnóstico*	Tratamientos	Conductas
1	7586	12.2	M	8.9	Risperidona	Ansiedad, Irritabilidad
2	13115	7.4	M	6.11	Carbamazepina	Hiperactividad
3	10480	6.6	M	4.3	Carbamazepina	Estereotipias
4	9597	6.1	M	3	Risperidona	Hiperactividad
5	11899	5.7	M	4.4	Risperidona	Estereotipias
6	11726	5.4	M	4.2	Risperidona	Hiperactividad
7	12062	5.4	M	4.2	Risperidona	Miedo a sonidos
8	5173	10.3	F	7	Risperidona	Hiperactividad, Temperamento
9	9172	9.1	F	5.7	Risperidona	Hiperactividad
10	3911	9	F	8.2	Risperidona	Alteraciones del sueño

El grupo de estudio incluyó 3 niñas y 7 niños con tratamientos farmacológicos para las conductas que se muestran en la tabla. La columna edad muestra la edad de los niños al inicio de las pruebas, y se muestra también la edad a la que fueron diagnosticados. \*=años.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Participantes

Se seleccionó a un grupo de 10 niños (Tabla 1) de una población de 73 pacientes que asisten a diferentes terapias físicas y farmacológicas en el Centro de Rehabilitación Infantil (CRIVER) de la ciudad de Veracruz, Ver. Los niños fueron seleccionados con base en que estaban diagnosticados como autistas por los procedimientos del hospital. Todos ellos eran no-verbales y expresaban un equivalente al Nivel I de severidad de acuerdo al DMS-V.<sup>24</sup> El registro de los parámetros conductuales fue realizado utilizando hojas de registro de etogramas

para eventos puntuales (de corta duración) y eventos prolongados tal como ya ha sido descrito previamente.<sup>4</sup> El registro se realizó en el momento de observar a los niños, así como posteriormente en el análisis de archivos de video que fueron registrados continuamente.

Un grupo adicional de 8 niños con desarrollo típico fueron observados como grupo control. Sin embargo, los datos y las comparaciones no son presentados dado el corto tiempo requerido por los niños control (menos de una semana) para adquirir las habilidades del juego virtual. Ninguno de los niños autistas había tenido experiencia previa con la consola Wii, por lo que todos jugaron por primera vez durante este trabajo.

## **2.2. Juego virtual**

En las instalaciones del CRIVER se acondicionó un cuarto especial para realizar la estimulación virtual de los menores. La consola Wii (Nintendo Co.) se conectó a un equipo de video para proyectar los juegos sobre una pared blanca. Las proyecciones fueron realizadas durante el día con luz natural. Este procedimiento se prefirió en lugar de usar una televisión, con el propósito de minimizar la sobreestimulación de los ojos. El programa usado fue el Wii Sports, y se seleccionaron cuatro juegos con base en dos criterios: jugar para acertar a blancos en movimiento (beisbol y tenis), y jugar para acertar a blancos fijos (box y boliche). Cada participante jugó durante 20 minutos dos veces por semana, y jugaron los cuatro juegos de acuerdo a cada fase del estudio.

## **2.3. Fase 1. Juego individual**

En esta fase inicial, cada niño fue entrenado a solas para usar la consola en el modo Fitness (la consola entrena al jugador). Aquí se realizaron 10 sesiones por participante (5 semanas) con el objetivo de entrenarlos para jugar, crear su propio avatar y usar el mando remoto. Los parámetros que se registraron fueron la atención a la pantalla (observar la pantalla continuamente por más de 10 min), la habilidad en el uso sin ayuda del mando, el uso apropiado de los botones A y B del mando, la imitación de los movimientos del avatar en la pantalla, la realización de movimientos dirigidos hacia el blanco y si acertaron al blanco durante el juego. Cada instrucción en ésta y las siguientes fases fue dada por el avatar, aunque reforzada por el investigador. A medida que las sesiones progresaron, todos los niños empezaron a evitar los juegos de blancos móviles, siendo su atención capturada totalmente por los juegos de blanco fijo, el box y el boliche. En las siguientes fases, dado que a los niños se les permitió la selección de su juego, todos seleccionaron siempre los de blanco fijo.

## **2.4. Fase 2. Juego interactivo: participante vs investigador**

Esta fase siguió después de la Fase 1 y se realizó en 30 sesiones (15 semanas). La consola Wii se usó en el modo de dos jugadores, cada uno con su propio mando (CNCC, primera autora de este trabajo, fue la única persona que interactuó con los niños durante todas las competencias). Se utilizaron dos mandos de distinto color (blanco y azul) y el color del mando dado al menor al inicio de cada sesión fue al azar, para que conociera el color de su mando justo al inicio de su prueba. El niño y el investigador permanecieron parados enfrente de la pantalla, mientras que el resto de los participantes permanecieron alrededor sentados como espectadores. Los parámetros registrados fueron la identificación y selección del deporte, la expresión de vocalizaciones, el reconocimiento de su mando, el reconocimiento de su turno, respetar su turno, preguntar ¿quién sigue? y el interés en observar a otros niños jugando. La conducta social se registró como evento puntual cada vez que dos niños interactuaban entre ellos. De igual manera se registraron las emociones cada vez que un menor exhibía una conducta relacionada con expresiones de ganar o perder.

## **2.5. Fase 3. Juego interactivo: participante vs participante**

Esta fase también se desarrolló en 30 sesiones (15 semanas) inmediatamente después de la Fase 2. El paradigma fue similar al de la Fase 2, pero aquí los menores jugaron entre ellos. Los competidores fueron seleccionados al azar, por lo que se organizaron parejas niña-niña, niña-niño y niño-niño sin considerar la edad.

## **2.6. Fase 4. Juego real**

Los participantes respondieron positivamente a la estimulación virtual de las fases previas. Con este resultado, nos interesamos en introducirlos a una nueva experiencia, el juego real. Así, en la cuarta fase experimental se quitó el equipo de Wii y se

reemplazó con un juego de boliche real. Los niños fueron puestos en fila al azar, se les instruyó a lanzar la bola dos veces y regresar al final de la fila para permitirle al siguiente participante jugar. Todos los parámetros registrados durante la estimulación virtual fueron también registrados en esta fase, que también se realizó en 30 sesiones (15 semanas), inmediatamente después de la Fase 3.

## 2.7. Análisis estadístico

Se realizaron curvas longitudinales de los parámetros registrados por género. Aunque las comparaciones pudieran parecer preliminares por el número de participantes, consideramos que es importante inferir sobre el efecto de la estimulación virtual en cada sexo. Así, se utilizó la prueba Log-Rank/Mantel-Cox, considerando un tipo de curva de supervivencia que excluye a un participante del análisis cuando ya ha aprendido a ejecutar una tarea, y con ello hacer la comparación de las curvas entre niñas y niños. El análisis y las gráficas fueron realizados utilizando el programa Prism 5 para Mac (GraphPad Software, Inc.). La significancia de la prueba estadística fue considerada cuando  $p < 0.05$ .

## 3. Resultados

### 3.1. Fase 1. Juego individual

Desde la primera sesión los menores observaron la pantalla. Se consideró que los niños ejecutaron apropiadamente este parámetro cuando empezaron a observar la pantalla continuamente por más de 10 minutos. La mayoría de ellos (representado por más del 50% de aquí en adelante) estuvo atento a la pantalla después de la sesión 3, con curvas similares para niñas y niños (Figura 1). Después de que se les pidió que imitaran los movimientos del avatar en la pantalla, las niñas ejecutaron la tarea después de la sesión 1, mientras que los niños completaron esta tarea después de la sesión 4, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; Figura 2). La instrucción para agarrar el mando y manipularlo apropiadamente fue

ejecutada correctamente por las niñas después de la sesión 5, mientras que los niños lo hicieron hasta la sesión 7, sin diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, el uso de los botones A (enfrente) y B (detrás) del mando difirió entre géneros. Aunque las niñas y niños aprendieron a usar el botón A entre las sesiones 4 y 5 con curvas similares, las niñas fueron exitosas en usar el botón B después de la sesión 4, mientras que los niños usaron el botón B hasta la sesión 9, con diferencias significativas por género ( $p < 0.02$ ; Figura 3). Después de la sesión 4, las niñas jugaron con el propósito de acertar en el blanco, mientras los niños mostraron esta conducta hasta la sesión 7, sin diferencias significativas. Finalmente, sin importar si fue intencional o al azar, todos empezaron a obtener puntajes en los juegos, con las niñas obteniendo puntajes a partir de la sesión 3 y los niños a partir de la sesión 7, sin mostrar diferencias significativas.

### 3.2. Fase 2. Juego Interactivo: Participante vs Investigador

El registro del tiempo requerido por los participantes para reconocer su mando indicó que las niñas adquieren esta habilidad después de la sesión 2, mientras que los niños lo hicieron después de la sesión 4, sin diferencias significativas entre ellos. También se les preguntó sobre el deporte proyectado en la pantalla, resultando que las niñas reconocieron adecuadamente el deporte a partir de la sesión 1, mientras que los niños lo hicieron hasta la sesión 5, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.04$ ; Figura 4). Un parámetro emergente en esta fase fue la vocalización, donde todos ellos empezaron a emitir sonidos e incluso palabras relacionadas al éxito o fracaso durante el juego. Las niñas y niños mostraron esta vocalización a partir de las sesiones 8 y 9 respectivamente, sin mostrar diferencias significativas entre sus curvas. También se les instruyó a respetar y reconocer su turno en el juego. Las niñas respetaron y reconocieron su turno después de las sesiones 5 y 6 respectivamente,

mientras que los niños lo hicieron después de las sesiones 6 y 10 respectivamente, sin mostrar diferencias significativas. Cuando finalizaron su turno, se les instruyó a preguntar ¿quién sigue? y a dar el mando al siguiente jugador. Este parámetro fue ejecutado correctamente por las niñas a partir de la sesión 6 y por los niños a partir

de la sesión 9, sin diferencias significativas entre ellos. Finalmente, se registró el interés de los espectadores en observar el juego de los otros participantes, con las niñas siendo espectadoras a partir de la sesión 7 y los niños a partir de la sesión 16, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.02$ ; Figura 5).

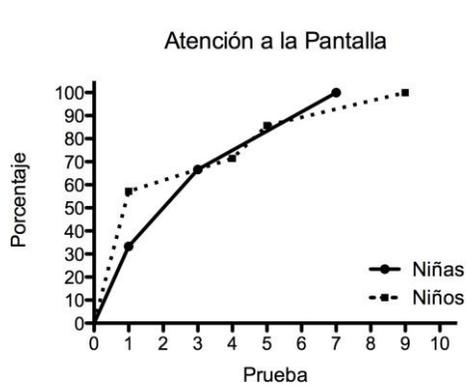


Figura 1. Número de pruebas requeridas por niñas y niños para fijar su atención a la pantalla por más de 10 min por prueba. No se encontraron diferencias significativas por sexo.

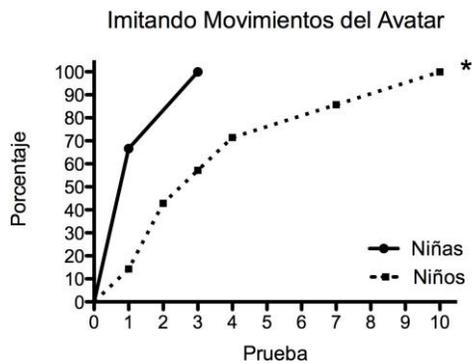


Figura 2. Número de pruebas requeridas por niñas y niños para imitar los movimientos del avatar en la pantalla. Las niñas adquirieron esta habilidad más rápido que los niños.  $*=p < 0.05$ .

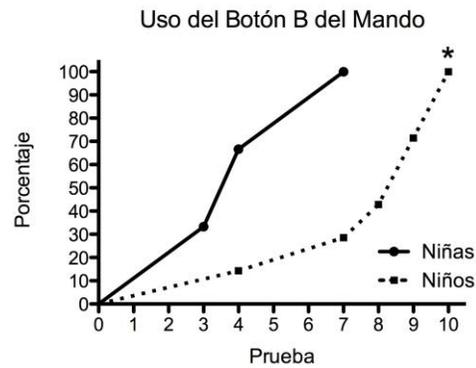
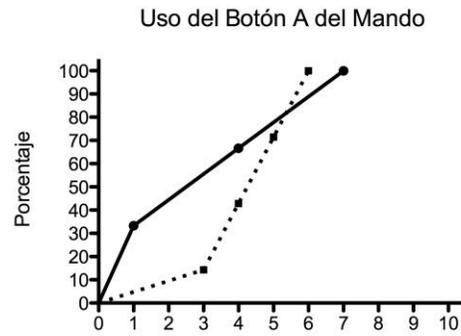


Figura 3. Número de pruebas requeridas por niñas y niños para usar apropiadamente en el mando los botones A (gráfica superior) y B (gráfica inferior). Las niñas aprendieron a usar el botón B más rápido que los niños.  $*=p < 0.02$ .

### 3.3. Fase 3. Juego interactivo: participante vs participante

En la primera sesión se buscó determinar si los participantes podrían reconocer su mando, resultando que ambos, niñas y niños, reconocieron su mando de inmediato. Sin embargo, no sucedió lo mismo al registrar el tiempo requerido para reconocer su avatar en la pantalla o el avatar del contrincante. La mayoría de las niñas reconoció su propio avatar a partir de la sesión 1 y la del

contrincante a partir de la sesión 2, pero los niños reconocieron su propio avatar hasta la sesión 4 y el del contrincante hasta la sesión 6, con ambos grupos de curvas mostrando diferencias significativas ( $p < 0.02$ ; Figura 6). También desde la sesión 1 se les instruyó nuevamente a respetar su turno. Las niñas respetaron su turno inmediatamente, mientras que los niños respetaron su turno hasta la sesión 3, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.03$ ; Figura 7). Asimismo, siempre se les requirió que dijeran “Es mi turno” y que preguntaran ¿Quién sigue? Las niñas ejecutaron estas tareas correctamente a partir de las sesiones 1 y 3 respectivamente, mientras que los niños lo hicieron en las sesiones 2 y 6, sin mostrar diferencias

significativas. En esta fase también emergieron dos fenómenos interesantes. El primero fue una clara interacción social con el contrincante: vocalizaciones hacia el contrincante, contactos corporales, intercambio de mandos, etc., y se observaron en niñas y niños a partir de las sesiones 1 y 2 respectivamente, sin diferencias significativas. El segundo fue la expresión de emociones expresadas por los resultados de ganar o perder durante el juego: gritar, carcajearse, aplaudir, patear el piso con el pie, etc. Las niñas empezaron a expresar emociones a partir de la sesión 3 y los niños a partir de la sesión 6, sin diferencias significativas.

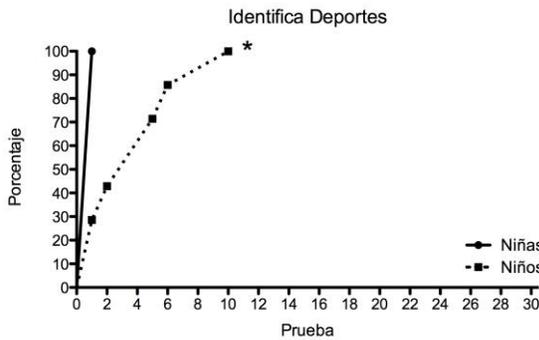


Figura 4. Número de pruebas requeridas por niñas y niños para reconocer el deporte en la pantalla cuando jugaban en contra del investigador. Las niñas adquirieron la habilidad más rápido que los niños.  $*=p < 0.04$ .

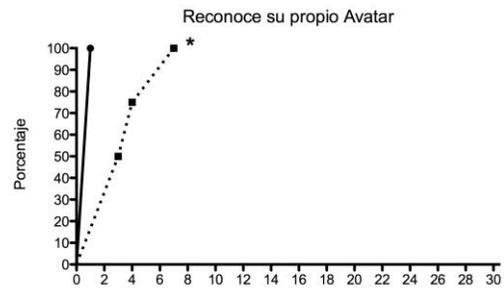


Figura 5. Número de pruebas requeridas por niñas y niños para reconocer su propio avatar (gráfica superior) o el avatar de su compañero (gráfica inferior) cuando jugaban contra otro niño. Ambos parámetros muestran diferencias significativas entre sexos, con las niñas adquiriendo esta habilidad más rápido que los niños.  $*=p < 0.02$ .

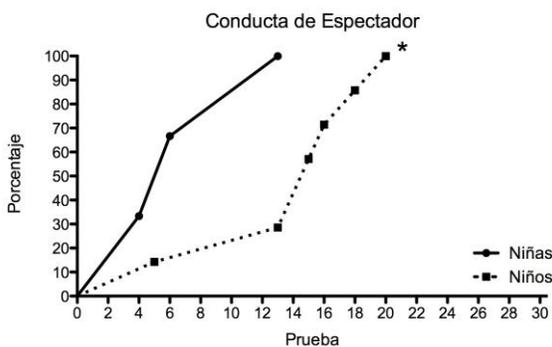


Figura 6. Número de pruebas requeridas por niñas y niños para llegar a actuar como espectadores en los juegos contra el investigador. Las niñas ejecutaron esta conducta más rápido que los niños.  $*=p < 0.02$ .

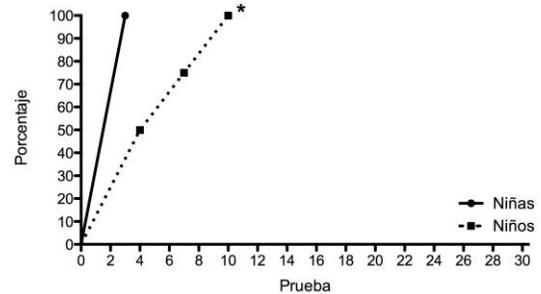


Figura 6. Número de pruebas requeridas por niñas y niños para reconocer su propio avatar (gráfica superior) o el avatar de su compañero (gráfica inferior) cuando jugaban contra otro niño. Ambos parámetros muestran diferencias significativas entre sexos, con las niñas adquiriendo esta habilidad más rápido que los niños.  $*=p < 0.02$ .

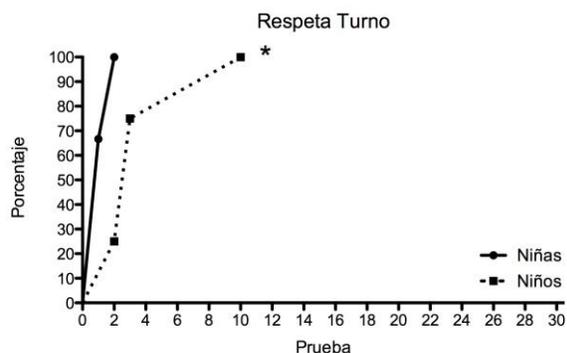


Figura 7. Número de pruebas requeridas por niñas y niños para respetar su turno cuando jugaban contra otro niño. Las niñas ejecutaron esta conducta más rápido que los niños.  $*=p<0.03$ .

### 3.4. Fase 4. Juego real

El resultado de este experimento fue una ejecución continua de cada parámetro registrado en las fases previas del juego virtual, y no se observaron diferencias en los despliegues conductuales cuando se enfrentaron a un juego de boliche real. Los participantes reconocieron y se interesaron inmediatamente en el juego, respetaron la línea y su turno, mostraron interacciones sociales, expresiones verbales y emociones. Estas conductas iniciaron desde la sesión 1 y se mantuvieron por el periodo total de 30 sesiones.

## 4. Discusión

Los resultados sugieren que los niños con autismo que son expuestos a un programa controlado de deportes virtuales, adquieren habilidades motoras elaboradas e incrementan su función cognitiva y socialización. Aunque se observaron diferencias en el momento en que incorporaron alguna habilidad a su repertorio conductual, al final todos fueron capaces de alcanzar mejoras significativas en todas las tareas. El éxito de estos resultados inició desde el momento en que los niños fueron altamente receptivos a las instrucciones que provenían de una pantalla. Por lo tanto, este procedimiento parece disparar un tipo particular de sistema de comunicación en

niños con TEA que debería considerarse como un factor clave en el futuro. Esta conclusión genera la pregunta de ¿por qué una pantalla? La racional para responder a este cuestionamiento parece estar en la observación de que a los participantes no les gustó y evitaron jugar deportes con objetivo en movimiento, incluso hasta el final de un año de juego continuo. Esta fue una respuesta conductual destacada que sugiere que los niños autistas son capaces de entender un campo visual con objetos estáticos. Una pantalla como la proyectada por los deportes Wii con objetivos fijos representa un ambiente completamente estático con un solo objeto en movimiento, situación que fue preferida por los niños. Con ello, proponemos la hipótesis de que este es el ambiente requerido para enseñar a sujetos en el espectro, sin importar si el ambiente es virtual o real, tal como lo vimos en la Fase 4. Sin embargo, se requieren de mayores estudios para confirmar esta hipótesis, así como probar el impacto de los procedimientos en sujetos que se encuentran en otro nivel del TEA. No obstante, los datos aquí presentados son suficientemente significativos para estimular el desarrollo de una serie de intervenciones virtuales para mejorar los patrones motores de los niños con autismo.

La acción de imitar movimientos tal como lo hacía el avatar en la pantalla, fue el primer parámetro que demostró que la respuesta positiva de las niñas era más rápida que la de los niños, lo que se repitió en todos los parámetros, aunque al final ambos sexos tuvieron éxito. Imitar movimientos del avatar cae dentro de las características de una respuesta en espejo. Esto es de interés considerando la función que tienen las neuronas espejo en sujetos dentro del espectro.<sup>25</sup> Sin embargo, la reducida conducta en espejo de nuestros participantes se compensó con el juego virtual repetido. Nuestros resultados también van de acuerdo con la propuesta de que los sistemas sensoriomotores para el auto-inicio de acciones están intactas en los sujetos autistas, con activaciones atípicas durante la observación de movimientos.<sup>26</sup> En

este estudio, los niños tuvieron dificultades cuando se enfrentaron por primera vez a la imitación de una tarea conductual, pero adquirieron la habilidad a medida que la tarea se les repitió continuamente y, por tanto, la activación atípica fue superada. Pero imitar los movimientos en la pantalla no fue tan difícil como aprender a usar y manipular el mando. Esta no fue una tarea en espejo, lo que sugerimos explica el mayor grado de dificultad. Alcanzar un uso apropiado del mando, así como el uso de los botones A y B, tomó más tiempo. En principio, consideramos esta situación en base a un reporte previo que muestra que los niños autistas tienen una menor fuerza de agarre con las manos, que resulta de una debilidad muscular.<sup>27</sup> Tomando esto en cuenta para nuestros participantes, podemos argumentar que fueron entrenando sus músculos no sólo para tener más fuerza para el mando, sino también para ejecutar movimientos más precisos. Aunque el uso del botón B (aquel que queda fuera de la vista) fue más difícil, especialmente para los niños en comparación con las niñas, consideramos que esto no fue un efecto del agarre del mando. Proponemos que este resultado se debe de una habilidad reducida para localizar objetos que están fuera del campo visual, lo que refleja una baja percepción espacial. Como ya se ha reportado, la percepción espacial y las reacciones visuales son habilidades que se mejoran en los adultos mayores en respuesta al ejercicio.<sup>28</sup> Aquí observamos que los niños autistas responden de igual manera. Con ello, aunque nuestros niños empezaron con dificultades para usar el botón B, el entrenamiento constante los estimuló para adquirir la habilidad de una mayor percepción espacial.

Las habilidades cognitivas aparecieron a medida que los participantes jugaban. Aprender a acertar al blanco y obtener puntajes, identificar los deportes, o identificar si su mando era el blanco o el azul, fueron respuestas conductuales que indicaban que estaban aprendiendo y estaban siendo conscientes de las reglas. En principio, el aprendizaje de nuevos movimientos de niños con autismo se realiza

sin ser conscientes del propósito,<sup>29</sup> y aquí observamos que nuestros niños estuvieron primero aprendiendo actos motores sólo con el propósito de repetir el movimiento del avatar en la pantalla, pero sin la intención de tener un puntaje. Sin embargo, la habilidad motora estimuló el interés por los puntajes y el despliegue de otras conductas que indicaron un incremento en el proceso cognitivo. El enlace entre la habilidad motora y el proceso cognitivo es un mecanismo central que parece que tiene una base neural importante en el cerebelo, una estructura del sistema nervioso central que subyace aspectos significativos del control motor,<sup>30</sup> que está involucrado en la cognición motora,<sup>31,32</sup> y diversas tareas cognitivas,<sup>33,34</sup> y es una estructura que muestra alteraciones significativas en el autismo.<sup>1,21</sup> Por lo tanto, proponemos la hipótesis de que la ejecución de movimientos continuos puede ayudar a incrementar las habilidades cognitivas en sujetos con autismo, quizás a través de la modificación de la actividad del cerebelo. En breve, la ejecución constante y controlada de movimientos estimulada con deportes virtuales, es una técnica apropiada para mejorar la potencia cognitiva de personas con autismo.

En menores con desarrollo típico, la observación pasiva de movimientos ejecutados por otra persona es un estímulo significativo para el ambiente social, y este estímulo puede venir tanto de una situación en vivo como de una en video.<sup>35</sup> Aquí observamos que esta condición sucedió también en nuestros menores después de un periodo largo de estimulación virtual, ya que llegaron a ser verdaderos espectadores con respecto al juego de sus compañeros. Los niños no sólo llegaron a poner atención al competidor, sino que estuvieron interesados como espectadores en el juego de otros participantes. Además, esta situación disparó diferentes vocalizaciones que incluyeron en algunos casos oraciones completas con un significado apropiado para el momento, una conducta que no se presentó al principio de los experimentos, y estas expresiones vocales incluyeron despliegues emocionales como aquellos que se observan en espectadores de deportes.

Aunque el sistema de comunicación emocional de los niños con autismo puede ser heterogéneo,<sup>36</sup> aquí observamos que estas expresiones estuvieron directamente relacionadas con el resultado del juego, por lo que los niños fueron adquiriendo la habilidad de entender y responder emocionalmente a los resultados mientras jugaban u observaban a sus compañeros. Todos estos resultados mostraron la efectividad de la estimulación con deportes virtuales para incrementar el lenguaje emocional de niños autistas. Previamente había sido reportado que la realidad virtual integra un conjunto importante de estímulos que mejoran el aprendizaje en el autismo,<sup>37</sup> e incluso el uso actual de modernos dispositivos táctiles, tal como el iPad (Apple, Inc.), ha mostrado una mejora sustancial de las habilidades de comunicación de estudiantes autistas.<sup>38</sup> Con ello, nuestros resultados apoyan la idea de que diferentes paradigmas de estimulación virtual pueden incrementar no sólo las habilidades motoras en el autismo, sino también las cognitivas en el uso del lenguaje verbal y en la expresión de emociones.

Otro resultado significativo fue la mejora en la socialización. Esta fue una respuesta conductual que observamos en todos los menores del estudio. Aunque se sabe que el decremento en el contacto social representa una de las manifestaciones características del autismo, aquí observamos que la estimulación virtual incrementó la socialización entre los niños durante los periodos de juego. Un resultado cualitativo a destacar es la de una de las niñas que recibió de regalo navideño un equipo Wii en su domicilio particular. En la sesión que le correspondió jugar dentro del experimento, ella reunió a sus compañeros alrededor del Wii y les mostró un juego que nosotros nunca les enseñamos y enseguida proyectó el Golf que descubrió en su equipo de casa. Desde ese día, los niños solicitaban jugar Golf (otro juego de objetivo fijo). Así, en adición a todas las respuestas registradas, esta situación anecdótica refleja la habilidad de los niños con autismo a adquirir una

comunicación apropiada. Ya se ha destacado que existe una red neural social que presenta regiones cerebrales disfuncionales en el autismo,<sup>39</sup> así como los diferentes tratamientos farmacológicos que buscan mejorar el dominio social de los individuos en el espectro usando hormonas o neurotransmisores y otras moléculas de la transmisión sináptica.<sup>40</sup> Aunque estos acercamientos son relevantes, aquí mostramos que un paradigma de estimulación conductual empleando juegos virtuales puede impulsar la socialización en niños con autismo.

Finalmente, es importante destacar que, aunque no fue significativo en todos los parámetros registrados, las niñas adquirieron las habilidades más rápido que los niños. Algunas diferencias en género ya han sido reportadas en niños con autismo,<sup>41</sup> y las niñas parecen tener varias características distintivas.<sup>42</sup> De acuerdo con ello, la noción que prevalece de que ambos sexos tienen una expresión equivalente de autismo se sugiere como una sobresimplificación.<sup>43</sup> La expresión del autismo difiere entre los sexos, y en un estudio reciente se ha mostrado que existe también una diferencia de género en la generación de memorias, siendo superior en las niñas aún en puntajes de fluencia verbal.<sup>44</sup> En este trabajo observamos una marcada diferencia de género en respuesta al reto del Wii, con una tendencia de las niñas a adquirir las habilidades más rápido que los niños, a pesar de que ambos sexos eventualmente adquirieron las habilidades. Se requieren de mayores estudios para delinear las bases biológicas de estas diferencias, aunque los resultados de nuestro estudio revelan que se debe poner atención especial no sólo en la evaluación particular de las niñas y niños en el espectro, sino también en términos de los diferentes tratamientos que reciben.

## 5. Conclusiones

El uso de un paradigma controlado de estimulación virtual es un procedimiento apropiado para incrementar las habilidades

motoras y cognitivas de niños autistas. La temporalidad en adquisición de habilidades muestra una diferencia de género que requiere de mayores estudios.

## 6. Conflicto de Interés

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés.

## 7. Consideraciones Éticas

Todos los procedimientos realizados en este estudio estuvieron de acuerdo a los estándares éticos de las instituciones participantes, así como de la Declaración de Helsinki 1964 y ediciones posteriores.

## 8. Consentimiento Informado

Todos los padres de los niños en este estudio emitieron un consentimiento informado para la inclusión de sus hijos como participantes.

## 9. Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por donativos al Cuerpo Académico de Neurociencias (UV-CA-28) y al Cuerpo Académico de Neuroquímica (UV-CA-304). Se recibió constantemente un apoyo especial del Centro de Rehabilitación Infantil de Veracruz (CRIVER) de la Cd. de Veracruz, y de las familias de los niños involucrados en el estudio. Este trabajo es parte de la Tesis de Doctorado de Crespo-Cortés CN (Beca Conacyt No. 287846).

## 10. Referencias

1. Amaral DG, Schumann CM, Nordahl CW. Neuroanatomy of autism. *Trends Neurosci.* 2008 31:137-145.
2. Kanner. Autistic disturbances of affective contact. *Nerv Child.* 1943 2:217-250.
3. Travers BG, Powell PS, Klinger LG, Klinger MR. Motor difficulties in autism spectrum disorder: Linking symptom severity and postural stability. *J Autism Dev Disord.* 2013 43:1568-1583.
4. Pegoraro LF, Setz EZ, Dalgalarondo P. Ethological approach to autism spectrum disorders. *Evol Psychol.* 2014 12:223-244.
5. Fransen J, Deprez D, Pion J, Tallir IB, D'Hondt E, Vaeyens R, et al. Changes in physical fitness and sports participation among children with different levels of motor competence: A 2-year longitudinal study. *Pediatr Exerc Sci.* 2014 26:11-21.
6. Gonçalves GB, Leite MA, Orsini M, Pereira JS. Effects of using the nintendo wii fit plus platform in the sensorimotor training of gait disorders in Parkinson's disease. *Neurol Int.* 2014 6:5048.
7. Shih CH, Wang SH, Wang YT. Assisting children with attention deficit hyperactivity disorder to reduce the hyperactive behavior of arbitrary standing in class with a nintendo wii remote controller through an active reminder and preferred reward stimulation. *Res Dev Disabil.* 2014 35:2069-2076.
8. Choi JH, Han EY, Kim BR, Kim SM, Im SH, Lee SY, Hyun CW. Effectiveness of commercial gaming-based virtual reality movement therapy on functional recovery of upper extremity in subacute stroke patients. *Ann Rehabil Med.* 2014 38:485-493.
9. Yong Joo L, Soon Yin T, Xu D, Thia E, Pei Fen C, Kuah CW, Kong KH. A feasibility study using interactive commercial off-the-shelf computer gaming in upper limb rehabilitation in patients after stroke. *J Rehabil Med.* 2010 42:437-441.
10. Dickinson K, Place M. A randomised control trial of the impact of a computer-based activity programme upon the fitness of children with autism. *Autism Res Treat.* 2014 2014:419653.
11. Getchell N, Miccinello D, Blom M, Morris L, Szaroleta M. Comparing energy expenditure in adolescents with and without autism while

- playing Nintendo (®) wii (™) games. *Games Health J.* 2012 1:58-61.
12. Anderson F, Annett M, Bischof WF. Lean on wii: Physical rehabilitation with virtual reality wii peripherals. *Stud Health Technol Inform.* 2010 154:229-234.
  13. Woo CC, Leon M. Environmental enrichment as an effective treatment for autism: A randomized controlled trial. *Behav Neurosci.* 2013 127:487-497.
  14. Krech D, Rosenzweig MR, Bennett EL. Effects of environmental complexity and training on brain chemistry. *J Comp Physiol Psychol.* 1960 53:509-519.
  15. Ickes BR, Pham TM, Sanders LA, Albeck DS, Mohammed AH, Granholm AC. Long-term environmental enrichment leads to regional increases in neurotrophin levels in rat brain. *Exp Neurol.* 2000 164:45-52.
  16. Kempermann G, Fabel K, Ehninger D, Babu H, Leal-Galicia P, Garthe A, Wolf SA. Why and how physical activity promotes experience-induced brain plasticity. *Front Neurosci.* 2010 4:189.
  17. Rossi C, Angelucci A, Costantin L, Braschi C, Mazzantini M, Babbini F, et al. Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) is required for the enhancement of hippocampal neurogenesis following environmental enrichment. *Eur J Neurosci.* 2006 24:1850-1856.
  18. Van Praag H, Kempermann G, Gage FH. Neural consequences of environmental enrichment. *Nat Rev Neurosci.* 2000 1:191-198.
  19. Viola GG, Rodrigues L, Américo JC, Hansel G, Vargas RS, Biasibetti R, et al. Morphological changes in hippocampal astrocytes induced by environmental enrichment in mice. *Brain Res.* 2009 1274:47-54.
  20. Vazquez-Sanroman D, Segura CS, Toledo R, Hernández ME, Manzo J, Miquel M. The effects of enriched environment on BDNF expression in the mouse cerebellum depending on the length of exposure. *Behav Brain Res.* 2013.
  21. Rogers TD, McKimm E, Dickson PE, Goldowitz D, Blaha CD, Mittleman G. Is autism a disease of the cerebellum? An integration of clinical and pre-clinical research. *Front Syst Neurosci.* 2013 7:15.
  22. Miquel M, Toledo R, García LI, Coria-Avila GA, Manzo J. Why should we keep the cerebellum in mind when thinking about addiction? *Curr Drug Abuse Rev.* 2009 2:26-40.
  23. Courchesne E, Townsend J, Akshoomoff NA, Saitoh O, Yeung-Courchesne R, Lincoln AJ, et al. Impairment in shifting attention in autistic and cerebellar patients. *Behav Neurosci.* 1994 108:848-865.
  24. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. American Psychiatric Association, Arlington, VA. 2013.
  25. Rizzolatti G, Fabbri-Destro M. Mirror neurons: From discovery to autism. *Exp Brain Res.* 2010 200:223-237.
  26. Martineau J, Andersson F, Barthélémy C, Cottier JP, Destrieux C. Atypical activation of the mirror neuron system during perception of hand motion in autism. *Brain Res.* 2010 1320:168-175.
  27. Kern JK, Geier DA, Adams JB, Troutman MR, Davis GA, King PG, Geier MR. Handgrip strength in autism spectrum disorder compared with controls. *J Strength Cond Res.* 2013 27:2277-2281.
  28. Fragala MS, Beyer KS, Jajtner AR, Townsend JR, Pruna GJ, Boone CH, et al. Resistance exercise may improve spatial awareness and

- visual reaction in older adults. *J Strength Cond Res.* 2014 28:2079-2087.
29. Travers BG, Klinger MR, Mussey JL, Klinger LG. Motor-linked implicit learning in persons with autism spectrum disorders. *Autism Res.* 2010 3:68-77.
  30. Bastian AJ. Learning to predict the future: The cerebellum adapts feedforward movement control. *Curr Opin Neurobiol.* 2006 16:645-649.
  31. Fuentes CT, Bastian AJ. 'Motor cognition' - what is it and is the cerebellum involved? *Cerebellum.* 2007 6:232-236.
  32. Van Mier HI, Petersen SE. Role of the cerebellum in motor cognition. *Ann N Y Acad Sci.* 2002 978:334.
  33. Strick PL, Dum RP, Fiez JA. Cerebellum and nonmotor function. *Annu Rev Neurosci.* 2009 32:413-434.
  34. Schutter DJ, van Honk J. An electrophysiological link between the cerebellum, cognition and emotion: Frontal theta EEG activity to single-pulse cerebellar TMS. *Neuroimage.* 2006 33:1227-1231.
  35. Jola C, Grosbras MH. In the here and now: Enhanced motor corticospinal excitability in novices when watching live compared to video recorded dance. *Cogn Neurosci.* 2013 4:90-98.
  36. Nuske HJ, Vivanti G, Dissanayake C. Are emotion impairments unique to, universal, or specific in autism spectrum disorder? A comprehensive review. *Cogn Emot.* 2013 27:1042-1061.
  37. Bellani M, Fornasari L, Chittaro L, Brambilla P. Virtual reality in autism: State of the art. *Epidemiol Psychiatr Sci.* 2011 20:235-238.
  38. Xin JF, Leonard DA. Using ipads to teach communication skills of students with autism. *J Autism Dev Disord.* 2014.
  39. Misra V. The social brain network and autism. *Ann Neurosci.* 2014 21:69-73.
  40. Canitano R. New experimental treatments for core social domain in autism spectrum disorders. *Front Pediatr.* 2014 2:61.
  41. Rinehart NJ, Cornish KM, Tonge BJ. Gender differences in neurodevelopmental disorders: Autism and fragile x syndrome. *Curr Top Behav Neurosci.* 2011 8:209-229.
  42. Kirkovski M, Enticott PG, Fitzgerald PB. A review of the role of female gender in autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord.* 2013 43:2584-2603.
  43. Lai MC, Lombardo MV, Suckling J, Ruigrok AN, Chakrabarti B, Ecker C, et al. Biological sex affects the neurobiology of autism. *Brain.* 2013 136:2799-2815.
  44. Goddard L, Dritschel B, Howlin P. A preliminary study of gender differences in autobiographical memory in children with an autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord.* 2014 44:2087-2095.