



Artículo de investigación

Habilitación de funciones frontales básicas en cardiopatas congénitos a través de LEGO® Education

Basic frontal functions qualification in congenital heart disease with LEGO® Education

Eduardo Espinosa-Garamendi^{1*}, Luis Antonio García-Benítez², Erika-Valenzuela Alarcón³ y Julieta Griselda Mendoza-Torreblanca⁴

1 Unidad de Habilitación Cognitiva, Instituto Nacional de Pediatría, Ciudad de México, México.

2 Coordinación de Investigación y Enseñanza, Kardias AC, Ciudad de México México.

3 Fundación Care & Share For Education, Ciudad de México, México.

4 Laboratorio de Neurociencias, Instituto Nacional de Pediatría, Ciudad de México, México.

Resumen

Las cardiopatías congénitas se consideran una de las anomalías que alteran la irrigación y el intercambio de oxigenación adecuado a las principales venas y arterias. Esto puede generar consecuencias en el desarrollo neurológico que se puede traducir en retraso psicomotor, déficits de aprendizaje, dificultades académicas y problemas de integración social. Para mejorar los trastornos cognitivos, se propone la habilitación cognitiva basada en los principios de mecánica y robótica de LEGO® Education. El objetivo de este estudio fue medir el efecto de un programa de intervención, basado en el uso de ensamblado y programación robótica con LEGO® Education, sobre las funciones frontales básicas como primera aproximación a un modelo propuesto en pacientes cardiopatas congénitos que han sido sometidos a cirugía cardiovascular. Se trató de un estudio de serie de casos, en el que finalizaron el tratamiento una niña y dos niños con cardiopatías congénitas con RACHS 2 y 3. Se aplicaron sub-escalas BANFE-2 y el cuestionario neuropsicológico de daño frontal antes y después del tratamiento; así como una escala para medir el nivel de ejecución por intervención, durante las ocho sesiones. Los resultados muestran en la escala BANFE-2, cambios en las medias de las funciones frontales básicas, de daño leve-moderado y normal a normal alto, principalmente en memoria de trabajo y fluidez verbal. En esta primera aproximación, el método LEGO® Education mostró ser una buena herramienta para la habilitación neuropsicológica de estos pacientes.

Palabras clave: Habilitación cognitiva, funciones frontales básicas, cardiopatías congénitas, LEGO® Education

Abstract

Congenital heart diseases are considered to be an anomaly which alter the irrigation and the adequate exchange of oxygenation to the main veins and arteries. They can have neurodevelopmental consequences that could translate into psychomotor retardation, learning deficits, academic difficulties, and social integration problems. Cognitive empowerment based on the mechanics and robotics principles of LEGO® Education is proposed to improve cognitive disorders. In this study, the objective was to measure the effect of an intervention program, based on the use of assembly and robotic programming with LEGO® Education, upon basic frontal functions as a first approach to a proposed model in congenital heart disease patients who have undergone cardiovascular surgery. This was a case-series study, in which a girl and two boys with congenital heart disease with RACHS 2 and 3, completed the treatment. BANFE-2 subscales and the neuropsychological questionnaire of frontal damage were applied before and after the treatment; as well as a scale to measure the level of performance per intervention, through all the eight sessions. The BANFE-2 scale showed changes in the means of frontal functions, from mild-moderate damage and normal to high normal, mainly in working memory and verbal fluency. In this first approach, LEGO® Education method proved to be a useful tool for the neuropsychological empowerment of these patients.

Keywords: Cognitive enablement, basic frontal lobe functions, congenital heart disease, LEGO® Education

Introducción

Los defectos del nacimiento como las cardiopatías congénitas (CC), pueden llegar a generar alteraciones en el sistema nervioso central, las CC pertenecen al grupo de enfermedades cardiovasculares que alteran la adecuada circulación sanguínea a través de las arterias cerebrales (Bellinger et al., 1995; Butler et al., 2019), principalmente las arterias frontales y prefrontales: carótida interna, cerebral anterior, frontobasal medial, frontopolar, frontal anteromedial, frontal mediomedial, pericallosa y frontal posteromedial (Ardila y Ostrosky, 2012). Esta inadecuada irrigación del parénquima cerebral puede ocasionar daños cognitivos y trastornos del neurodesarrollo (Newburger et al., 2012; Ríos-Lago, Benito-León, Lapedriza, y Tirapu-Ustároz, 2008; Schultz y Wernovsky, 2005).

El tratamiento correctivo más frecuente de las CC es el procedimiento quirúrgico, clasificado por rangos de complejidad dependiendo del tipo de malformación en el corazón, y definido por la escala RACHS-1 (Jenkins y Gauvreau, 2002). Las intervenciones cardiovasculares conllevan otros factores que pueden incrementar el daño cognitivo (DC), como la hipoperfusión sanguínea, la hipotermia o la neurotoxicidad, en especial en procedimientos quirúrgicos prolongados. El grado de DC está relacionado al tipo de CC y a la complejidad quirúrgica, ya que estas cirugías complejas conllevan mayor exposición a una inadecuada irrigación cerebral (Barnes, 2020; Mendoza-Sánchez, Hernández-Negrete, Cázarez-Ortiz, González, y Guido-Campuzano, 2020). En estos pacientes se han detectado anomalías fisiológicas cerebrales, principalmente en las ondas theta y en el área comunicativo-lingüística (Esquivel-Hernández, Mendieta-Alcántara, Pliego-Rivero, y Otero-Ojeda, 2015). Estas condiciones se traducen, en la mayoría

* Correspondencia: Dr. Eduardo Espinosa Garamendi. Instituto Nacional de Pediatría, Unidad de Habilitación Cognitiva. Av. Insurgentes Sur 3700, Insurgentes Cuicuilco, Coyoacán, 04530 Ciudad de México, CDMX, E-mail: eduardogaramendi@hotmail.com

de las veces, en retraso psicomotor, déficits de aprendizaje, dificultades académicas y problemas de integración social (Salamanca-Zarzuela, Morales-Luego, Alcalde-Martin, y Centeno-Malfaz, 2018).

De acuerdo a reportes, en las CC el detrimento cognitivo comienza en la edad posnatal en donde se han encontrado deficiencias en organización motora, organización atencional, función motro-oral y organización autónoma (Avila-Alvarez et al., 2012; Bellinger et al., 1995; Butler et al., 2019; Newburger et al., 2012, 2003; Salamanca-Zarzuela et al., 2018; Sterken, Lemiere, Vanhorebeek, Van den Berghe, y Mesotten, 2015; Wernovsky y Licht, 2016); como consecuencia a estos primeros sesgos en el neurodesarrollo, en la infancia se disminuye la función motriz, social, lenguaje y atención (Clancy, Jordan, de Weerth, y Muscara, 2020; Mebius, Kooi, Bilardo, y Bos, 2017; Mills, McCusker, Tennyson, y Hanna, 2018; Siciliano et al., 2019).

En etapa escolar se han encontrado problemas académicos, conductuales, de atención, memoria de trabajo y funciones ejecutivas (FE) (Newburger et al., 2012; Schultz y Wernovsky, 2005; Snookes et al., 2010), que deriva otros problemas del desarrollo en la adolescencia y edad adulta (Fontes et al., 2019; Karsdorp, Everaerd, Kindt, y Mulder, 2007; Salamanca-Zarzuela et al., 2018).

Como se ha mencionado con anterioridad, dentro de las funciones cognitivas asociadas a estos detrimentos en las CC están las FE. De acuerdo con el modelo conceptual del neurodesarrollo propuesto por Flores, Ostrosky-Solís y Lozano (2012) y retomado posteriormente por Castillo-Preciado y Jiménez-Miramonte (2014), las funciones frontales y prefrontales se clasifican en cuatro niveles jerárquicos del desarrollo cognitivo: funciones frontales básicas (FFB), sistema de memoria de trabajo, FE, y metafuciones. Las FFB y el sistema de memoria de trabajo se desarrollan durante el proceso de infancia temprana e infancia, mientras las FE lo hacen durante la infancia y adolescencia, por último, las metafuciones se desarrollan entre la adolescencia, juventud y edad adulta.

Las FFB, comienzan a desarrollarse en la infancia temprana comprendida a partir de los cinco años de edad, en donde se albergan algunos procesos interconectados como: control motriz, control inhibitorio, selección de riesgos, memoria de trabajo tanto visual, como verbal y memoria de trabajo viso-espacial, otro proceso de relevancia asociado a las primeras etapas es la fluidez verbal, esta función comienza en la infancia y finaliza en la adolescencia, sin embargo, es importante considerarla en el proceso de neurodesarrollo de las primeras etapas (Figura 1) (Flores et al., 2014; Flores Lázaro et al., 2012). Por lo anterior es importante examinar el neurodesarrollo de las FFB, y en su caso identificar alguna anomalía, para establecer estrategias que fomenten el desarrollo de las mismas (Arnedo Montoro, 2015). Para esto se proponen diversas alternativas para evitar el detrimento del desarrollo de las FFB, por ejemplo, algunos tipos de intervenciones neuropsicológicas para niños(as) en edad escolar, como el entrenamiento por medio de computadora, no computarizado, actividad física, etc. (Takacs y Kassai, 2019), que tienen como objetivo el incrementar la plasticidad cortical por medio de la reeducación funcional y estimular al sistema cognitivo para mejorar o reactivar este proceso (Ginarte-Arias, 2002; Moreno-Gea, 2001).

Figura 1

Esquema del modelo neuropsicológico del desarrollo de funciones frontales y prefrontales. Clasificación en cuatro niveles jerárquicos del desarrollo cognitivo: corteza prefrontal anterior (CPFA), corteza prefrontal dorso-lateral (CPDL), corteza prefrontal dorso-lateral (CPFDL), corteza orbitofrontal (COF) y corteza frontomedial (CFM) (Flores y Ostrosky, 2012).

Metafunciones (CPFA)	• Metamemoria • Comprensión de sentido figurado • Abstracción
Funciones ejecutivas (CPFDL)	• Fluidez verbal • Productividad • Generación de hipótesis de clasificación • Flexibilidad mental • Planeación visoespacial • Planeación secuencial • Secuencia inversa • Control de memoria (codificación) • Eficiencia (tiempo de ejecución)
Memoria de trabajo (CPFDL)	• Memoria de trabajo verbal • Memoria de trabajo visoespacial secuencial • Memoria de trabajo visual
Funciones frontales básicas (COF y CFM)	• Procesamiento riesgo-beneficio • Mantenimiento de respuestas positivas • Control inhibitorio • Control motriz • Detección de selecciones de riesgo

Se han desarrollado diferentes estrategias de reactivación cognitiva centradas en la ingeniería pedagógica que tienen como objetivo modificar la secuencia de las funciones cognitivas por medio de material didáctico basado en los principios de mecánica y robótica (Artigue, Douady, Moreno, y Gómez, 1995; Moreno-Gea, 2001). LEGO® Education, es una herramienta didáctica, fabricada por la empresa LEGO®, que posee elementos básicos de las teorías robóticas, como la unión de piezas y la programación de acciones en forma interactiva; utiliza *brick* (ladrillo) y la tecnología educativa como medio de aprendizaje (EDACOM, 2020). Su principal objetivo es el diseño y construcción de creaciones propias o pre-diseñadas mecánicas y robóticas; estas creaciones se dan en primer lugar de forma mental y, posteriormente, en forma física; y son construidas con diferentes tipos de materiales y controladas por un sistema computacional (León-Flores, 2019).

Las estrategias basadas en Lego® Education parten de los principios de las teorías constructivistas y cognitivo-conductuales, principalmente irradiación y concentración (como de inducción mutua) que tienen como objetivo que, por medio de estímulos externos, se generen cambios en la organización de redes neuronales que las sobre-excitación y que puedan resultar en cambios a largo plazo en el sistema cognitivo (Arnedo Montoro, 2015; Bayona, Prieto, y León-Sarmiento, 2011; Garcés-Vieira y Suárez-Escudero, 2014; Ustároz, 2011a; Ustároz, 2011b).

La adaptación de los materiales de LEGO® Education en la modalidad terapéutica, proporciona un medio a través del cual los niños(as) con detrimentos cognitivos y sociales pueden mejorar (Cook, Adams, Volden, Harbottle, y Harbottle, 2011; Kolne, Bui, y Lindsay, 2020; LeGoff, 2004; Legoff y Sherman, 2006). Se ha reportado incremento en las habilidades sociales y de comunicación, comportamientos específicos y en las relaciones familiares de niños(as) y jóvenes que fueron intervenidos con terapia de LEGO® (Hu, Zheng, y Lee, 2018). Además, la interacción con el robot se ha propuesto como una medida indirecta para la estimulación cognitiva de los niños(as) (Cook et al., 2011; Kolne et al., 2020).

Los estudios antes mencionados, apoyan el uso de técnicas de habilitación cognitiva para mejorar las funciones mentales (Cook et al., 2011; Hu et al., 2018; Lindsay, Hounsell, y Cassiani, 2017). Sin embargo, hasta ahora, no se ha realizado este tipo de ensayos clínicos en pacientes pediátricos con CC, por lo que el propósito de este proyecto fue identificar si el programa de intervención, basado en el modelo de integración dirigida mediante el uso de robótica y mecánica con LEGO® Education, genera cambios en las FFB, en especial en la memoria de trabajo y en la fluidez verbal, en pacientes operados de CC.

Metodología

Estudio de casos, en niños operados de corazón por diagnóstico de cardiopatías congénitas. En el estudio se aplicaron pruebas neuropsicológicas previo y posterior a una intervención. La selección de la muestra fue a conveniencia, intencional y de participación voluntaria.

Participantes

Se contactó por medio telefónico a tutores de pacientes del servicio de cirugía cardiovascular del Instituto Nacional de Pediatría (INP), en la Ciudad de México, con diagnóstico de CC y que fueron sometidos a cirugía cardiovascular. Aceptaron participar en el estudio ocho pacientes de los cuales finalizaron la intervención una niña y dos niños. Los tutores de los cinco participantes que no concluyeron el tratamiento, informaron que a consecuencia de la pandemia generada por el SARS-COV2, perdieron el empleo lo que imposibilitó su asistencia al INP, una vez a la semana.

Instrumentos

Para medir las FFB se utilizó la Batería de Funciones Ejecutivas (BANFE-2) en su versión original, este instrumento se utiliza para la evaluación de los procesos cognitivos que dependen principalmente de la corteza prefrontal. Se incluyó la evaluación de las funciones: señalamiento auto-dirigido, memoria de trabajo visoespacial secuencial, memoria de trabajo verbal, ordenamiento, clasificación de cartas, laberintos, torre de Hanoi, resta consecutiva y generación de verbos, clasificaciones semánticas, selección de refranes y curva de meta-memoria. Además, se aplicó un cuestionario neuropsicológico de daño frontal, auto-aplicable para el cuidador o tutor del sujeto a evaluar.

La intervención de funciones frontales se midió con la escala de evaluación para ejecución LEGO® de funciones frontales: Escala de tipo Likert,

Tabla 1
Intervención de las funciones frontales básicas

Sesión 1	Sesión 2–4	Sesión 5	Sesión 6–8
-Ensamblado básico: torre de bloques y ensamble libre. -Bloques memoria: El terapeuta ensambla de entre 2 a 6 bloques, muestra el modelo a replicar y lo retira, para su réplica. -Bloques de etiquetas: Se etiquetan bloques con nombre correspondiente al color y no correspondiente al color para ensamblar torres de acuerdo al color y de acuerdo a la palabra o inicial de la palabra. -Comandos básicos: Se le enseña al paciente comandos básicos de programación y las partes de un robot. -Modelo armado a elección o mecánica inicial: Se arma junto al paciente la plantilla de su elección de acuerdo al set máquinas simples.	Ensamblado básico: torre de bloques y ensamble libre. -Bloques memoria: El terapeuta ensambla de entre 2 a 6 bloques, muestra el modelo a replicar y lo retira, para su réplica. -Bloques de etiquetas: Se etiquetan bloques con nombre correspondiente al color y no correspondiente al color para ensamblar torres de acuerdo al color y de acuerdo a la palabra o inicial de la palabra. -Ensamble de robot a un motor WeDo 2.0: El reto es de programación básica, avanzar, retroceder segundos, comandos de detenerse y tiempo. -Reto de programación: Consiste en con lo aprendido previamente desarrollar la resolución del problema sin programación y posteriormente de exponerlo, ejecutarlo.	-Bloques memoria: El terapeuta ensambla de entre 2 a 6 bloques, muestra el modelo a replicar y lo retira, para su réplica. -Bloques de etiquetas: Se etiquetan bloques con nombre correspondiente al color y no correspondiente al color para ensamblar torres de acuerdo al color y de acuerdo a la palabra o inicial de la palabra. - Programación de motor y dos sensores WeDo 2.0: Programación de sensores y reconocimiento de funciones iconográficas de comandos. -Reto de un motor y dos sensores: El terapeuta señala el reto dependiendo el tipo de ensamble realizado (tiempo, rescate, cambio de colores, detenerse, etc.)	-Bloques memoria: El terapeuta ensambla de entre 2 a 6 bloques, muestra el modelo a replicar y lo retira, para su réplica. -Bloques de etiquetas: Se etiquetan bloques con nombre correspondiente al color y no correspondiente al color para ensamblar torres de acuerdo al color y de acuerdo a la palabra o inicial de la palabra. -Programación de 2 motores y 2 o 3 sensores: se enseñan los nuevos comandos de programación. -Ensamble de robot SPIKE™: Selección de diferentes modelos de armado. -Programación y reto: Dependiendo el set de armado elegido se procede a programar y desarrollar reto de programación (segundos, grados, detección de colores, movimientos, detener con sensor, etc.)

Tabla 2
Resultados de los puntajes codificados pre-test y pos-test de las funciones frontales básicas obtenidas en cada sujeto

Sujeto	CM		CI		MT		MTVE		SR		FV		TFFB		CDF	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
1	12 (80%) normal alto	15 (100%) normal alto	172 (91,5%) normal alto	188 (100%) normal alto	9 (60%) normal	14 (93,3%) normal alto	35 (71,4%) normal	45 (87,7%) normal alto	9 (90%) normal alto	10 (100%) normal alto	4 (40%) daño leve moderado	6 (60%) normal	241 (85,1%) normal alto	278 (98,2%) normal alto	12 (30%) funcional	9 (22,5%) funcional
2	11 (73,3%) normal	15 (100%) normal alto	167 (82,8%) normal alto	188 (100%) normal alto	9 (60%) normal	12 (80,0%) normal alto	41 (83,7%) normal	41 (83,7%) normal alto	9 (90%) normal alto	9 (90%) normal alto	4 (44,4%) daño leve moderado	9 (100%) normal alto	241 (85,1%) normal alto	277 (97,9%) normal alto	8 (20%) funcional	2 (5,0%) funcional
3	12 (80,0%) normal alto	15 (100%) normal alto	171,4 (91,2%) normal alto	188 (100%) normal alto	5 (33,3%) daño leve moderado	15 (100%) normal alto	32 (65,3%) normal	49 (100%) normal alto	8 (80%) normal alto	10 (100%) normal alto	4 (44,4%) daño leve moderado	9 (100%) normal alto	232,4 (82,1%) normal alto	282 (100%) normal alto	19 (47,5%) funcional	13 (35,0%) funcional

Nota: FFB= Funciones frontales básicas (control motriz CM, control inhibitorio CI, memoria de trabajo MT, memoria de trabajo viso-espacial MTVE, selección de riesgos SR, fluidez verbal FV y total de funciones frontales básicas TFFB), Daño frontal (CDF). Se resaltan con letras negritas los cambios más importantes.

desarrollada por los investigadores de acuerdo al tipo de ejecución conductual. Se basó en las FFB (Flores et al., 2014). Se clasificó en: 0 = No ejecuta; 1 = Le cuesta trabajo ejecutar; 2 = Ejecuta y 3 = Ejecuta con facilidad. Para cuantificar el coeficiente de validez de contenido de la escala se utilizó el procedimiento de Hernández-Nieto (2002), con puntajes de jueceo de 0.80 a 0.90, indicando un coeficiente de validez y concordancia aceptables.

La complejidad de la intervención quirúrgica se categorizó por medio del nivel de riesgo de la cirugía cardíaca de los pacientes en categorías 1, 2, 3, 4 5, 6; de la escala RACHS-1 (Jenkins y Gauvreau, 2002).

Procedimientos

El protocolo se aplicó en tres momentos: En el primero, se solicitó la carta de consentimiento informado a los tutores y, posteriormente, se aplicaron las sub-pruebas de la BANFE-2, y el cuestionario de daño frontal con duración de 60 minutos. En la segunda etapa se citaron a los niños para llevar a cabo ocho intervenciones de 60 minutos una vez a la semana, aplicando la escala para evaluar ejecución con el material LEGO® Education. En la última etapa, se realizó una evaluación final de 60 minutos a los pacientes que fina-

lizaron el tratamiento. Las intervenciones se llevaron a cabo por neuropsicólogos y neuropedagogos capacitados en LEGO® Education Academy y EDACOM.

Intervención

La intervención fue diseñada a partir de la conceptualización y operacionalización de variables neuropsicológicas de las FFB y la BANFE-2 (Flores et al., 2014; Lázaro y Solís, 2008) (Tabla 1). Las sesiones fueron realizadas de forma individual en la Unidad de Rehabilitación Cognitiva, dentro de las instalaciones del INP.

Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico se utilizaron los programas Microsoft Excel 2016 y STATA 17.0 (Stata Corp, College Station, TX, USA). Partiendo de estadísticas descriptivas con el fin de establecer las características de la población. Las variables cualitativas se reportaron en frecuencias y proporciones, mientras las cuantitativas se presentaron como mediana y rango intercuartil.

Consideraciones éticas

La investigación se comenzó a partir de la aprobación del proyecto por parte del Comité de Investigación y del Comité de Ética en Investigación en Humanos del INP, con registro de aprobación No. 2020/051.

Resultados

Los pacientes que finalizaron el programa fueron tres, dos niños, sujeto 1 de 8 años con RACHS-1 categoría tipo 3, sujeto 2 de 11 años con RACHS-1 categoría tipo 2, y sujeto 3, una niña de 9 años con RACHS-1 categoría tipo 3. En la Tabla 2 se muestran las puntuaciones obtenidas en el pre-test y el post-test de las FFB de control motriz, control inhibitorio, memoria de trabajo (tanto visual, como verbal), memoria de trabajo viso-espacial, selección de riesgos, fluidez verbal y el total de las FFB; además de los resultados del cuestionario neuropsicológico de daño frontal. Los resultados muestran cambios en las FFB, evaluadas mediante la escala BANFE-2, resaltando el aumento en las puntuaciones de la memoria de trabajo y la memoria de trabajo viso-espacial que cambiaron de normal (o daño leve moderado) a normal alto, y en la fluidez verbal que mejoró de daño leve-moderado a normal y normal alto.

Tabla 3

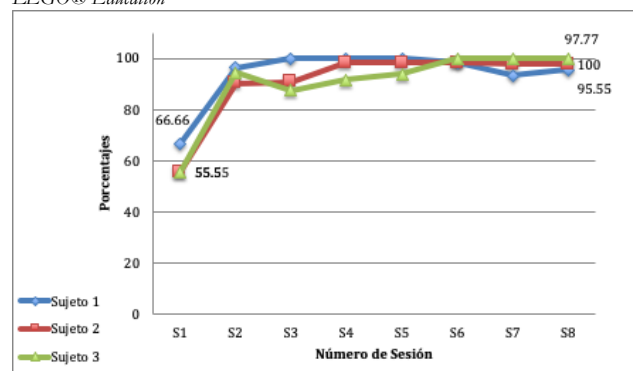
Resultados de porcentajes y medianas pre-test y pos-test para muestras relacionadas de las funciones frontales básicas

FFB	Pre-test Mediana (rango intercuartil)	Pos-test Mediana (rango intercuartil)
CM	80 (73,3-90)	100 (100-100)
CI	83,8 (60,6-91,1)	100 (100-100)
MT	26,6 (20-53,3)	93,3 (80-100)
MTVE	68,3 (62,2-81,6)	91,8 (87,7-100)
SR	90 (80-95)	100 (90-100)
FV	27,2 (10-44,4)	100 (60-100)
TFFB	78,8 (61,8-83,9)	98,2 (97,8-100)
DF	35,25 (25-43,75)	22,5 (5-35)

Nota: FFB= Funciones frontales básicas (control motriz CM, control inhibitorio CI, memoria de trabajo MT, memoria de trabajo viso-espacial MTVE, selección de riesgos SR, fluidez verbal FV y total de funciones frontales básicas TFFB). Daño frontal (DF).

Figura 2

Porcentajes por sesiones de la escala de ejecución para funciones frontales básicas con LEGO® Education



Nota: S= sesión y el número correspondiente a la misma.

En la Tabla 3 se muestra un resumen en donde se pueden observar los cambios en las medianas por función frontal: control motriz (80-100), control inhibitorio (83,8-100), memoria de trabajo (26,6-93,3), memoria de trabajo viso-espacial (68,3-91,8), selección de riesgos (90-100), fluidez verbal (27,2-100) y el total de las FFB (78,8-98,2). De acuerdo con las medianas, se observó un incremento en todas las funciones, después de la intervención a los pacientes que lograron finalizar las sesiones de tratamiento. En cuanto al

resultado del cuestionario de daño frontal se obtuvo un pre de 35,25 y un pos-test de 22,5, lo que nos indica en ambos una conducta de tipo funcional de acuerdo al reporte de los padres.

Por último, se observó una tendencia ascendente en la escala de ejecución de FFB mediante LEGO® Education, a partir del incremento de ejecución en la segunda y tercera intervención; en las sesiones cuatro en adelante, se observó un mantenimiento y en las sesiones finales mantenimiento de ejecución (Figura 2).

Discusión

En este estudio se revisaron diferentes aspectos relacionados al diagnóstico y habilitación de FFB, en pacientes pediátricos con CC. Diversos autores han observado que, en esta condición, derivada de factores fisiológicos congénitos y quirúrgicos, los pacientes pueden presentar daño cognitivo que resulta en el deterioro de distintas FF (Barnes, 2020; Mendoza-Sánchez et al., 2020; Newburger et al., 2012; Schultz y Wernovsky, 2005).

Para disminuir el detrimento de estas funciones existen diversas alternativas, entre las que se encuentran los sets de estimulación cognitiva centrados en la ingeniería pedagógica basados en los principios de mecánica y robótica con LEGO® Education (Artigue et al., 1995; Cook et al., 2011; Hu et al., 2018; Kolne et al., 2020; Sánchez-Carpintero y Narbona, 2004). Sin embargo, hasta ahora, no se habían realizado este tipo de ensayos clínicos en pacientes pediátricos con CC, por lo que el propósito de este proyecto fue describir si el programa de intervención, basado en el modelo de integración dirigida mediante el uso de robótica, genera cambios en la activación de FFB en pacientes cardiopatas congénitos después de la cirugía cardiovascular.

En esta primera aproximación experimental, nuestros resultados diagnósticos mostraron que pacientes con RACHS-1 de categorías 2 y 3 (Calderón-Colmenero, Marroquín, y Salazar, 2008; Jenkins y Gauvreau, 2002), presentaron daño moderado o severo en funciones como fluidez verbal y memoria de trabajo. Sin embargo, las funciones de control motriz, control inhibitorio, memoria de trabajo viso-espacial y selección de riesgos, se clasificaron como normal y normal alto. Además, de acuerdo a la evaluación de la ejecución conductual de tareas complejas durante las intervenciones, se mostró que, inicialmente, los pacientes tenían dificultad para ejecutar instrucciones como la de los retos a resolver. Cabe mencionar, que el detrimento en FFB durante las etapas del neurodesarrollo, como memoria de trabajo y fluidez verbal, puede generar impacto a nivel académico, principalmente en lógica matemática y en los procesos de comprensión lecto-escritura. Por lo que este déficit que limita los procesos ya mencionados, probablemente impactaría en conductas de interacción social y asertividad en comunicación, impactando finalmente en una calidad de vida adulta limitada (Salamanca-Zarzueta et al., 2018).

Luego, los resultados de antes y después de la intervención mostraron que los pacientes con diagnóstico normal y normal-alto no sólo se mantuvieron, sino, en el caso de la evaluación de alguna función con daño leve-moderado o normal, ésta se incrementó a normal o normal-alto, respectivamente; se observó mejoría en las funciones de memoria de trabajo, memoria de trabajo viso-espacial y fluidez verbal como lo refiere Takacs y Kassai (2019), sobre las intervenciones computarizadas y no computarizadas de FFB.

Por otra parte, con base en la relación de déficits cognitivos durante el desarrollo del cardiopata, el detrimento reportado en función motriz, interacción social, retraso en el lenguaje, atención, memoria de trabajo, impulsividad, problemas académicos y FE, en este estudio se observó detrimento en las FFB, de fluidez verbal y memoria de trabajo, lo que resultó en rangos de diagnóstico moderado y severo; estos resultados están de acuerdo con los mostrados por Fontes et al. (2019) y Karsdorp et al. (2007), sobre daños cognitivos en CC, en donde observaron que niños(as) y adolescentes con CC más graves presentan mayor daño en capacidades organizativas, perceptuales y déficits en auto-regulación.

Asimismo, de acuerdo al neurodesarrollo de las FFB, se esperaría el desarrollo óptimo de las funciones de selección de riesgos, memoria de trabajo, memoria de trabajo viso-espacial, control motriz y control inhibitorio dando paso a la optimización de la fluidez verbal que se encuentra en desarrollo desde la infancia (Ardila y Ostrosky, 2012; Flores et al., 2014; Flores Lázaro et al., 2012). En esta investigación se observó que las funciones memoria de trabajo viso-espacial, selección de riesgos, control motriz y control inhibitorio se encontraban en el nivel de desarrollo esperado, sin embargo, la memoria de trabajo y la fluidez verbal se diagnosticaron con daño cognitivo leve-moderado. Como es reportado en otros estudios de FF en edad escolar, la mayoría resaltan el detrimento de la memoria de trabajo; esto se puede relacionar a que, en cualquier problemática del neurodesarrollo, si un niño o

niña internaliza inadecuadamente funciones, podría desarrollar alteraciones en el resto de funciones cognitivas.

La intervención para la habilitación cognitiva basada en LEGO® Education resultó atractiva y motivante para las niñas y los niños con CC, quienes mostraron interés en cada una de las sesiones. Elegían conforme evolucionaban a un robot más complejo en las sesiones subsecuentes, lo que implicaba inversión de esfuerzo cognitivo, como se menciona en otros estudios (Armele, Díaz, y Galeano, 2014; García-Barrera, Smart, y Mateer, 2014; Ríos-Gallardo et al., 2016; Takacs y Kassai, 2019).

Se observó un principal incremento de las FFB entre las sesiones 2 y 3; esto se puede deber a que en la primer sesión la mayoría de los pacientes desconocían el material, la programación y a la vez expresaron ideas de no estar convencidos de otro tratamiento médico, por lo que los terapeutas se presentaron y mostraron un robot previamente ensamblado y explicaron cómo lo programarían, por lo cual, en la segunda sesión los pacientes tuvieron una mayor apertura y demostraban motivación, lo que facilitó que las sesiones como la capacidad de engranaje y motricidad mejoraran; otro factor importante es que las sesiones evolucionaban en complejidad de los sets (mecánica a robótica y robótica básica a avanzada), lo cual representaba un reto para los sujetos y al finalizar las sesiones expresaban satisfacción por lograrlo. Se les observó motivados, ya que el material es llamativo y es importante cómo se reporta en otros estudios de estimulación cognitiva de FE (Betancur-Caro, Molina, y Cañizales-Romaña, 2016; Takacs y Kassai, 2019). Al finalizar las sesiones, cualitativamente se observaron mejoras específicamente en las sesiones 6, 7 y 8, debido a que se mantenían familiarizados con el material y la programación; llegaron a ejecutar con facilidad los sets y con poca ayuda del terapeuta, llegando a identificar los tipos de piezas y el orden en que se programa el robot, logrando tareas complejas como avanzar, retroceder o hasta girar en una sola secuencia lógica; esto puede estar relacionado a la internalización cognitivo y conductual del aprendizaje como lo explican Ertmer y Newby (1993) y Serrano González-Tejedo y Pons Parra (2011). Otro punto importante a considerar es que, de acuerdo a las aportaciones de López-Muñoz, Álamo, García-García y Boya (2006), los estímulos externos en una secuencia constante y dirigida pueden favorecer la plasticidad cortical, lo que aumenta la probabilidad de una mejoría durante la ejecución (Castellanos et al., 2011, 2010; Ginarte-Arias, 2002).

Se han realizado pocos estudios basados en este tipo de intervención, como en el autismo y el Asperger principalmente (LeGoff, 2004; Legoff y Sherman, 2006; Owens, Granader, Humphrey, y Baron-Cohen, 2008), demostrando mejora en habilidades sociales, pero no para la habilitación de funciones frontales en CC. Por lo que este método, al ser adaptado a la habilitación cognitiva en pacientes pediátricos con esta condición, puede resultar en la reactivación cognitiva basada en la ingeniería pedagógica con construcción mecánica y robótica para mejorar no sólo las FFB sino también otro tipo de funciones como las ejecutivas y metafunciones, e inclusive, ayudar con sus habilidades sociales.

Como limitación del trabajo, el estudio fue realizado bajo la pandemia del SARS-COV2, lo que significó que cinco pacientes no siguieran con las sesiones, ya que varios de los familiares decidieron abandonar por la pérdida de empleo e ingresos para poder seguir asistiendo. Por este motivo no se logró concretar el grupo control y un mayor número de muestra. Otro factor importante es que este estudio se focalizó sólo en las FFB, sistema de memoria de trabajo y fluidez verbal por lo que para futuras investigaciones será importante incluir la evaluación de las demás FE y metafunciones, realizando una valoración periódica de las funciones frontales y prefrontales, al menos una vez por año y dar seguimiento al desarrollo de las mismas.

Conclusión

En este estudio se evaluaron las FFB de pacientes pediátricos con CC y se mostró una tendencia ascendente de mejoría en los pacientes. Algunos de ellos partieron de un diagnóstico con daño leve-moderado o normal, y progresaron a normal o normal-alto, principalmente en MT, MTVE y FV, por lo que, en esta primera aproximación, el método LEGO® Education, mostró ser una buena herramienta para la habilitación neuropsicológica de estos pacientes. Para futuras investigaciones será importante contemplar un grupo control, una muestra más grande, diferentes tipos de CC y el seguimiento al desarrollo de las FE hasta la edad adulta.

Agradecimientos

A KARDIAS A.C. por la donación de las pruebas neuropsicológicas, y a la Fundación Care & Share for Education A.C., por la donación de los sets de

LEGO® Education para las intervenciones. Así mismo a la empresa EDACOM por la capacitación brindada a los investigadores para el uso correcto de los sets.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en este estudio.

Referencias

- Ardila, A. & Ostrosky, F. (2012). Guía para el diagnóstico neuropsicológico. *Florida: American Board of Professional Neuropsychology*.
- Armele, M., Díaz, D. & Galeano, J. (2014). Intervención neuropsicológica en un caso de trastorno del desarrollo generado por una cardiopatía congénita. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 9(2), 80–84.
- Arnedo Montoro, M. (2015). Neuropsicología Infantil: A través de casos clínicos. México. Editorial Médica Panamericana.
- Artigue, M., Douady, R., Moreno, L. & Gómez, P. (1995). *Ingeniería didáctica en educación matemática*. Bogotá: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Avila-Alvarez, A., Gonzalez-Rivera, I., Ferrer-Barba, A., Portela-Torron, F., Gonzalez-Garcia, E., Fernandez-Trisac, J. L. & Ramil-Fraga, C. (2012). Complicaciones neurológicas en el postoperatorio inmediato de cirugía cardíaca: todavía un largo camino por recorrer. *Anales de pediatría (Barcelona, Spain: 2003)*, 76(4), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2011.07.018>
- Barnes, R. K. (2020). “Pediatric Anesthetic Neurotoxicity”: Time to Stop! *Anesthesia and Analgesia*, Vol. 131, pp. 734–737. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004529>
- Bayona, E. A., Prieto, J. B. & León-Sarmiento, F. E. (2011). Neuroplasticidad, neuromodulación & Neurorehabilitación: Tres conceptos distintos y un solo fin verdadero. *Salud Uninorte*, 27(1), 95–107.
- Bellinger, D. C., Jonas, R. A., Rappaport, L. A., Wypij, D., Wernovsky, G., Kuban, K. C., ... Strand, R. D. (1995). Developmental and neurologic status of children after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. *The New England Journal of Medicine*, 332(9), 549–555. <https://doi.org/10.1056/NEJM199503023320901>
- Betancur-Caro, M. L., Molina, D. A. & Cañizales-Romaña, L. Y. (2016). Entrenamiento cognitivo de las funciones ejecutivas en la edad escolar. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 14(1), pp. 359–368
- Butler, S. C., Sadhwani, A., Stopp, C., Singer, J., Wypij, D., Dunbar-Masterson, C., ... Newburger, J. W. (2019). Neurodevelopmental assessment of infants with congenital heart disease in the early postoperative period. *Congenital Heart Disease*, 14(2), 236–245. <https://doi.org/10.1111/chd.12686>
- Calderón-Colmenero, J., Marroquín, S. R. & Salazar, J. C. (2008). Métodos de estratificación de riesgo en la cirugía de cardiopatías congénitas. *Archivos de Cardiología de México*, 78(1), 60–67.
- Castellanos, N. P., Leyva, I., Buldú, J. M., Bajo, R., Paúl, N., Cuesta, P., ... del-Pozo, F. (2011). Principles of recovery from traumatic brain injury: reorganization of functional networks. *NeuroImage*, 55(3), 1189–1199. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.12.046>
- Castellanos, N. P., Paúl, N., Ordóñez, V. E., Demuynck, O., Bajo, R., Campo, P., ... Maestú, F. (2010). Reorganization of functional connectivity as a correlate of cognitive recovery in acquired brain injury. *Brain: A Journal of Neurology*, 133(Pt 8), 2365–2381. <https://doi.org/10.1093/brain/awq174>
- Clancy, T., Jordan, B., de Weerth, C. & Muscara, F. (2020). Early Emotional, Behavioural and Social Development of Infants and Young Children with Congenital Heart Disease: A Systematic Review. *Journal of Clinical Psychology in Medical Settings*, 27(4), 686–703. <https://doi.org/10.1007/s10880-019-09651-1>
- Cook, A. M., Adams, K., Volden, J., Harbottle, N. & Harbottle, C. (2011). Using Lego robots to estimate cognitive ability in children who have severe physical disabilities. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, 6(4), 338–346. <https://doi.org/10.3109/17483107.2010.534231>
- EDACOM. (2021). Edacom Tecnología Educativa. <https://store.edacom.mx/>
- Ertmer, P. & Newby, T. (1993). Conductismo, cognitivismo y constructivismo: una comparación de los aspectos críticos desde la

- perspectiva del diseño de instrucción. *Performance Improvement Quarterly*, 6(4), 50–72.
- Esquivel-Hernández, F. J., Mendieta-Alcántara, G. G., Pliego-Rivero, F. B. & Otero-Ojeda, G. A. (2015). Alteraciones electroencefalográficas y del neurodesarrollo en cardiopatías congénitas severas. Estudio de seguimiento. *Gaceta médica de México*, 151(5), 588–598.
- Flores, J. C., Castillo-Preciado, R. E. & Jiménez-Miramonte, N. A. (2014). Desarrollo de funciones ejecutivas, de la niñez a la juventud. *Anales De Psicología/Annals of Psychology*, 30(2), 463–473.
- Flores Lázaro, J. C., Ostrosky-Solis, F. & Lozano Gutiérrez, A. (2012). BANFE: Batería neuropsicológica de funciones ejecutivas y lóbulos frontales. México, DF: Manual Moderno.
- Fontes, K., Rohlicek, C. V., Saint-Martin, C., Gilbert, G., Easson, K., Majnemer, A., ... Brossard-Racine, M. (2019). Hippocampal alterations and functional correlates in adolescents and young adults with congenital heart disease. *Human Brain Mapping*, 40(12), 3548–3560. <https://doi.org/10.1002/hbm.24615>
- Garcés-Vieira, M. V. & Suárez-Escudero, J. C. (2014). Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *Ces Medicina*, 28(1), 119–132.
- García-Barrera, M. A., Smart, C. & Mateer, C. (2014). Rehabilitación Neuropsicológica de las Funciones Ejecutivas. In A. L. Dotor-Llerena & J. C. Arango-Lasprilla (Eds.), *Rehabilitación cognitiva de personas con lesión cerebral* (pp. 165-186). México: Trillas.
- Ginarte-Arias, Y. (2002). Rehabilitación cognitiva: aspectos teóricos y metodológicos. *Revista de neurología*, 35(9), 870–876.
- Hernández-Nieto, R. A. (2002). Contribuciones al análisis estadístico. *Revista Venezolana de Ciencia Política*, 23, 132-134.
- Hu, X., Zheng, Q. & Lee, G. T. (2018). Using Peer-Mediated LEGO® Play Intervention to Improve Social Interactions for Chinese Children with Autism in an Inclusive Setting. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 48(7), 2444–2457. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3502-4>
- Jenkins, K. J. & Gauvreau, K. (2002). Center-specific differences in mortality: preliminary analyses using the Risk Adjustment in Congenital Heart Surgery (RACHS-1) method. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 124(1), 97–104. <https://doi.org/10.1067/mtc.2002.122311>
- Karsdorp, P. A., Everaerd, W., Kindt, M. & Mulder, B. J. M. (2007). Psychological and cognitive functioning in children and adolescents with congenital heart disease: a meta-analysis. *Journal of Pediatric Psychology*, 32(5), 527–541. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsl047>
- Kolne, K., Bui, S. & Lindsay, S. (2020). Assessing the environmental quality of an adapted, play-based LEGO® robotics program to achieve optimal outcomes for children with disabilities. *Disability and Rehabilitation*, 43(25), 3613–3622.
- Lázaro, J. C. F. & Solís, F. O. (2008). Neuropsicología de lóbulos frontales, funciones ejecutivas y conducta humana. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8(1), 47–58.
- LeGoff, D. B. (2004). Use of LEGO as a therapeutic medium for improving social competence. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34(5), 557–571. <https://doi.org/10.1007/s10803-004-2550-0>
- Legoff, D. B. & Sherman, M. (2006). Long-term outcome of social skills intervention based on interactive LEGO play. *Autism: The International Journal of Research and Practice*, 10(4), 317–329. <https://doi.org/10.1177/1362361306064403>
- León Flores, E. D. (2019). Robótica educativa lego para favorecer el aprendizaje en ciencia y tecnología en los educandos del primer año de secundaria de la institución educativa particular “Fleming College” Chiclayo-2019 (tesis de licenciatura). Universidad Católica los Ángeles de Chimbote, Perú.
- Lindsay, S., Hounsell, K. G. & Cassiani, C. (2017). A scoping review of the role of LEGO(®) therapy for improving inclusion and social skills among children and youth with autism. *Disability and Health Journal*, 10(2), 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2016.10.010>
- López-Muñoz, F., Álamo, C., García-García, P. & Boya, J. (2006). Relevancia histórica de la teoría neuronal un siglo después del Nobel de Cajal: implicaciones psiquiátricas y psicofarmacológicas. *Psiquiatría Biológica*, 13(5), 167–182.
- Mebius, M. J., Kooi, E. M. W., Bilardo, C. M. & Bos, A. F. (2017). Brain Injury and Neurodevelopmental Outcome in Congenital Heart Disease: A Systematic Review. *Pediatrics*, 140(1). <https://doi.org/10.1542/peds.2016-4055>
- Mendoza-Sánchez, V., Hernández-Negrete, L. E., Cázarez-Ortiz, M., González, E. & Guido-Campuzano, M. A. (2020). Neurodesarrollo en niños con cardiopatía congénita a los 30 meses de edad. *Revista Mexicana de Pediatría*, 86(4), 143–146.
- Mills, R., McCusker, C. G., Tennyson, C. & Hanna, D. (2018). Neuropsychological outcomes in CHD beyond childhood: a meta-analysis. *Cardiology in the Young*, 28(3), 421–431. <https://doi.org/10.1017/S104795111700230X>
- Moreno-Gea, P. (2001). Rehabilitación de funciones cerebrales por ordenador. *Palma de Mallorca: Hospital Universitario San Dureta*.
- Newburger, J. W., Sleeper, L. A., Bellinger, D. C., Goldberg, C. S., Tabbutt, S., Lu, M., ... Gaynor, J. W. (2012). Early developmental outcome in children with hypoplastic left heart syndrome and related anomalies: the single ventricle reconstruction trial. *Circulation*, 125(17), 2081–2091. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.064113>
- Newburger, J. W., Wypij, D., Bellinger, D. C., du Plessis, A. J., Kuban, K. C. K., Rappaport, L. A., ... Wernovsky, G. (2003). Length of stay after infant heart surgery is related to cognitive outcome at age 8 years. *The Journal of Pediatrics*, 143(1), 67–73. [https://doi.org/10.1016/S0022-3476\(03\)00183-5](https://doi.org/10.1016/S0022-3476(03)00183-5)
- Owens, G., Granader, Y., Humphrey, A. & Baron-Cohen, S. (2008). LEGO therapy and the social use of language programme: an evaluation of two social skills interventions for children with high functioning autism and Asperger Syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(10), 1944–1957. <https://doi.org/10.1007/s10803-008-0590-6>
- Ríos-Gallardo, Á. M., Hernández, A. G., Nieto, D. C. T., Losada, M. A. B., Bonilla-Santos, J. & Cuéllar, L. V. (2016). Efectividad de una intervención cognitiva en funciones ejecutivas para mejorar flexibilidad mental en niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad. *RFS Revista Facultad de Salud*, 8(1), 16–22.
- Ríos-Lago, M., Benito-León, J., Lapedriza, P. & Tirapu-Ustároz, J. (2008). Neuropsicología del daño cerebral adquirido. En Tirapu, J. Ríos, M. Maestú, F. (Eds.). *Manual de Neuropsicología*, 311-342.
- Salamanca-Zarzuola, B., Morales-Luego, F., Alcalde-Martin, C. & Centeno-Malfaz, F. (2018). Desarrollo psicomotor en pacientes con cardiopatía congénita grave. *Revista de neurología*, 66(12), 409–414.
- Sánchez-Carpintero, R. & Narbona, J. (2004). El sistema ejecutivo y las lesiones frontales en el niño. *Revista de neurología*, 39(2), 188–191.
- Schultz, A. H. & Wernovsky, G. (2005). Late outcomes in patients with surgically treated congenital heart disease. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery. Pediatric Cardiac Surgery Annual*, 145–156. <https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2005.01.015>
- Serrano González-Tejedo, J. M. & Pons Parra, R. M. (2011). El constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 13(1), 1–27.
- Siciliano, R. E., Prussien, K. V., Lee, C. A., Patel, N. J., Murphy, L. K., Compas, B. E. & Jordan, L. C. (2019). Cognitive Function in Pediatric Hypoplastic Left Heart Syndrome: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Pediatric Psychology*, 44(8), 937–947. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsz021>
- Snookes, S. H., Gunn, J. K., Eldridge, B. J., Donath, S. M., Hunt, R. W., Galea, M. P. & Shekerdemian, L. (2010). A systematic review of motor and cognitive outcomes after early surgery for congenital heart disease. *Pediatrics*, 125(4), e818-27. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-1959>
- Sterken, C., Lemiere, J., Vanhorebeek, I., Van den Berghe, G. & Mesotten, D. (2015). Neurocognition after paediatric heart surgery: a systematic review and meta-analysis. *Open Heart*, 2(1), e000255. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2015-000255>
- Takacs, Z. K. & Kassai, R. (2019). The efficacy of different interventions to foster children's executive function skills: A series of meta-analyses. *Psychological Bulletin*, 145(7), 653–697. <https://doi.org/10.1037/bul0000195>
- Ustároz, J. T. (2011a). *Manual de Neuropsicología*. Barcelona. Viguera Editores.
- Ustároz, J. T. (2011b). Neuropsicología-Neurociencia y Ciencias “PSI.” *Cuadernos de Neuropsicología/Panamerican Journal of Neuropsychology*, 5(1), 11-24.
- Wernovsky, G. & Licht, D. J. (2016). Neurodevelopmental Outcomes in Children With Congenital Heart Disease-What Can We Impact? *Pediatric Critical Care Medicine : A Journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies*, 17(8 Suppl 1), S232-42. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000800>