

Reporte técnico

La neurociencia y el aprendizaje a través del juego: un resumen de la evidencia



**Claire Liu, S. Lynne Solis, Hanne Jensen, Emily Hopkins, Dave Neale,
Jennifer Zosh, Kathy Hirsh-Pasek y David Whitebread**

Noviembre 2017

Índice

Introducción • 3

Alegre • 6

Significativo • 10

Involucramiento activo • 14

Iterativo • 16

Socialmente interactivo • 18

Conclusiones • 20

Citas • 22

Este reporte técnico se publicó en 2017 en inglés y fue autorizado bajo la licencia genérica de Creative Commons Attribution-NonCommercial-Share Alike 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.09>)
Publicado en español en septiembre de 2020.

Cita sugerida:

Liu, C., Solis, S.L., Jensen, H., Hopkins, E. J., Neale, D., Zosh, J.M., Hirsh-Pasek K., y Whitebread, D. (2017)
La neurociencia y el aprendizaje a través del juego: un resumen de la evidencia (reporte técnico).
The LEGO Foundation, DK.

Introducción



En este reporte técnico, nuestro análisis de la información biológica y de neurociencia respecto del aprendizaje se centra en cinco características que se utilizan para definir las experiencias educativas de juego: es alegre, significativo, con involucramiento activo, iterativo y socialmente interactivo (véase Zosh *et al.*, 2017). Desde una perspectiva neurobiológica, estas características pueden contribuir a la habilidad de los niños y niñas para poner atención, interpretar las experiencias y aprender de ellas.

Un resumen de los artículos sobre neurociencia

Nuestro entendimiento actual de cómo cada una de estas características de experiencias de juego pueden apoyar los procesos de aprendizaje se basa fundamentalmente en investigación sobre el desarrollo típico y atípico de modelos animales y de adultos. Los modelos animales nos brindan algunos indicios de posibles mecanismos en el cerebro humano, sin embargo, es importante destacar que los modelos humanos y los animales no son paralelos perfectos. Además, los estudios en adultos proporcionan conocimientos respecto de las redes corticales humanas, pero en cerebros que son menos susceptibles y vulnerables a las fuerzas del medio ambiente que los de niñas y niños. Teniendo esto en cuenta, examinamos lo que se ha escrito al respecto, y en la mayoría de los casos quedan reflexiones abiertas respecto de la forma en que cada característica puede impactar en el aprendizaje de niños y niñas. También es importante hacer notar que mientras esta investigación muestra cómo las cinco características pueden contribuir al aprendizaje, pocos estudios en realidad investigan la relación directa entre el juego y el aprendizaje. Esto queda también como un campo abierto para futuras investigaciones.

A continuación, describimos primero la naturaleza interconectada del aprendizaje que informa este reporte. Después resumiremos cada una de las cinco características y cómo se conectan con el aprendizaje, desde el punto de vista de la neurociencia.

Aprendizaje holístico e interconectado

Conforme analicemos las cinco características de las experiencias de juego, es importante revisar las múltiples experiencias que encarnan estas características en el contexto más amplio del desarrollo cerebral. A nuestro entender, no son las distintas partes del cerebro las que maduran y se encargan del aprendizaje por separado, sino que cada región se apoya en aportaciones específicas y constantes y se conecta fuertemente con otras regiones del cerebro. En general, los descubrimientos muestran cómo las cinco características del aprendizaje a través del juego facilitan el desarrollo y la activación de los procesos interconectados del cerebro en niños y niñas en crecimiento, y cómo respaldan su capacidad para aprender.

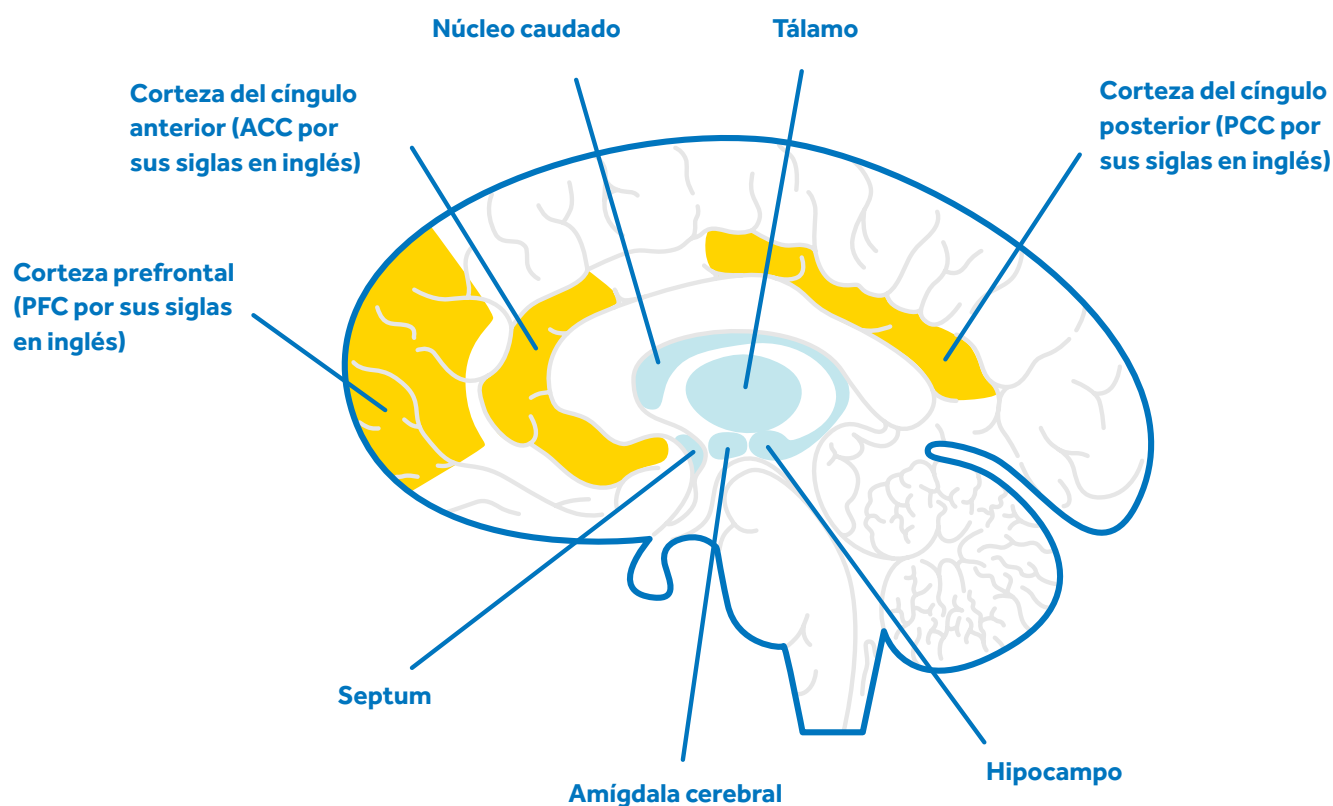
Nuestro entendimiento sobre el aprendizaje en el contexto de las experiencias es holístico, es decir que se relaciona con el desarrollo de múltiples dominios, más que con el desempeño en una serie de medidas académicas. El aprendizaje, para el cerebro, se refiere a la capacidad neurológica para procesar y responder a diferentes estímulos sensoriales o multimodales, tanto a niveles básicos como en niveles complejos. Las aportaciones a lo largo de múltiples modalidades a menudo son útiles, si no es que esenciales, para el desarrollo adecuado de conductas de aprendizaje en los niños y niñas. Por ejemplo, la interacción frente

a frente de los cuidadores proporciona al infante aportaciones visuales, auditivas, lingüísticas y socioemocionales para que pueda desarrollar agudeza visual, reconocimiento de fonemas, reconocimiento facial, seguridad y apego emocional (Fox, Levitt y Nelson, 2010). Estos resultados, a su vez, sustentan el desarrollo del lenguaje, el control cognitivo y las habilidades de regulación de emociones conforme se continúa creciendo.

Las experiencias de aprendizaje a través del juego caracterizadas por ser alegres, significativas, con involucramiento activo, iterativas y con interacción

social pueden ofrecer aportaciones multimodales que estimulan las redes interconectadas que participan en el aprendizaje (véanse las áreas marcadas en la ilustración de abajo).

Por lo tanto, la calidad de las experiencias afecta nuestro desarrollo desde una etapa temprana. Considerando estos antecedentes, nuestro estudio explora cómo cada una de las características se relaciona con estos procesos cognitivos. La tabla a continuación resume datos clave de las publicaciones de neurociencia y biología respecto de cada característica.



Vista medial del cerebro y de las áreas relacionadas con las cinco características

Datos clave

Alegre	Significativo	Involucramiento activo	Iterativo	Socialmente interactivo
Las emociones son parte integral de las redes neurológicas responsables del aprendizaje. La alegría se asocia con altos niveles de dopamina en el sistema de recompensas del cerebro, relacionados con la ampliación de la memoria, la atención, cambios mentales, la creatividad y la motivación.	Establecer conexiones entre estímulos familiares y desconocidos guía al cerebro para que el aprendizaje esforzado resulte más fácil. Las experiencias significativas introducen estímulos nuevos relacionados con marcos mentales existentes; el procesamiento de dichos estímulos recluta redes cerebrales asociadas con el pensamiento analógico, la memoria, la transferencia, la metacognición, la creación de reflexiones, la motivación y la recompensa.	El involucramiento activo incrementa la activación cerebral relacionada con la agencia, la toma de decisiones y el flujo. El involucramiento activo amplía la codificación de la memoria y los procesos de recuperación que sustentan el aprendizaje. El involucramiento total en una actividad permite al cerebro ejercitar las redes responsables de las habilidades del control ejecutivo, tales como no caer en distracciones, lo que beneficia al aprendizaje a corto plazo y al aprendizaje para toda la vida.	La perseverancia asociada con el pensamiento iterativo se relaciona con la recompensa y con redes de memoria que apuntalan el aprendizaje. Con la práctica, la iteración involucra cada vez más las redes relacionadas con la toma de perspectivas alternativas, con el pensamiento flexible y con la creatividad.	Las interacciones positivas de los cuidadores ayudan a construir los circuitos neuronales para el desarrollo de una regulación socioemocional y a proteger de las barreras que interfieren con el aprendizaje, tales como el estrés. La interacción social temprana promueve la plasticidad en el cerebro para ayudar a lidiar con los futuros retos en la vida. Esta interacción activa redes cerebrales relacionadas con la detección de estados mentales de los otros, que puede ser crítica para las interacciones de enseñanza y aprendizaje.

Alegre

Tanto en las diferentes culturas como en las especies animales, el juego parece ser una experiencia común, innata al desarrollo (Huizinga, 1950; Burghardt, 2010; Smith, 2010). El juego rara vez se da sin mostrar afecto positivo, alegría, sentimientos de placer y diversión (Huizinga, 1950; Rubin, Fein y Vandenberg, 1983). Algunos argumentarán que las emociones positivas tales como la alegría tienen un papel evolutivo: nos permiten interactuar y responder de forma protectora y apropiada de acuerdo con nuestro entorno (Burgdorf y Panksepp, 2006).

En la información escrita sobre neurociencia se ha estudiado la conexión entre la alegría y el aprendizaje en adultos y en animales (p. ej. Burgdorf y Panksepp, 2006; Söderqvist *et al.*, 2011). Nuestra capacidad, como humanos, de experimentar alegría está regulada por el sistema de estructuras subcorticales límbicas (el área azul claro en la ilustración de la página 4), que se asocia con funciones emocionales y que también se encuentra en modelos animales (Burgdorf y Panksepp, 2006). Estas redes, que incluyen otras regiones cerebrales responsables de procesos de orden más avanzado en el aprendizaje (regiones corticales: el área amarilla en la ilustración de la página 4) responden de forma adaptativa a estas experiencias emocionales (Burgdorf y Panksepp, 2006).

Adaptarse es aprender, y la alegría existe para motivarnos a seguir adaptándonos a nuestro entorno y a aprender de él. Parece que la alegría tiene una importante relación con nuestra propensión a aprender.

El aprendizaje es emocional y está relacionado con la recompensa

Anteriormente se pensaba que las emociones eran secundarias a la cognición en el aprendizaje, pero la investigación neurocientífica y del desarrollo revela que ambas están entrelazadas (Immordino-Yang y Damasio, 2007). Considerar a las emociones y a la cognición por separado no contemplaría el todo. Las emociones ayudan a facilitar el pensamiento racional permitiéndonos utilizar la retroalimentación emocional en la toma de decisiones (Immordino-Yang y Damasio, 2007). El papel de las emociones en nuestra capacidad de llevar a cabo acciones razonables en circunstancias impredecibles es lo que Immordino-Yang y Damasio (2007) denominan el “timón emocional” (p. 3). Dado el papel de las emociones para prepararnos para aprender, la alegría quizá sea una de las fuerzas más poderosas.

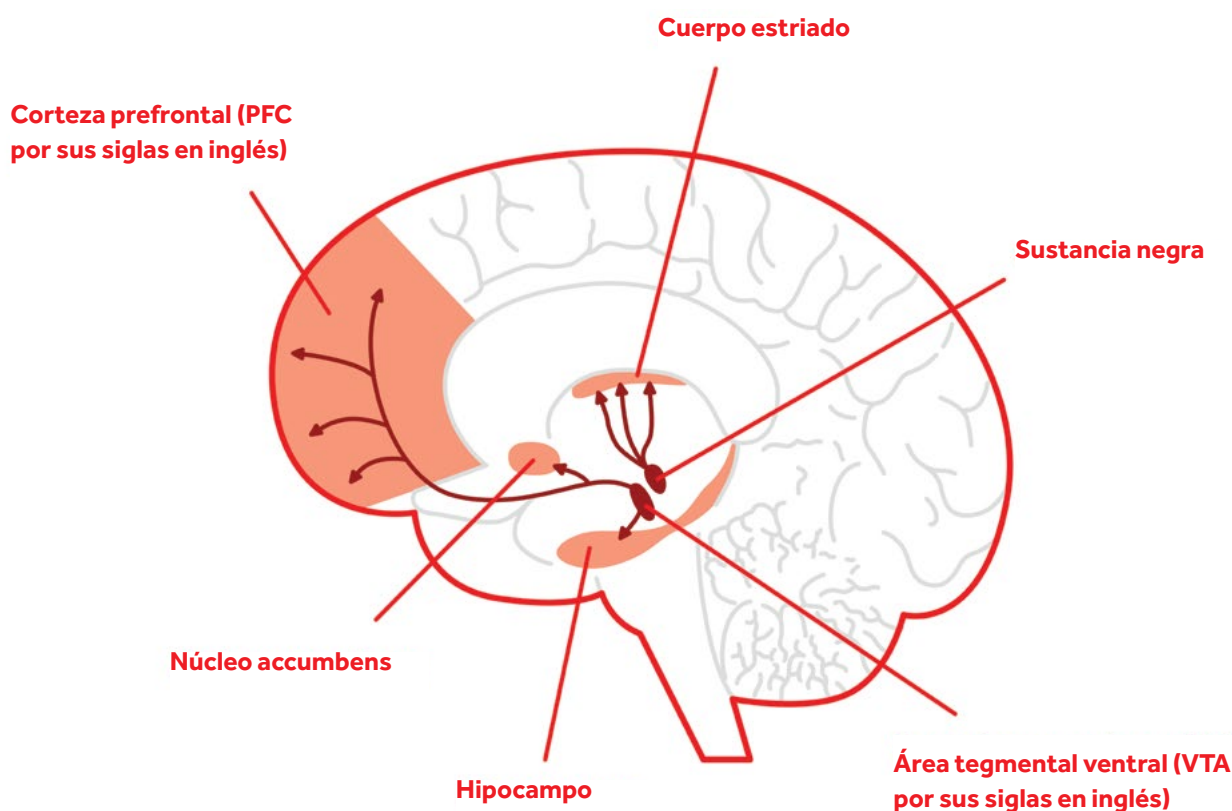
La alegría invoca un estado de afecto positivo que nos facilita muchas funciones cognitivas más avanzadas.

En niveles más avanzados, la experiencia de la alegría se relaciona con cambios en las redes cerebrales, tales como aumento de los niveles de dopamina, que dan como resultado emociones positivas. La dopamina es un neurotransmisor que ayuda a regular la recompensa, el placer y las emociones en el cerebro, así como nuestras acciones como respuesta a la recompensa. Se han observado los efectos de la dopamina en regiones del cerebro que se identifican como parte de la red de recompensas, incluyendo al mesencéfalo, al cuerpo estriado, al hipocampo y a la corteza prefrontal (véase la ilustración de la derecha). La dopamina inicia la interacción entre estas distintas regiones para alterar nuestras respuestas y

acciones. Bromberg-Martin y Hikosaka (2009, como se cita en Cools, 2011) relacionaron la presencia de los neurotransmisores de dopamina en neuronas en el mesencéfalo con los procesos de expectativa de recompensa y la búsqueda de información con anticipación a la recompensa.

El efecto positivo resultante se relaciona con una serie de beneficios cognitivos tales como el mejoramiento

de la atención, de la memoria de trabajo, del cambio mental y la mejora en la regulación del estrés, que son útiles para el aprendizaje (p. ej. Cools, 2011; Dang, Donde, Madison, O'Neil, Jagust, 2012; McNamara, Tejero-Cantero, Trouche, Campo-Urriza y Dupret, 2014). Hay múltiples mecanismos propuestos para explicar cómo la dopamina actúa precisamente en las estructuras cerebrales (Cools, 2011), sin embargo, está bien fundamentado el argumento de que la presencia



Vista medial del cerebro que muestra los trayectos de la dopamina

de dopamina asociada con experiencias alegres puede tener como resultado el mejoramiento de la habilidad para procesar y retener información. Por consiguiente, comprender el sistema de recompensas puede ayudarnos a explorar su papel en la memoria, en el cambio mental, en la motivación y en la creatividad en cuanto a su contribución en el aprendizaje.

La memoria

Se encuentran ejemplos de los efectos de la dopamina sobre la memoria en modelos animales. En ratones, la estimulación dopaminérgica en el mesencéfalo cuando estos participaban en nuevos entornos espaciales se relacionaba con mayor actividad en la región del hipocampo, lo que parecía mejorar la memorización de su tarea (McNamara *et al.*, 2014). Además, la estimulación dopaminérgica iniciada durante el aprendizaje de la ubicación de un nuevo objetivo se relacionó con una mejor activación de las neuronas del hipocampo durante el estado de reposo. Estos descubrimientos sugieren un papel benéfico de la dopamina en la codificación y memorización de nueva información, por lo menos en el caso de la representación espacial y la memoria (McNamara *et al.*, 2014).

Atención en los objetivos y cambio mental

Guiadas por la presencia de la dopamina durante experiencias alegres, las regiones asociadas con la recompensa y la planeación a menudo trabajan conjuntamente para permitir a los individuos centrarse en la información relevante para sus objetivos (Vincent, Kahn, Snyder, Raichle y Buckner, 2008, como se cita en Dang *et al.*, 2012). Esto permite a los individuos decidir no solo qué información atender, sino también planear el comportamiento correspondiente dirigido al objetivo. Es decir que, en situaciones de aprendizaje,

la dopamina puede ayudar con el cambio mental requerido para considerar la información a seleccionar, a fin de planear para obtener logros adecuados.

Motivación y curiosidad

La motivación y la curiosidad intrínsecas son dos rasgos que vienen a la mente rápidamente en nuestro debate sobre las cinco características del aprendizaje a través del juego, pero especialmente de la alegría, quizá debido a su naturaleza espontánea. La información que se ha escrito al respecto también apunta a la influencia de la curiosidad y de la motivación intrínseca al mejorar la actividad neuronal (Kang *et al.*, 2009). Los resultados de resonancias magnéticas (Kang *et al.*, 2009) muestran que mientras más anticipamos un resultado positivo, como sucede cuando estamos intrínsecamente motivados, hay mayor actividad en las estructuras cerebrales que mejoran nuestra habilidad de retener la información que sigue (Gruber, Gelman y Ranganath, 2014). Pequeños cambios en nuestro entorno pueden inspirarnos para anticipar el aprendizaje futuro y para preparar el cerebro a fin de retener la información de forma más efectiva (Weisberg, Hirsh-Pasek, Golinkoff y McCandliss, 2014).

Creatividad

La dopamina puede mejorar los procesos que se ha mostrado tienen correlación con el pensamiento creativo, como la memoria de trabajo, pero la relación podría ser más directa. Aunque el mecanismo exacto aún no está claro, la creatividad individual se ha relacionado con la activación de estructuras cerebrales asociadas con el sistema de recompensas de la dopamina (Takeuchi *et al.*, 2010), lo que quizá sugiere que las experiencias alegres se relacionan con el pensamiento creativo.



Plasticidad

También existe evidencia que sugiere que las respuestas químicas en el cerebro relacionadas con experiencias alegres pueden influir en su plasticidad; lo que significa que el cerebro puede seguir adaptándose a la nueva información y a las aportaciones del entorno (Nelson, 2017; Söderqvist *et al.*, 2011). De esta forma, las experiencias alegres que elevan los niveles de dopamina pueden hacer que mejore la habilidad de adaptarse y de aprender de nuevas situaciones.



Significativo

El aprendizaje con frecuencia incluye pasar de lo desconocido a lo conocido, o de procesos que cuestan trabajo a los automáticos. Las experiencias significativas pueden proporcionar un espacio para estos progresos. Las oportunidades para el aprendizaje contextual, el razonamiento analógico, la metacognición, la transferencia y la motivación pueden apoyar al desarrollo del entendimiento más profundo en dichas experiencias.

Guiar al aprendizaje de lo que cuesta trabajo a lo automático

Lo escrito en neurociencia ilustra cómo experiencias significativas reclutan múltiples redes cerebrales para ayudarnos a darle sentido a lo que aprendemos. Se presume que aprender material nuevo involucra dos redes (Luu, Tucker, Stripling, 2007): el sistema de aprendizaje rápido y la etapa posterior del aprendizaje (Bussey *et al.*, 1996; Keng y Gabriel, 1998, como se cita en Luu, Tucker, Stripling, 2007). La primera red ayuda con la adquisición rápida y centrada, escudriñando para encontrar inconsistencias o percibir amenazas. La segunda red se recluta para ayudarnos a introducir la nueva información en el contexto de los modelos mentales que ya hemos construido (Luu, Tucker, Stripling, 2007).

Razonamiento analógico

Las experiencias significativas pueden servir como oportunidades para que los niños y niñas relacionen lo desconocido con los modelos que les son familiares, a través de procesos cognitivos más elevados. Uno de los procesos cognitivos estudiados, el razonamiento analógico, se utiliza para hacer conexiones entre lo conocido y lo desconocido. El razonamiento analógico es un tipo de pensamiento que nos ayuda a ver más allá de diferencias superficiales para entender las similitudes que subyacen en los objetos, conceptos o relaciones (p. ej. entender que la miel de la abeja es como la leche de la vaca, o que podemos ver triángulos en la vida cotidiana). La evidencia muestra que este

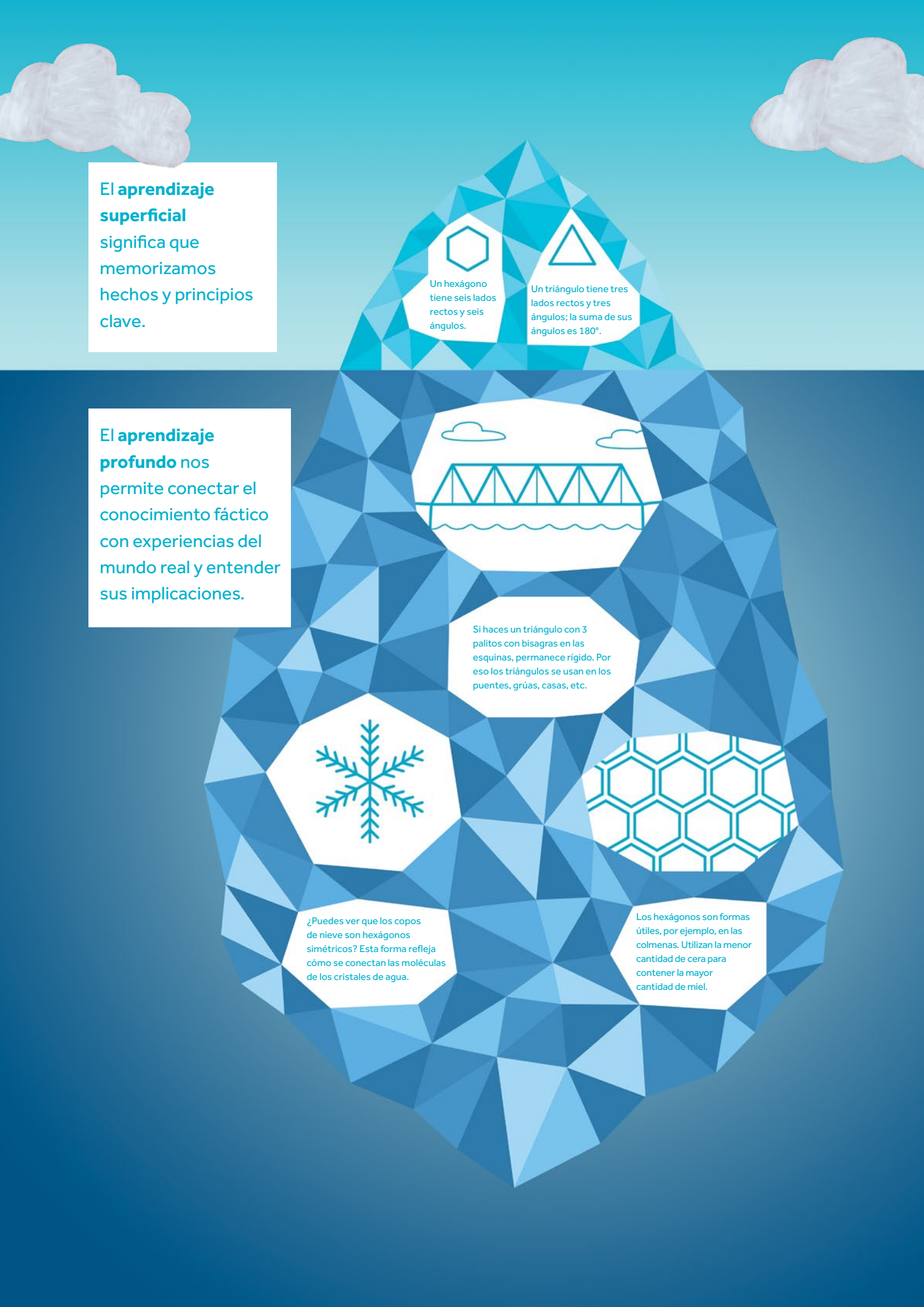
tipo de pensamiento recluta regiones de dominio general del cerebro operativo en el pensamiento abstracto, así como regiones de dominio específico relacionadas con la tarea analógica a la mano (Hobeika, Diard-Detoeuf, Garcin, Levy y Volle, 2016). Los autores sugieren que la conectividad funcional aumentada entre dos regiones ayuda a conectar estímulos externos con modelos cognitivos existentes.

Transferencia del conocimiento

Cuando el aprendizaje es significativo, el conocimiento obtenido en un dominio puede transferirse a nuevos escenarios en el mundo real. Existe evidencia que sustenta que hay cambios neuronales cuando hay experiencias significativas que proporcionan oportunidades para transferir el conocimiento incluso en ausencia de tareas cognitivas (Gerraty, Davidow, Wimmer, Kahn y Sohomy, 2014). Además, Gerraty *et al.* (2014) observaron que la transferencia activa puede relacionarse con la actividad que conecta las regiones responsables del aprendizaje relacionado con la memoria y la representación flexible. Finalmente, se ha observado cómo disminuyen las actividades que cuestan trabajo en regiones asociadas con la codificación de nuevas memorias, cuando el conocimiento nuevo se integra más al conocimiento previo.

Metacognición y confianza

A menudo se identifica la metacognición como un importante componente para el aprendizaje autorregulado. La habilidad para reconocer y entender nuestras propias habilidades y procesos de pensamiento es útil para recorrer nuevos contextos, para razonar con información nueva y para construir experiencias significativas. Monitorearnos en nuestros entornos y emitir juicios como respuesta depende de la habilidad para acceder a la memoria de trabajo y para predecir futuros desempeños (Müller, Tsalas, Schie, Meinhardt, Proust, Sodian y Paulus, 2016). Cuando las habilidades metacognitivas nos permiten hacer



El aprendizaje superficial significa que memorizamos hechos y principios clave.

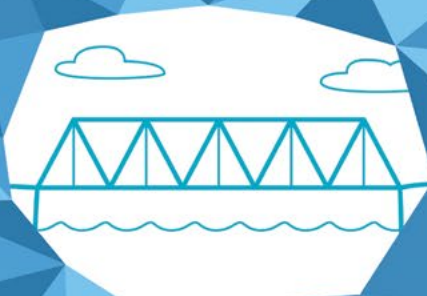
El aprendizaje profundo nos permite conectar el conocimiento fáctico con experiencias del mundo real y entender sus implicaciones.



Un hexágono tiene seis lados rectos y seis ángulos.



Un triángulo tiene tres lados rectos y tres ángulos; la suma de sus ángulos es 180° .



Si haces un triángulo con 3 palitos con bisagras en las esquinas, permanece rígido. Por eso los triángulos se usan en los puentes, grúas, casas, etc.



¿Puedes ver que los copos de nieve son hexágonos simétricos? Esta forma refleja cómo se conectan las moléculas de los cristales de agua.



Los hexágonos son formas útiles, por ejemplo, en las colmenas. Utilizan la menor cantidad de cera para contener la mayor cantidad de miel.

significativo nuestro entorno y hacer predicciones acertadas sobre nuestro desempeño, nuestros niveles de confianza aumentan. Se ha sugerido que la confianza obtenida mediante las habilidades metacognitivas puede provocar la búsqueda de recompensa y mejorar la recuperación de la memoria en situaciones significativas (Molenberghs, Trautwein, Böckler, Singer y Kanske, 2016). El incremento de la confianza se ha relacionado con la actividad aumentada, así como con niveles de dopamina en las regiones relacionadas con la recompensa, la memoria y el control psicomotor (Molenberghs *et al.*, 2016).

Memoria

Las experiencias significativas presentan una mezcla de estímulos familiares y nuevos, activan las redes neurológicas relacionadas con el procesamiento de novedades, la memoria y la búsqueda de recompensa que son útiles para el aprendizaje (Bunzeck, Doeller, Dolan y Duzel, 2012). Existen estudios que demuestran que las aportaciones conocidas combinadas con recompensas nuevas pueden dar como resultado una actividad más fuerte del hipocampo que con estímulos conocidos y recompensas predecibles (Bunzeck *et al.*, 2011).

Comprensión

Uno puede recordar el momento de “eureka” que con frecuencia llega al resolver problemas. Los investigadores han formulado hipótesis respecto a que para formar nuevo conocimiento se requiere romper representaciones mentales para incorporar la nueva

información y para hacer conexiones significativas (Qiu, Li, Yang, Luo, Li, Wu y Zhang, 2008). Existen estudios que muestran que los participantes que hacen conexiones repentinas muestran actividad elevada en las regiones corticales que con frecuencia participan en el control cognitivo, tales como el monitoreo de conflictos, el control inhibitorio y el cambio de tarea (Carlson, Zelazo y Faja, 2013; Kizilirmak, Thuerich, Folta-Schoofs, Schott y Richardson-Klavehn, 2016).

Recompensa y motivación

Finalmente, existe evidencia que nos muestra que la formación de nuevo conocimiento se codifica en nuestra memoria mediante la activación de la red interna cerebral de recompensas (Kizilirmak *et al.*, 2016). Involucrar al sistema intrínseco de recompensas activa al hipocampo, lo que es útil para codificar las relaciones significativas, así como su posterior recuperación (Kizilirmak *et al.*, 2016).

En resumen, descubrir relaciones significativas en el aprendizaje a través del juego puede construir varios procesos cognitivos, así como activar el sistema de recompensas del cerebro y fortalecer la codificación de estas memorias. Estos pueden ser propulsores importantes del aprendizaje. Entonces, tiene sentido proporcionar a los niños y niñas material que sea tanto nuevo como conocido. Podemos usar este enfoque para brindar experiencias significativas a niñas y niños y guiarlos en nuevas exploraciones a través del juego, por ejemplo, aquellas que profundicen su propia relación con el mundo.



**¿Cuál es la diferencia entre un novato y un experto?
No se trata de cuánto saben sino de su habilidad para reconocer patrones significativos en ese conocimiento, encontrar las relaciones y ver el panorama completo.**

(DeHaan, 2009)

Involucramiento activo



En una experiencia, el involucramiento activo implica tanto atención como respuesta. Las actividades y los eventos capaces de provocar el involucramiento activo son especialmente pertinentes en nuestro debate sobre el aprendizaje a través del juego; es difícil imaginar que una experiencia pueda afectar nuestra conciencia y pensamiento sin ser capaz de cautivarnos primero. Sentirse involucrado activamente es una experiencia que puede resultar visceralmente familiar, pues las personas que participan con involucramiento activo a menudo expresan que sienten que “llevan el timón”, están “inmersos” y “pierden la noción del tiempo”. Las características de esta experiencia, en ocasiones, se describen como agencia participativa o flujo inducido (Csikszentmihalyi, 1975).

Neuronalmente, el involucramiento activo se relaciona con redes que intervienen en el control de la atención, en el comportamiento dirigido al objetivo, en la recompensa, en la conciencia temporal, en la recuperación de la memoria a largo plazo y en la regulación del estrés. Los estudios que examinan la correlación neuronal de las experiencias caracterizadas por el involucramiento activo involucran al giro cerebral izquierdo inferior frontal (IFG por sus siglas en inglés) y al putamen izquierdo (Ulrich, Keller, Hoenig, Waller y Grön, 2013). El IFG izquierdo se ha relacionado con un sentido de control, especialmente en tareas sofisticadas y desafiantes (Ulrich *et al.*, 2013). Resulta que el putamen izquierdo con frecuencia se relaciona con el comportamiento dirigido al objetivo (Ulrich *et al.*, 2013). La identificación de la unión de estos sustratos neurológicos sustenta la hipótesis de que el involucramiento activo recluta procesos cognitivos más elevados que son benéficos para el aprendizaje.

Agencia

Nuestro debate sobre el involucramiento activo no estaría completo sin enfatizar el papel de la agencia. Quizá porque actúa como catalizador para el aprendizaje, la agencia o el poder de decisión

ayuda a guiar nuestro comportamiento voluntario motivándonos a buscar información y a llevar a cabo acciones. La agencia per se puede iniciar un ciclo de reforzamiento positivo, ocasionando sentimientos de confianza, de progreso y de impacto positivo que llevan a más agencia (Kuhn, Brass y Haggard, 2012). Para mayor investigación que enfatiza el nexo entre la agencia y los procesos como el de la memoria, véase Kaiser, Simon, Kalis, Schweizer, Tobler y Mojzisch (2013), Holroyd y Yeung (2012), y Jorge, Starkstein y Robinson, 2010.

Flujo

Un elemento importante de las experiencias con involucramiento activo es que presentan estímulos en los niveles correctos; las experiencias adecuadas y las aportaciones pueden ayudar a sumergirnos en actividades y a activar redes de recompensa, siempre y cuando no sean abrumadoras. Esto está representado en diversos artículos sobre estudios que muestran disminución de actividad neurológica en la amígdala, en participantes involucrados activamente en sus tareas (Ulrich *et al.*, 2013). La amígdala ayuda al codificar las amenazas percibidas y tiene un papel central en la regulación del estrés vía el eje hipotálamo pituitario adrenal (HPA por sus siglas en inglés) (Shonkoff y Garner, 2012). En experiencias de flujo autorreferidas, aquellos que describieron sentirse más inmersos mostraron mayor disminución en la amígdala (Ulrich *et al.*, 2013). Estos resultados mantienen la relación entre la actividad de la amígdala inferior y las emociones positivas que, como explicamos anteriormente, pueden mejorar nuestra motivación para aprender y, en forma más amplia, la relación entre el involucramiento activo y nuestra habilidad para aprender.

Memoria

Involucrar a los niños y niñas en niveles apropiados también puede tener un papel en el fortalecimiento de la memoria, especialmente en la memoria a corto plazo. Algunas investigaciones sugieren una

correlación entre el involucramiento activo y el desarrollo de la memoria y la recuperación de la información (Johnson, Miller Singley, Peckham, Johnson y Bunge, 2014).

Funciones ejecutivas

A partir de estudios de comportamiento en niñas y niños aprendimos que el involucramiento activo se relaciona con las habilidades de las funciones ejecutivas tales como el control inhibitorio. El involucramiento sostenido en una actividad implica la habilidad de permanecer selectivamente concentrado en la situación presente, sin distraerse, y mantener la información en la cabeza (Diamond, 2013). Podemos observar los efectos del involucramiento activo en las habilidades de las funciones ejecutivas (EF por sus siglas en inglés) en un estudio que compara a niños y niñas asignados a escuelas Montessori y a escuelas no Montessori; estas investigaciones descubrieron que quienes estudiaron en un Montessori, los cuales tuvieron menos interrupciones durante sus actividades de aprendizaje, presentaron un mejor desempeño en tareas de EF que el otro grupo (Lillard y Else-Quest, 2006, como se cita en Carlson, Zelazo y Faja, 2013). Por lo tanto, esta evidencia tiene implicaciones interesantes para estudiar a fondo la relación entre el involucramiento activo, las habilidades de las funciones ejecutivas y el aprendizaje en niños y niñas de temprana edad.



Iterativo

Las experiencias iterativas se caracterizan por la repetición de las actividades o del pensamiento, para descubrir potencialmente nuevos conocimientos en cada ronda. Involucrarse y construir esta habilidad cognitiva es un paso fundamental para el aprendizaje a temprana edad y para toda la vida. En el entorno actual de constante cambio, la resolución de problemas es más importante que nunca. Ya sea que la situación pida construir un auto de alta velocidad, arreglar electrodomésticos o trabajar en un proyecto desafiante sin respuestas conocidas, el pensamiento iterativo nos empuja a obtener soluciones novedosas. El pensamiento iterativo tiene que ver con la experimentación, la imaginación y la resolución de problemas. A base de prueba y error continuo, también logramos resiliencia, que es un activo para el aprendizaje para toda la vida. Nuestro análisis de las experiencias iterativas a nivel neurológico examina muchos procesos cognitivos importantes, incluyendo la perseverancia, el razonamiento de contraste, la flexibilidad cognitiva y el pensamiento creativo o divergente.

Perseverancia

Cualquier experiencia de pensamiento iterativo tiene un elemento de perseverancia. A nivel cortical, la perseverancia involucra al núcleo accumbens (NA por sus siglas en inglés), que tiene un papel central en el proceso de recompensas (O'Doherty *et al.*, 2004; Nemmi, Nymberg, Helander y Klingberg, 2016). La conectividad entre dos regiones (el NA y el estriado ventral) también se ha relacionado con la perseverancia (Myers *et al.*, 2016). No es de sorprender que el estriado ventral también está involucrado con el control inhibitorio y con la flexibilidad cognitiva (Voorn, Vanderschuren, Groenewegen, Robbins y Pennartz, 2004); ambas son habilidades que nos ayudan a alcanzar nuestros objetivos. Algunas investigaciones sugieren una correlación entre la perseverancia y los resultados positivos en el entrenamiento cognitivo

en niñas y niños, involucrando la memoria de trabajo (Nemmi *et al.*, 2016).

Pensamiento de contraste y toma de perspectiva

Más allá de la perseverancia, las experiencias iterativas implican opciones valoradas mentalmente en contraste con la realidad, o con razonamiento de contraste. El razonamiento de contraste nos ayuda a racionalizar el pasado, a emitir juicios cognitivos y emocionales y a adaptar el comportamiento de acuerdo con esto (Van Hoeck, Watson y Barbey, 2015), empleando un trío de procesos cognitivos que moldea la forma en que aprendemos. Las regiones cerebrales implicadas participan en representaciones mentales de múltiples escenarios, de memoria autobiográfica y de habilidades de toma de perspectiva (Boorman, Behrens y Ruthworth, 2011; Van Hoeck, Watson y Barbey, 2015). Estos procesos nos preparan para hacer predicciones acerca de nuestras decisiones y adaptarnos a la nueva información. Para hacer esto, el cerebro interpreta la retroalimentación externa de nuestras decisiones y ejercita juicios a futuro para reforzar resultados favorables (Van Hoeck, Watson y Barbey, 2015). Las experiencias iterativas, por consiguiente, nos invitan a penetrar en el pensamiento de contraste antes de llevar a cabo la acción.

La flexibilidad cognitiva y el pensamiento creativo

Weisberg y Gopnik (2013) también han sugerido que a través de cómputos cognitivos similares que se encuentran en el pensamiento de contraste, utilizando su imaginación, los niños y niñas pueden considerar resultados pasados y posibles resultados alternativos para planear futuras intervenciones adecuadamente. Hacerlo así incluye aspectos de flexibilidad cognitiva, como eliminar puntos de vista existentes para cambiar nuestra perspectiva, basándonos en los requisitos actuales (Diamond, 2013). En contraste con la rigidez mental, la flexibilidad cognitiva cimienta el camino para el pensamiento creativo.

El pensamiento divergente, una cara de la creatividad, puede actuar tanto como impulsor como producto del pensamiento iterativo. La investigación de estudios de resonancias magnéticas que miden el pensamiento divergente en dominios verbales y viso-espaciales consistentemente involucra la corteza prefrontal lateral (PFC por sus siglas en inglés) en resultados creativos (Arden, Chavez, Grazioplene y Jung, 2010; Dietrich y Kanso, 2010; Kleibeuker, De Dreu y Crone, 2016). Este descubrimiento es interesante en dos frentes. La PFC lateral participa en funciones cognitivas avanzadas, tales como la flexibilidad cognitiva y la resolución de problemas (Johnson y deHaan, 2015; Kleibeuker, De Dreu y Crone, 2016), y experimenta cambios vertiginosos en el crecimiento durante la adolescencia (Johnson y deHaan, 2015). Ante el desarrollo acentuado de la corteza prefrontal durante la adolescencia, este puede ser un periodo único para

que los individuos participen en la resolución creativa de problemas y en pensamiento iterativo.

Plasticidad

La evidencia puede sugerir que entre más utilicemos el pensamiento iterativo, estaremos mejor preparados para iterar en el futuro. Esto es quizá obvio y visible en los músicos de jazz que improvisan a placer. De hecho, estudios de resonancia magnética hechos a músicos adultos han mostrado patrones en la conectividad funcional en relación con el aumento de entrenamiento en la improvisación (Pinho, De Manzano, Fransson, Eriksson, Ullén, 2014; Gibson, Folley, Park, 2008), que sugieren que la producción creativa no es necesariamente una labor sin esfuerzo, aunque así parezca, y puede fortalecerse mediante el entrenamiento a lo largo de la adultez.



Socialmente interactivo

Finalmente nos adentramos en el papel de las experiencias socialmente interactivas. El aprendizaje, en esencia, puede considerarse una aventura social. Aprendemos de nuestras interacciones con otros dentro del contexto de nuestro entorno y de nuestra cultura (Vygotsky, 1978). Algunos marcos populares del desarrollo infantil, tales como la teoría de los sistemas ecológicos de Bronfenbrenner (1977), nos recuerdan que el bienestar de un individuo es sensible a las interacciones dinámicas entre redes sociales tales como las personas cuidadoras, las escuelas y la sociedad en general (Bronfenbrenner, 1977).

Investigaciones de neurociencia han mostrado que, desde el desarrollo temprano, la interacción social tiene un papel muy importante en la formación del cerebro y en el desarrollo de comportamiento (Nelson, 2017). Justo después de nacer empiezan las interacciones de los niños y niñas con adultos alentadores y responsivos (también llamadas interacciones de servicio y devolución) que ayudan a construir unos cimientos neuronales sólidos en las regiones del cerebro responsables del desarrollo de los sistemas funcionales básicos, tales como la visión y el lenguaje (Fox, Levitt y Nelson, 2010).

Más allá de las funciones sensoriales básicas, la interacción social es fundamental para el desarrollo de procesos más avanzados (Hensch, 2016). Estas mismas funciones de servicio y devolución que apuntalan nuestras capacidades visuales y auditivas impulsan nuestra regulación cognitiva, social y emocional posterior. Las investigaciones muestran que los bebés pueden procesar las reacciones emocionales de los adultos y responden adaptándose a ellas, tal es el caso de regresar una sonrisa alegre o evitar un objeto al que el cuidador muestra miedo. (Happé y Frith, 2014). Esta sensibilidad a señales sociales prepara el estado neurológico para los procesos regulatorios que han demostrado ser esenciales para el aprendizaje en entornos complejos, a través de la investigación y la práctica.

Las relaciones afectivas son esenciales

La calidad de las interacciones de los cuidadores es relevante, ya que son una fuente importante del desarrollo social emocional. Las relaciones positivas con los cuidadores pueden amortiguar los efectos perjudiciales de experiencias adversas en los niños y niñas, ayudando a regular respuestas del estrés y permitiendo a otras redes cerebrales ayudarnos en la vida cotidiana (Centro del Niño en Desarrollo de la Universidad de Harvard, CDC por sus siglas en inglés, 2012; CDC, 2016). En caso de adversidad, el cerebro gasta más energía para detectar y proteger al individuo de posibles amenazas, tomando recursos de la planeación a largo plazo, del desarrollo cognitivo y de la autorregulación que se requieren para superar circunstancias difíciles (Lupien, Gunnar, McEwen y Heim, 2009)

Otra forma de subrayar la importancia de las relaciones positivas y enriquecedoras de los cuidadores en la infancia temprana es estudiar qué le sucede a una niña o un niño cuando hay ausencia de interacción social. Sin relaciones de apoyo, estimulantes y afectivas, el funcionamiento del cerebro a su máximo potencial se vuelve un reto. Niños y niñas que han experimentado abandono extremo y privación social en escenarios institucionales muestran actividad eléctrica cerebral asociada con dificultades en el aprendizaje, de acuerdo con medidas tomadas por electroencefalogramas (EEG por sus siglas en inglés) (Nelson, Fox y Zeanah, 2013). Sin embargo, intervenciones a tiempo y adecuadas en las que se coloca a los niños y niñas en entornos rodeados de interacciones sociales positivas y de apoyo pueden ayudar a mejorar o incluso a revertir los efectos negativos del abandono en el ámbito cognitivo, social y físico.

Interacción con pares y autorregulación

Aunque los sistemas emocionales y sociales de niñas y niños dependen básicamente de las interacciones con sus cuidadores en la etapa temprana de la vida, están más sintonizados con sus pares en la infancia tardía y en

la adolescencia (Nelson, 2017). Las interacciones con pares pueden ayudar a los niños y niñas a desarrollar habilidades tales como la adquisición del lenguaje, la cooperación y el aprendizaje social. Las interacciones sociales también pueden proporcionar el contexto para practicar habilidades de autorregulación, tales como el control de inhibiciones y la toma de acciones adecuadas, que desarrollan habilidades de función ejecutiva (Diamond, 2013).

Estudios neurocientíficos y biológicos parecen indicar que las interacciones sociales de los animales durante el juego pueden ayudar en el desarrollo de regiones cerebrales y de redes neuronales esenciales para aprender estas habilidades.

Las interacciones sociales en roedores se caracterizan como juego brusco y de riñas y al parecer moldean el PFC y afectan la autorregulación y la planeación (Bell, Pellis y Kolb, 2010; para otros estudios véase también Pellis y Pellis, 2007; Pellis, Pellis y Himmler, 2014). Parece que a través de experiencias de juego que involucran interacciones sociales, las ratas jóvenes, y quizá los niños y niñas, desarrollan redes neuronales esenciales que son los cimientos para el aprendizaje.

Adaptabilidad

Además, las interacciones sociales surgidas en las experiencias de juego juveniles parecen mejorar la adaptabilidad animal en circunstancias insospechadas. Sin duda, “parece que la experiencia juvenil de juego afina al cerebro para ser más adaptable posteriormente en la vida” (Pellis, Pellis y Himmler, 2014, p. 73) mejorando la plasticidad neuronal (Maier y Watkins, 2010; Himmler, Pellis y Kolb, 2013). Por otra parte, los animales privados de juego social a temprana edad del desarrollo y en la adolescencia, presentan rigidez y niveles bajos anormales de comportamiento social, incluso cuando se les reintegra a la sociedad (Baarendse, Counotte, O'Donnell y Vanderschuren, 2013; Nelson, 2017). Estudios sobre

ratas que se aislaron socialmente a temprana edad muestran que son más propensas a la impulsividad, al comportamiento irregular y a la mala toma de decisiones en situaciones nuevas y problemáticas (Baarendse *et al.*, 2013).

Detección de estados mentales

La interacción social también puede ayudar a ejercitar los procesos mentales que se relacionan con las perspectivas de entendimiento distintas a las nuestras, incluso en ausencia de impulsividad (German, Niehaus, Roarty, Giesbrecht y Miller, 2004). Los contextos que proporcionan oportunidades para participar en la interpretación de estados mentales de otros pueden iniciar procesos tales como teorías de la mente (German *et al.*, 2004), que pueden ser partes integrales del aprendizaje formal e informal y de las interacciones del aprendizaje.

Ya sea con los cuidadores o con los pares, estos descubrimientos enfatizan la importancia de las interacciones sociales positivas para lograr un desarrollo sano. Por esta razón subrayamos el papel que tienen las experiencias de aprendizaje a través del juego socialmente interactivas, ya que pueden moldear de forma productiva la trayectoria del desarrollo de niñas y niños. Para entender mejor estos efectos se requieren mayores investigaciones rigurosas sobre el juego infantil, aunque el acoplamiento entre las interacciones sociales enriquecedoras y los cimientos neuronales para el aprendizaje es digno de atención.



Conclusiones

Existe mucha información que señala las correlaciones neuronales de las diferentes facetas del aprendizaje que se alinean con las cinco características de las experiencias de juego. Ello nos permite explicar más a fondo cómo las experiencias de juego pueden apoyar el aprendizaje. Descubrimos que los mecanismos descritos en los distintos artículos generalmente muestran un ciclo positivo. En otras palabras, cada característica está relacionada con redes neuronales involucradas en los procesos cerebrales, incluyendo la recompensa, la memoria, la flexibilidad cognitiva y la regulación del estrés que se activan durante el aprendizaje. A su vez, la activación de estas redes neuronales sirve para preparar el cerebro del niño o niña para el desarrollo posterior (Puschmann, Brechmann y Thiel, 2013). Por lo tanto, tener experiencias alegres ayuda a los niños y niñas a encontrarle significado a lo que hacen y a lo que aprenden, e incluye el involucramiento activo, el pensamiento iterativo y la interacción social que pueden proporcionarles los cimientos para el aprendizaje para toda la vida.

Nuestra forma de entender el apuntalamiento del aprendizaje se apoya básicamente en estudios hechos en adultos y en animales. La mayor parte de lo que sabemos sobre el aprendizaje en niñas y niños lo obtuvimos de estudios del comportamiento en la ciencia del desarrollo y en la ciencia cognitiva. Sin embargo, avances recientes en técnicas de imagenología no invasiva nos permiten observar cambios en la actividad cerebral entre adolescentes y niños y niñas más jóvenes, en escenarios informales que son importantes para nuestra exploración.

Al utilizar estas técnicas, la investigación a futuro puede buscar validar algunas de las observaciones de los estudios hechos en adultos y en animales. Particularmente, el estudio puede ser capaz de experimentar en escenarios nuevos no restringidos por la maquinaria fija, tales como las propias

experiencias de juego. Diseñar estudios que utilicen herramientas móviles, tales como espectrología de infrarrojo cercano y EEG, puede ayudarnos a localizar patrones específicos de la actividad cerebral en experiencias de juego in situ. Esto nos permitirá identificar los contextos conductivos para el aprendizaje, las formas específicas de alentar el aprendizaje y para quiénes son más productivos los contextos. Tener un entendimiento matizado puede ayudarnos a diseñar investigación neurocientífica que, a la larga, esclarezca los mecanismos neuronales subyacentes que pueden facilitar el aprendizaje a través del juego.

La dirección de la relación entre el juego y el aprendizaje, así como la relación entre las diferentes características de las experiencias de juego, también garantiza mayor exploración. Por ejemplo, podemos pensar que las experiencias alegres involucran sistemas de recompensa que inclinan a los individuos al pensamiento creativo y flexible; alternatively, es posible que la oportunidad de involucrar al pensamiento creativo y flexible sea lo que hace que las experiencias de juego sean alegres.

Desde la perspectiva de los contextos geográficos también descubrimos que la investigación en esta área se inclina hacia escenarios del occidente (p. ej. Norteamérica y Europa). Aunque en todas las culturas las experiencias diversas y positivas son importantes para el desarrollo cerebral y para la formación de redes neuronales, quizá debamos tratar de entender mejor cómo estas experiencias se manifiestan, dependiendo de su propio contexto cultural. Algunos aspectos de la cultura (p. ej. experiencias de lenguaje como el bilingüismo; Barac, Bialystock, Castro y Sanchez, 2014) pueden influir en el desarrollo neuronal de los niños y niñas de forma que moldeen su aprendizaje y cognición. Para sustentar un entendimiento más completo, se requiere mayor investigación en diversos contextos geográficos y culturales.



Citas

- Arden, R., Chavez, R. S., Grazioplene, R., y Jung, R. E. (2010). Neuroimaging creativity: A psychometric view. *Behavioural Brain Research*, 214(2), 143-156. doi:10.1016/j.bbr.2010.05.015
- Baarendse, P. J., Counotte, D. S., Odonnell, P., y Vanderschuren, L. J. (2013). Early Social Experience Is Critical for the Development of Cognitive Control and Dopamine Modulation of Prefrontal Cortex Function. *Neuropsychopharmacology*, 38(8), 1485-1494. doi:10.1038/npp.2013.47
- Barac, R., Bialystok, E., Castro, D.C., y Sanchez, M. (2014). The cognitive development of young dual language learners: A critical review. *Early Childhood Research Quarterly*, 29(4), 699-714. doi:10.1016/j.ecresq.2014.02.003
- Bell, H. C., Pellis, S. M., y Kolb, B. (2010). Juvenile peer play experience and the development of the orbitofrontal and medial prefrontal cortices. *Behavioural Brain Research*, 207(1), 7-13. doi:10.1016/j.bbr.2009.09.029
- Boorman, E. D., Behrens, T. E., y Rushworth, M. F. (2011). Counterfactual choice and learning in a neural network centered on human lateral frontopolar cortex. *PLoS Biology*, 9(6), e1001093. doi:10.1371/journal.pbio.1001093
- Bronfenbrenner, U. (1977). Toward an experimental ecology of human development. *American Psychologist*, 32, 513.
- Bunzeck, N., Doeller, C. F., Dolan, R. J., y Duzel, E. (2012). Contextual interaction between novelty and reward processing within the mesolimbic system. *Human Brain Mapping*, 33(6), 1309-1324. doi:10.1002/hbm.21288
- Burgdorf, J., y Panksepp, J. (2006). The neurobiology of positive emotions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(2), 173-187. doi:10.1016/j.neubiorev.2005.06.001
- Burghardt, G. M. (2010). Defining and recognizing play doi:10.1093/oxfordhb/9780195393002.013.0002
- Carlson, S. M., Zelazo, P. D., y Faja, S. (2013). Executive function. In P. D. Zelazo (Ed.), *The Oxford handbook of developmental psychology* (pp. 706-743). New York, NY: Oxford University Press. doi:10.1093/oxfordhb/9780199958450.001.0001
- Center on the Developing Child at Harvard University (2012). The Science of Neglect: The Persistent Absence of Responsive Care Disrupts the Developing Brain: Working Paper No. 12. Recuperado de www.developingchild.harvard.edu.
- Center on the Developing Child at Harvard University. (2016). From best practices to breakthrough impacts: A science-based approach to building a more promising future for young children and families. <http://www.developingchild.harvard.edu>
- Cools, R. (2011). Dopaminergic control of the striatum for high-level cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 21(3), 402-407. doi:10.1016/j.conb.2011.04.002
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety* (1a ed.). San Francisco
- Dang, L. C., Donde, A., Madison, C., O'Neil, J.P., y Jagust, W. J. (2012). Striatal dopamine influences the default mode network to affect shifting between object features. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(9), 1960. doi:10.1162/jocn_a_00252

- DeHaan, R. L. (2009). Teaching Creativity and Inventive Problem Solving in Science. *CBE Life Sciences Education*, 8(3), 172–181. <https://doi.org/10.1187/cbe.08-12-0081>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135.
- Dietrich, A., y Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822–848. doi:10.1037/a0019749
- Duckworth, A. (2016). *Grit: The power of passion and perseverance* (1a ed.). New York, NY: Scribner.
- Fox, S. E., Levitt, P., y Nelson, C. A. (2010). How the timing and quality of early experiences influence the development of brain architecture. *Child Development*, 81(1), 28–40. doi:10.1111/j.1467-8624.2009.01380.x
- German, T. P., Niehaus, J. L., Roarty, M. P., Giesbrecht, B., y Miller, M. B. (2004). Neural correlates of detecting pretense: Automatic engagement of the intentional stance under covert conditions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(10), 1805–1817. doi:10.1162/0898929042947892
- Gerraty, R. T., Davidow, J. Y., Wimmer, G. E., Kahn, I., y Shohamy, D. (2014). Transfer of learning relates to intrinsic connectivity between hippocampus, ventromedial prefrontal cortex, and large-scale networks. *The Journal of Neuroscience*, 34(34), 11297. doi:10.1523/JNEUROSCI.0185-14.2014
- Gibson, C., Folley, B. S., y Park, S. (2009). Enhanced divergent thinking and creativity in musicians: A behavioral and near-infrared spectroscopy study. *Brain and Cognition*, 69(1), 162–169. doi:10.1016/j.bandc.2008.07.009
- Gruber, M., Gelman, B., y Ranganath, C. (2014). States of curiosity modulate hippocampus-dependent learning via the dopaminergic circuit. *Neuron*, 84(2), 486–496. doi:10.1016/j.neuron.2014.08.060
- Happé, F., y Frith, U. (2014). Annual research review: Towards a developmental neuroscience of atypical social cognition doi:10.1111/jcpp.12162
- Hensch, T. K. (2016). The power of the infant brain. *Scientific American*, 314(2), 64–69.
- Himmler, B., Pellis, S., y Kolb, B. (2013). Juvenile play experience primes neurons in the medial prefrontal cortex to be more responsive to later experiences. *Neuroscience Letters*, 556, 42–45. doi:10.1016/j.neulet.2013.09.061
- Hobeika, L., Diard-Detoeuf, C., Garcin, B., Levy, R., y Volle, E. (2016). General and specialized brain correlates for analogical reasoning: A meta-analysis of functional imaging studies. *Human Brain Mapping*, 37(5), 1953–1969. doi:10.1002/hbm.23149
- Holroyd, C., y Yeung, N. (2012). Motivation of extended behaviors by anterior cingulate cortex doi:10.1016/j.tics.2011.12.008
- Huizinga, J. (1950). *Homo ludens : A study of the play element in culture*. New York: Roy Publishers.
- Immordino-Yang, M., y Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education*, 1(1), 3–10. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x
- Johnson, E. L., Miller Singley, A., T., Peckham, A. D., Johnson, S. L., y Bunge, S. A. (2014). Task-evoked pupillometry provides a window into the development of short-term memory capacity. *Frontiers in Psychology*, 5, 218. doi:10.3389/fpsyg.2014.00218

- Johnson, M. H., y de Haan, M. (2015). *Developmental cognitive neuroscience: An introduction* (4a ed.). West Sussex, UK: Wiley-Blackwell.
- Jorge, R. E., Starkstein, S. E., y Robinson, R. G. (2010). *Apathy following stroke*
- Kaiser, S., Simon, J., Kalis, A., Schweizer, T. S., Tobler, P. N., y Mojzisch, A. (2013). The cognitive and neural basis of option generation and subsequent choice. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 13, 814-829.
- Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T., y Camerer, C. F. (2009). The wick in the candle of learning: Epistemic curiosity activates reward circuitry and enhances memory. *Psychological Science*, 20(8), 963. doi:10.1111/j.1467-9280.2009.02402.x
- Kizilirmak, J. M., Thuerich, H., Folta-Schoofs, K., Schott, B. H., y Richardson-Klavehn, A. (2016). Neural correlates of learning from induced insight: A case for reward-based episodic encoding. *Frontiers in Psychology*, 7 doi:10.3389/fpsyg.2016.01693
- Kleibeuker, S. W., De Dreu, Carsten, K. W., y Crone, E. A. (2016). Creativity development in adolescence: Insight from behavior, brain, and training studies. *New Directions for Child and Adolescent Development*, 2016(151), 73-84. doi:10.1002/cad.20148
- Kuhn, S., Brass, M., y Haggard, P. (2013). Feeling in control: Neural correlates of experience of agency. *Cortex*, 49(7), 1935-1942. doi:10.1016/j.cortex.2012.09.002
- Lupien, S. J., Gunnar, M. R., McEwen, B. S., y Heim, C. (2009). Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), 434-445. doi:10.1038/nrn2639
- Luu, P., Tucker, D. M., y Stripling, R. (2007). Neural mechanisms for learning actions in context. *Brain Research*, 1179, 89-105. doi:10.1016/j.brainres.2007.03.092
- Maier, S. F., y Watkins, L. R. (2010). Role of the medial prefrontal cortex in coping and resilience. *Brain Research*, 1355, 52-60. doi:10.1016/j.brainres.2010.08.039
- Mcnamara, C. G., Tejero-Cantero, Á., Trouche, S., Campo-Urriza, N., y Dupret, D. (2014). Dopaminergic neurons promote hippocampal reactivation and spatial memory persistence. *Nature Neuroscience*, 17(12), 1658-1660. doi:10.1038/nn.3843
- Molenberghs, P., Trautwein, F., Böckler, A., Singer, T., y Kanske, P. (2016). Neural correlates of metacognitive ability and of feeling confident: A large-scale fMRI study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(12), 1942.
- Müller, B. C. N., Tsalas, N. R. H., van Schie, H. T., Meinhardt, J., Proust, J., Sodian, B., y Paulus, M. (2016). Neural correlates of judgments of learning – an ERP study on metacognition. *Brain Research*, 1652, 170-177. doi:10.1016/j.brainres.2016.10.005
- Myers, C. A., Wang, C., Black, J. M., Bugescu, N., y Hoeft, F. (2016). The matter of motivation: Striatal resting-state connectivity is dissociable between grit and growth mindset. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(10), 1521-1527. doi:10.1093/scan/nsw065

- Nelson, C., Fox, N., y Zeanah, C. (2013). Anguish of the abandoned child. *Scientific American; Sci.Am.*, 308(4), 62-67.
- Nelson, E. E. (2017). Learning through the ages: How the brain adapts to the social world across development. *Cognitive Development*, doi:10.1016/j.cogdev.2017.02.013
- Nemmi, F., Nymberg, C., Helander, E., y Klingberg, T. (2016). Grit is associated with structure of nucleus accumbens and gains in cognitive training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(11), 1688-1699. doi:10.1162/jocn_a_01031
- O'Doherty, J., Dayan, P., Schultz, J., y Deichmann, R. (2004). Dissociable roles of ventral and dorsal striatum in instrumental conditioning. *Science*, 304(5669), 452-454.
- Pellis, S. M., y Pellis, V. C. (2007). Rough-and-Tumble Play and the Development of the Social Brain. *Current Directions in Psychological Science*, 16(2), 95-98. doi:10.1111/j.1467-8721.2007.00483.x
- Pellis, S. M., Pellis, V. C., y Himmler, B. T. (2014). How play makes for a more adaptable brain: A comparative and neural perspective. *American Journal of Play*, 7(1), 73-98.
- Pinho, A. L., Manzano, O. D., Fransson, P., Eriksson, H., y Ullen, F. (2014). Connecting to Create: Expertise in Musical Improvisation Is Associated with Increased Functional Connectivity between Premotor and Prefrontal Areas. *Journal of Neuroscience*, 34(18), 6156-6163. doi:10.1523/jneurosci.4769-13.2014
- Puschmann, S., Brechmann, A., y Thiel, C. M. (2013). Learning-dependent plasticity in human auditory cortex during appetitive operant conditioning. *Human Brain Mapping*, 34(11), 2841.
- Qiu, J., Li, H., Yang, D., Luo, Y., Li, Y., Wu, Z., y Zhang, Q. (2008). The neural basis of insight problem solving: An event-related potential study. *Brain and Cognition*, 68(1), 100-106. doi:10.1016/j.bandc.2008.03.004
- Rubin, K. H., Fein, G. G., y Vandenberg, B. (1983). Play. *Handbook of Child Psychology*, 4, 693-774.
- Shonkoff, J. P., y Garner, A. S. (2012). The lifelong effects of early childhood adversity and toxic stress. *American Academy of Pediatrics*, 129(1), e246. doi:10.1542/peds.2011-2663
- Smith, P. K. (2010). *Children and play*. Chichester, West Sussex : Malden, MA:
- Söderqvist, S., Bergman Nutley, S., Peyrard-Janvid, M., Matsson, H., Humphreys, K., Kere, J., y Klingberg, T. (2012). Dopamine, working memory, and training induced plasticity: Implications for developmental research. *Developmental Psychology*, 48(3), 836-843. doi:10.1037/a0026179
- Takeuchi, H., Taki, Y., Sassa, Y., Hashizume, H., Sekiguchi, A., Fukushima, A., y Kawashima, R. (2010). Regional gray matter volume of dopaminergic system associate with creativity: Evidence from voxelbased morphometry. *NeuroImage*, 51(2), 578-585. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.02.078

Ulrich, M., Keller, J., Hoenig, K., Waller, C., y Grön, G. (2014). Neural correlates of experimentally induced flow experiences. *NeuroImage*, 86, 194-202. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.08.019

Van Hoeck, N., Begtas, E., Steen, J., Kestemont, J., Vandekerckhove, M., y Van Overwalle, F. (2014). False belief and counterfactual reasoning in a social environment. *NeuroImage*, 90, 315-325. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.12.043

Van Hoeck, N., Watson, P. D., y Barbey, A. (2015). Cognitive neuroscience of human counterfactual reasoning doi:10.3389/fnhum.2015.00420

Voorn, P., Vanderschuren, Louk J. M. J., Groenewegen, H. J., Robbins, T. W., y Pennartz, C. M. A. (2004). Putting a spin on the dorsal-ventral divide of the striatum. *Trends in Neuroscience*, 27(8), 468-474. doi:10.1016/j.tins.2004.06.006

Vygotsky, L. S. (1978). In Cole M. (Ed.), *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge.

Weisberg, D. S., y Gopnik, A. (2013). Pretense, counterfactuals, and bayesian causal models: Why what is not real really matters. *Cognitive Science*, 37(7), 1368-1381. doi:10.1111/cogs.12069

Weisberg, D. S., Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., y Mccandliss, B. D. (2014). Mise en place: Setting the stage for thought and action. *Trends in Cognitive Sciences*, doi:10.1016/j.tics.2014.02.012

Zosh, J. M., Hopkins, E. J., Jensen, H., Liu, C., Neale, D., Hirsh-Pasek, K., Solis, S. L., y Whitebread (2017). *Learning through play: a review of the evidence* (white paper). The LEGO Foundation, DK.

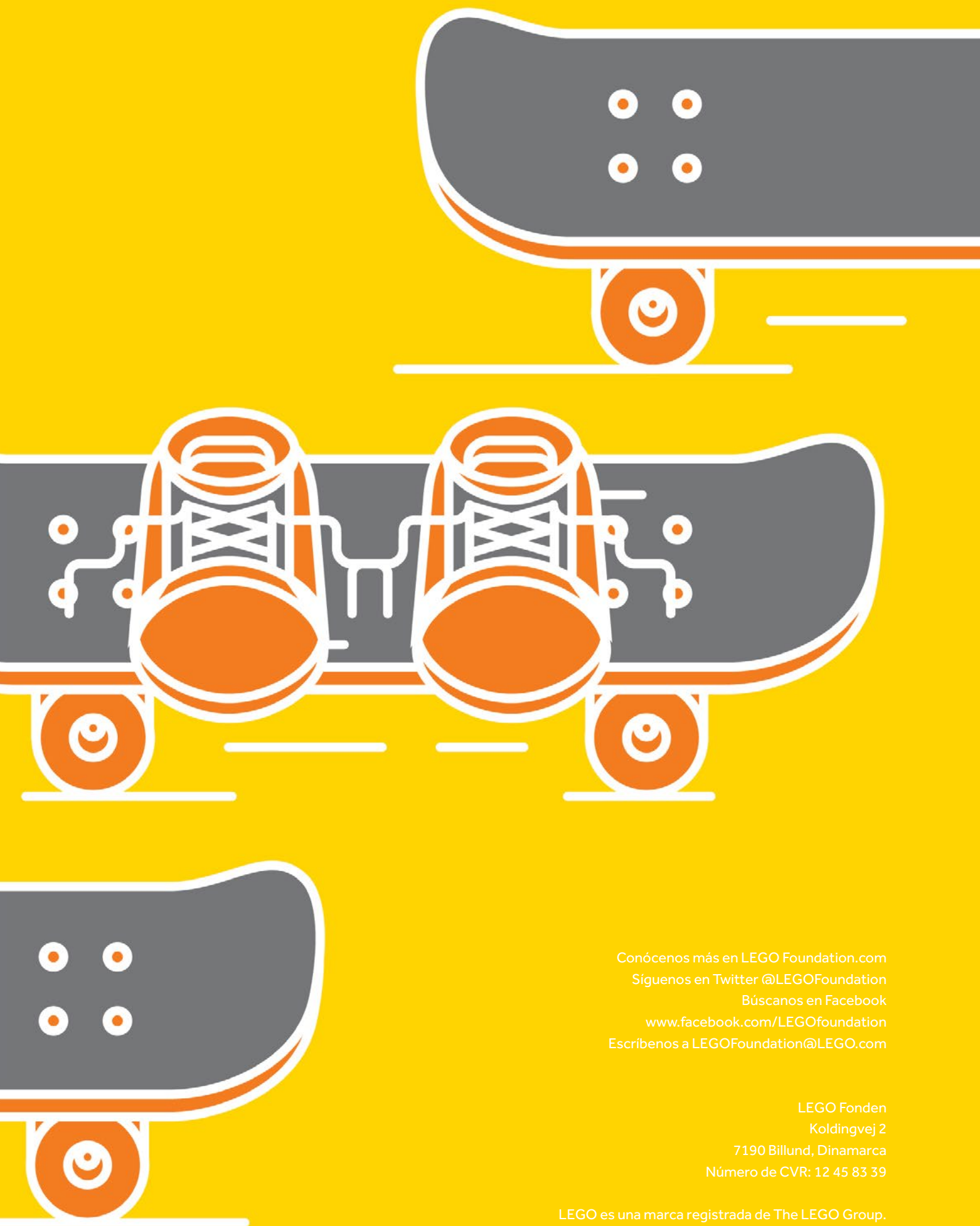
Créditos de las imágenes

Página 4:

Crédito: Creative Commons, recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Density_of_moral_neuroscience_studies_fnint-07-00065-g001.jpg

Página 7:

Crédito: Creative Commons, recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/Pubmed_equitativa_hormonal
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/Pubmed_equitativa_hormonal.png



Conócenos más en [LEGO Foundation.com](http://LEGOFoundation.com)
Síguenos en Twitter @LEGOFoundation
Búscanos en Facebook
www.facebook.com/LEGOfoundation
Escríbenos a LEGOFoundation@LEGO.com

LEGO Fonden
Koldingvej 2
7190 Billund, Dinamarca
Número de CVR: 12 45 83 39

LEGO es una marca registrada de The LEGO Group.
©2017 The LEGO Group