

Evaluación del aprendizaje en los museos y centros de ciencias ¿es posible desde la perspectiva de la neurociencia?

Germán Vega-Flores y Alba Patricia Macías-Nestor

Resumen

La evaluación del aprendizaje en los Museos y Centros de Ciencias (MCC) ha generado controversias en cuanto a si es posible registrar por medio de alguna técnica este proceso de construcción personal. Se han documentado una diversidad de metodologías que han dado cuenta de las características del aprendizaje que se construye en estos espacios, recientemente, la neurociencia también hace su aproximación para intentar explicar lo que sucede a nivel cerebral, mediante la evaluación del aprendizaje en este entorno tan particular, sin embargo, aún hay aspectos importantes que considerar.

Palabras clave

Aprendizaje informal; Centros y museos de ciencia; Divulgación de la ciencia en los países en desarrollo

DOI

<https://doi.org/10.22323/3.04020401>

Fecha de recepción: 21 de febrero de 2021

Fecha de aceptación: 15 de julio de 2021

Fecha de publicación: 18 de noviembre de 2021

Introducción

Los MCC se han convertido en espacios fundamentales para la educación en ciencia al cumplir con funciones comunicativas, educativas y sociales. Estos espacios son instituciones importantes para la construcción de una cultura científica en la población, debido a que uno de sus objetivos es brindar la posibilidad de que los asistentes adquieran opiniones fundamentadas acerca de las ciencias, para que el ciudadano contemporáneo, inmerso en constantes cambios e innovaciones en materia de ciencia y tecnología, participe en la toma de decisiones relevantes en la sociedad [Sánchez Mora, 2007] y al mismo tiempo desarrolle diversas habilidades, como por ejemplo, el pensamiento crítico o la creatividad.

De manera reciente el aprendizaje principal que se construye en estos espacios se denomina, aprendizaje informal [National Research Council, 2009]. Este tipo de aprendizaje ha sido objeto de estudio desde diferentes enfoques metodológicos, ya sea cuantitativo, cualitativo o mixto [Morentin Pascual y Guisasola Aranzabal,

2005; Livingstone, Pedretti y Soren, 2001]. Los alcances de estas investigaciones, han puesto de manifiesto la necesidad de trabajar en el desarrollo de estrategias de evaluación eficientes y con validez ecológica que lleven a generar conocimiento que facilite el aprendizaje en un contexto tan complejo como el de los MCC [Macías-Nestor, 2020] para que sea aplicado en un contexto cotidiano [Haar, van Assel y Aldo Faisal, 2020].

El proceso de evaluación en los MCC se realiza con la finalidad de obtener información objetiva acerca de una actividad, módulo interactivo o exposición. Los resultados y las conclusiones deben ser la base para dirigir los esfuerzos hacia la mejora e innovación constante de estos espacios. En años recientes, desde la perspectiva de la neurociencia, se han implementado algunos estudios intentando comprender lo que sucede en el cerebro del visitante de los MCC, encontrándose que las limitaciones principales provienen de la tecnología disponible para la medición y el control de variables que influyen en un entorno tan complejo, esto ha levantado controversia en cuanto a la posible validez de la aplicación de los resultados obtenidos de los visitantes [Pelowski y col., 2017], al contexto real de los MCC [Haar, van Assel y Aldo Faisal, 2020] ya que, por ejemplo, la medición de parámetros neurofisiológicos puede estar afectada por las diferencias que pueden inducir en el comportamiento espontáneo del visitante el uso de los dispositivos de recogida de datos durante su estancia en los MCC.

El aprendizaje en los MCC

El aprendizaje humano ha sido objeto de estudio desde diversas áreas disciplinares. Para la visión pedagógica, el aprendizaje está definido desde los tiempos de Comenio [1592–1671 citado en Compayré, 1902] como una facultad de orden natural como la memoria, los sentidos y la imaginación de la cual se favorecen los procesos de instrucción en un contexto de educación. Desde el punto de vista psicológico, el aprendizaje es un proceso por el cual la conducta de un individuo cambia y se modifica mediante procesos perceptivos, cognitivos y de organización motora a lo largo del tiempo para adaptarse a los cambios que se producen en el entorno [Aguado-Aguilar, 2001]. De acuerdo con Mora [2019] el aprendizaje es un proceso que viene programado genéticamente en el cerebro de todos los organismos, es la base de la supervivencia del individuo y de la especie, como las necesidades básicas de alimentación y reproducción. Para este autor, el aprendizaje comienza desde el momento del nacimiento a través de mecanismos básicos como la imitación, la atención compartida (o conjunta) y la empatía.

“El cerebro es modificable a lo largo de casi todo su arco vital. El cerebro cambia en su conformación anatómica, bioquímica y fisiológica, lo que influye en la conducta, en el pensamiento y en el sentimiento del poseedor de ese cerebro. Estos cambios son el resultado de lo que se aprende y memoriza a lo largo de toda una vida. Sin duda esos procesos son más eficientes en las primeras edades. La esencia y la eficiencia del aprendizaje y de la memoria que modifica el cerebro reside en esa energía cerebral que llamamos emoción” [Mora, 2019].

El aprendizaje y la memoria son esenciales para el funcionamiento y la supervivencia de los organismos [Kandel y col., 2013]. Desde la perspectiva de la neurociencia, el aprendizaje hace referencia a un cambio en el comportamiento que

puede no ser observable y que resulta de la modificación en la eficiencia de conexión de las redes neuronales tras la exposición a la información relevante del entorno, por su parte, la memoria es el proceso mediante el cual ese conocimiento se codifica, se almacena y luego se recupera mediante mecanismos similares. Entonces, el concepto de aprendizaje depende de los paradigmas, la ontología y la epistemología seguida por el investigador que lo argumenta en sus estudios [Anderson y Ellenbogen, 2012]. Es así que, como señala Pozo Muncio [2014], la comprensión del aprendizaje humano ha ido de lo conductual a lo cognitivo, sin dejar de lado lo que la neurociencia ha aportado desde su entendimiento de las funciones del cerebro.

En el marco de referencia de los MCC, cobra especial importancia que el aprendizaje generalmente no pueda ser observado, principalmente es inferido a partir de cuestionarios, entrevistas o evaluaciones durante o después de la visita. Lo complejo de la definición del aprendizaje y lo relevante de su enfoque plantea la necesidad de establecer parámetros sólidos para poder evaluarlo directamente en entornos complejos e inmersivos, sin descuidar la validez ecológica para poder aplicar los hallazgos de la forma más fluida posible y favorecer así el aprendizaje en los MCC, es aquí donde la evaluación de diversos parámetros neurofisiológicos, interpretados mediante la neurociencia aplicada en contexto, puede ser de mucha utilidad. Sin embargo, la naturaleza misma del aprendizaje hace que sea difícil captarlo justo en el momento en que sucede.

La evaluación del aprendizaje en los MCC

Los primeros estudios para evaluar el aprendizaje en los MCC provienen de la conducta observada en el visitante [Pérez Abad y col., 1999; Pérez Santos, 2000], esta evaluación aportaba de manera indirecta, información respecto al conocimiento construido. Serrell [1998], por su parte, menciona que los visitantes que atienden al menos al 51 % de los elementos que se muestran en una exposición, son capaces de verbalizar hechos específicos, ideas y conceptos relacionados con el tema que observaron. De esta manera, toma relevancia el tiempo dedicado a la sala del museo, a la lectura de los contenidos escritos y la interacción con los módulos interactivos de la exposición. Adicionalmente, se ha invertido mucho tiempo de investigación para crear estrategias multidisciplinares, basadas en evidencia, que faciliten el aprendizaje en los MCC. El interés por evaluar estos cambios cognitivos ha ido en aumento constante. Diversos estudios indican, por ejemplo, la importancia de una manera efectiva, significativa y económica de medir el aprendizaje en estos contextos [Griffin y col., 2005] y la importancia de guardar un ambiente inmersivo que emule lo mejor posible la realidad [Foss Mortensen, 2011].

Por su parte, Shettel [2008] menciona que, en los últimos 40 años, las metodologías de evaluación han evolucionado para poder validar y mejorar la eficacia educativa de las exposiciones. Se han llevado a cabo estudios de evaluación inicial, formativa, sumativa y remedial en diversos tipos de salas de museos que han demostrado su eficacia no sólo en las mejoras de las exposiciones, sino que también han aportado al marco de referencia teórico para el desarrollo e innovación de espacios museísticos [Chin, 2004; Sánchez Mora, 2018]. El complemento que puede significar a estos datos el aporte de la neurociencia significaría un gran impulso para los MCC.

La evaluación ha tomado diversos rumbos, el más frecuente es el cuantitativo que se vale de indicadores como el recorrido realizado, el tiempo que se le dedica a una exposición y el uso del espacio museístico, los cuales han sido vinculados con la motivación que sustenta el aprendizaje. En este sentido, autores como Chang [2006], Serrell [1998] y Norberto Rocha y col. [2021] sugieren que el tiempo utilizado y los patrones de lectura resultan significativos para evaluar diferentes experiencias y aprendizaje en el museo. Existen también estudios de tipo cualitativo, en donde se aproxima hacia la experiencia del visitante por medio de cuestionarios de opinión y de respuesta cerrada, observación participante, entrevistas, grupos de enfoque, entre otros. Así como el uso de técnicas de representación cognitiva como el Mapeo de Significado Personal (*Personal Meaning Mapping, PMM*) que se basa en un enfoque relativista-constructivista para evaluar el aprendizaje [Sánchez Mora, 2018], esta técnica se emplea para registrar los cambios en la percepción y el conocimiento después de una visita [Villa, 2016]. El modo de empleo de esta técnica es la escritura de palabras, ideas, dibujos, oraciones o pensamientos en torno a una palabra clave detonadora, antes y después de la visita.

Por otro lado, no se puede ignorar la importancia de comprender la dimensión afectiva como un posible indicador del aprendizaje del visitante. En esta línea, se reporta el uso de técnicas cualitativas para evaluar la dimensión afectiva de la visita, la cual está estrechamente ligada a la motivación que lleva al visitante a buscar una experiencia extraordinaria en su paso por el museo. Investigadores como Packer [2006], sugieren un posible vínculo entre el aprendizaje y la diversión, lo que a su vez representa un papel importante en los procesos de memoria y en la aplicación del aprendizaje.

Más recientemente, se ha iniciado el estudio de la evaluación en los MCC desde la neurociencia, para complementar con datos a nivel cerebral la información que permita conocer aspectos específicos del tipo de aprendizaje que se construye en estos espacios educativos informales. Esto aportaría elementos enriquecedores combinado con técnicas ya descritas, como el PMM, para describir cómo un visitante aprende cuando visita los MCC, además sería básico para facilitar, por ejemplo, el aprendizaje significativo.

La neurociencia y el aprendizaje en los MCC

Han sido escasas las aproximaciones desde la neurociencia para abordar la problemática que implica analizar la interacción de un visitante en los MCC y su aprendizaje. Las variables que se deben considerar son muy diversas, se pueden encontrar las más objetivas para medir, representadas por las respuestas fisiológicas vinculadas con el estrés y la atención como indicadores del grado de interés de un visitante hacia la exposición, ya sea mediante la respuesta galvánica de la piel (sudoración), los movimientos oculares o los ritmos cerebrales [Chabin y col., 2020]. Hoy día también es posible el registro remoto de electroencefalografía [Bevilacqua y col., 2019; Chabin y col., 2020] y más recientemente de la espectroscopía funcional del infrarrojo cercano [Soltanlou y col., 2018] para saber, por ejemplo, acerca del consumo de oxígeno cerebral. También se encuentran técnicas como el tracking o trackeo de las trayectorias y los tiempos de permanencia en cada sección de una sala [Yalowitz y Bronnenkant, 2009], los patrones de lectura de contenido científico [Hohenstein y Tran, 2007; Norberto Rocha y col., 2021] y la interacción con los módulos interactivos [McLean, 2006]

e incluso se puede pensar hoy día en el uso de técnicas que midan el movimiento corporal o entornos de realidad virtual [Haar, van Assel y Aldo Faisal, 2020].

Es evidente que la variedad de técnicas es amplia y que es necesario combinar varias de ellas para obtener el máximo potencial de cada una en el contexto de los MCC, aprovechando que las variables fisiológicas tienen como una de sus principales características, que los datos obtenidos son altamente congruentes con la realidad observable, ya que, por ejemplo, el patrón de movimientos oculares o los cambios en la sudoración son un reflejo fiel de lo que hace el visitante.

Sin embargo, surge un aspecto muy importante a considerar, que genera controversias dentro de la complejidad de los MCC, y es que la sola medición de cualquier parámetro fisiológico implica su posible modificación, debido a que portar el equipo de medición durante la visita podría afectar significativamente el comportamiento espontáneo del visitante ya sea por lo vistoso de una gorra con sensores, electrodos o cables, a los que tal vez no está debidamente habituado, o simplemente por el hecho de saberse participante de un estudio, sin olvidar que el solo hecho de prestarse voluntario ya implica un sesgo en la muestra, siendo que en esencia, los MCC pretenden llegar a la mayor cantidad de población y tan heterogénea como sea posible. Por lo tanto, es materia de discusión la aplicabilidad de los resultados obtenidos en estos contextos al rediseño de las exposiciones, y al mismo tiempo, es innegable la importancia del aporte que la investigación en neurociencia significa para los MCC.

La controversia adquiere una complejidad mucho mayor cuando se hace el intento de vincular los datos obtenidos con los factores que influyeron en el participante para visitar la sala de una manera específica. De esta forma, se hace indispensable la necesidad de vincular técnicas ya consolidadas como el PMM en combinación con las técnicas neurofisiológicas, es decir, evaluaciones multiángulo [Macías-Nestor, 2020].

Ahora bien, la finalidad de hacer mediciones fisiológicas y conductuales a los visitantes de los MCC no se termina en saber cómo es la visita o saber qué respuestas tiene ante el montaje de una exposición o el uso de un módulo interactivo, el objetivo principal es favorecer que el visitante se pueda llevar algo del conocimiento que subyace el diseño del MCC a su hogar y lo pueda transferir a su vida cotidiana y para favorecer a su vez otras esferas cognitivas y emocionales [Friedman y Miyake, 2017].

Por lo tanto, para comenzar a disminuir la controversia, los datos fisiológicos registrados en estos contextos deberían pasar hábilmente y de forma limpia, experimentalmente hablando, por tres etapas [Foss Mortensen, 2011]; una recolección de datos fiable y objetiva en combinación con otras técnicas de evaluación museística con los debidos controles [Chabin y col., 2020], la vinculación e interpretación de los datos obtenidos considerando los objetivos del visitante [Soltanlou y col., 2018] y la aplicación de los resultados en el diseño de nuevas exposiciones.

La neurociencia indica actualmente qué variables tiene sentido medir en el visitante de los MCC, pero decidir cuáles son las adecuadas debe obedecer a una pregunta de investigación basada en favorecer el aprendizaje, por ejemplo, uno de

los principales motores del aprendizaje es la motivación intrínseca [Amabile, 1983; Anderman y Gray, 2015; DePasque y Tricomi, 2015; Sousa, 2017], así que producir o incrementar este grupo de emociones, que en conjunto llamamos motivación, es una de las tareas más complicadas que la pedagogía se puede plantear, más aún cuando en los MCC tenemos un amplio abanico de motivos de visita, desde los visitantes que asisten solos, los que van como acompañantes, por formación académica obligatoria o simplemente de paseo, entre otros.

Hoy en día se sabe que la medida de variables principalmente relacionadas con el sistema nervioso autónomo, sería un indicador confiable de factores intrínsecos que el visitante experimenta, muy probablemente, como resultado de la interacción con una exposición, donde para aumentar la confiabilidad de esta afirmación hace falta obtener muestras amplias y una medición lo menos invasiva posible. En este sentido, lo ideal es poder determinar qué propiedades físicas de un estímulo en su contexto, resultan más relevantes para una población y así extrapolar esas propiedades a una exposición de cualquier tema de ciencia.

La neurociencia, en conjunto con la pedagogía, también ha corroborado la importancia de otros principios que deben ser considerados, como el de primacía y recencia, que describen la facilidad con la que se conserva, en periodos de 20 minutos aproximadamente [Serrell, 1998], la información inicial y la información final con un periodo de desconexión en el medio, así que los MCC deben tener presente que en una sala cuya visita dura 20 minutos o menos la información inicial (primacía) y la información final (recencia) es más susceptible de ser codificada y representada en la memoria de largo plazo, en comparación con la información de los minutos intermedios [Elliott, Isaac y Muhlert, 2014; Sousa, 2017].

En cuanto a la estimulación sensorial que representan todos los elementos que conforman una exposición en los MCC, resulta también muy importante ya que, dentro de ciertos límites, favorece la transferencia del conocimiento a otro contexto por parte del visitante [Bergmann y Zepernick, 2007; Sousa, 2017]. Se hace necesario presentar la información de forma tal que implique varias vías sensoriales en un contexto inmersivo [Foss Mortensen, 2011], pero sin perder de vista el objetivo de la exposición (ya que demasiada estimulación sería contraproducente porque el visitante recordaría la estimulación, pero no el mensaje), esto ampliaría las probabilidades de que la motivación por el conocimiento aumentara en el visitante. Así mismo, el uso de una amplia variedad de vías sensoriales para transmitir la información es muy importante, ya que la receptividad, el nivel de atención y el desarrollo del público es muy diverso también.

Una vez recabados los datos, aún queda la tarea de vincular esto con el aprendizaje de los visitantes. Dado que la memoria explícita es por antonomasia la memoria de los procesos cognitivos superiores, se hace indispensable evaluar mediante técnicas declarativas el aprendizaje que el visitante pueda reflejar. Esto implica otra dificultad en sí. Desde la pedagogía se sabe que cada espacio de los MCC tiene un objetivo dirigido a desarrollar ciertas competencias educativas y son estas las que deben ser evaluadas. Entendiéndose la competencia educativa como una actuación integral del saber conocer (conceptual), hacer (procedimental) y ser (actitudinal) que "hace posible identificar, interpretar, argumentar y resolver problemas, actualizando lo que se sabe y poniendo en práctica lo aprendido para lograr los

objetivos planteados, respondiendo a las exigencias individuales o sociales” [López Gómez, 2016].

Por lo tanto, las competencias educativas deben ser amplias y de largo alcance, además de realistas, para facilitar su evaluación y cumplir con el cometido comunicativo, educativo y social que implica un MCC sobre todo en poblaciones con amplia problemática social. Si el mensaje es simple y general, podrá ser codificado más fácilmente y tendrá mayor probabilidad de favorecer la motivación. Así, algunos visitantes transferirán ese conocimiento a otras esferas de su vida mientras que otros, además, abundarán en el tema de manera independiente, por ejemplo, una exposición claramente organizada con diferentes niveles de profundidad en el manejo de la información, podría permitir al visitante elegir su propio recorrido y el nivel de estimulación en función de sus intereses, además, permitiría que fuera evaluado con paradigmas apropiados y con base en el motivo de visita reportado.

A manera de conclusión

Resulta claro, llegados a este punto, que existe debate entre la pertinencia de la vinculación de los datos fisiológicos y los resultados reportados como aprendidos, esto representa el punto débil del proceso de evaluación con técnicas neurocientíficas en los MCC, mientras que los datos principalmente fisiológicos son de naturaleza principalmente somática, los datos obtenidos mediante evaluaciones, encuestas y entrevistas, son cognitivos, declarativos y más sensibles a los sesgos y heurísticos [Barón y Zapata Rotundo, 2018], por eso se hace necesaria la aplicación de técnicas neurofisiológicas combinadas con técnicas ya consolidadas de evaluación en estos contextos.

Actualmente la neurociencia ha realizado un aporte aun discreto pero significativo al campo de la evaluación en los MCC, sin embargo, técnicamente aún hay numerosas limitantes que alimentan la controversia, ya que existe un puente entre lo que se puede medir fisiológicamente en los humanos como aprendizaje durante una visita, y lo que se puede medir con los instrumentos consolidados en los MCC. Las limitantes tecnológicas y experimentales son claras, por ejemplo, el coste, tamaño o comodidad y discreción de los equipos, o que no siempre es posible manejar muestras numerosas en los MCC de entidades pequeñas, pero el desarrollo y la miniaturización del equipo, dispositivos móviles, su abaratamiento, así como el aumento en la capacidad de análisis de esos datos y el avance de las técnicas pedagógicas para una evaluación (diferencial o multidimensional), son prometedoras para alcanzar a mediano plazo una forma efectiva para favorecer, por ejemplo, la motivación intrínseca y potenciar el desarrollo de los procesos cognitivos de la población impactada por los MCC.

Referencias

- AGUADO-AGUILAR, L. (2001). 'Aprendizaje y memoria'. *Revista de Neurología* 32 (4), págs. 373-381. <https://doi.org/10.33588/rn.3204.2000154>.
- AMABLE, T. M. (1983). 'Brilliant but cruel: perceptions of negative evaluators'. *Journal of Experimental Social Psychology* 19 (2), págs. 146-156. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(83\)90034-3](https://doi.org/10.1016/0022-1031(83)90034-3).
- ANDERMAN, E. M. y GRAY, D. (2015). 'Motivation, learning, and instruction'. En: *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Ed. por WRIGHT, J. D. 2.^a ed. Elsevier, págs. 928-935. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.26041-8>.

- ANDERSON, D. y ELLENBOGEN, K. M. (2012). 'Learning science in informal contexts — epistemological perspectives and paradigms'. En: Second international handbook of science education. Ed. por FRASER, B. J., TOBIN, K. y MCROBBIE, C. J. Vol. 24. Springer International Handbooks of Education. Dordrecht, The Netherlands: Springer, págs. 1179-1187.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_78.
- BARÓN, L. y ZAPATA ROTUNDO, G. J. (2018). 'Los sesgos cognitivos: de la psicología cognitiva a la perspectiva cognitiva de la organización y su relación con los procesos de toma de decisiones gerenciales'. *Ciencia y Sociedad* 43 (1), págs. 31-48. <https://doi.org/10.22206/cys.2018.v43i1.pp31-48>.
- BERGMANN, L. S. y ZEPERNICK, J. S. (2007). 'Disciplinary and transfer: students' perceptions of learning to write'. *WPA Journal* 31 (1/2), págs. 124-129.
 URL: <https://docs.lib.purdue.edu/writinglabpubs/6>.
- BEVILACQUA, D., DAVIDESCO, I., WAN, L., CHALONER, K., ROWLAND, J., DING, M., POEPEL, D. y DIKKER, S. (2019). 'Brain-to-brain synchrony and learning outcomes vary by student-teacher dynamics: evidence from a real-world classroom electroencephalography study'. *Journal of Cognitive Neuroscience* 31 (3), págs. 401-411. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01274.
- CHABIN, T., GABRIEL, D., CHANSOPHONKUL, T., MICHELAN, L., JOUCLA, C., HAFFEN, E., MOULIN, T., COMTE, A. y PAZART, L. (2020). 'Cortical patterns of pleasurable musical chills revealed by high-density EEG'. *Frontiers in Neuroscience* 14, 565815.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2020.565815>.
- CHANG, E. (2006). 'Interactive experiences and contextual learning in museums'. *Studies in Art Education* 47 (2), págs. 170-186.
<https://doi.org/10.1080/00393541.2006.11650492>.
- CHIN, C.-C. (2004). 'Museum experience — a resource for science teacher education'. *International Journal of Science and Mathematics Education* 2 (1), págs. 63-90. <https://doi.org/10.1023/B:IJMA.0000026536.75034.34>.
- COMPAYRÉ, G. (1902). *Historia de la pedagogía*. México: Librería de la V^{da} de Ch. Bouret.
 URL: http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080100320/1080100320_MA.PDF.
- DEPASQUE, S. y TRICOMI, E. (2015). 'Effects of intrinsic motivation on feedback processing during learning'. *NeuroImage* 119, págs. 175-186.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.06.046>.
- ELLIOTT, G., ISAAC, C. L. y MUHLERT, N. (2014). 'Measuring forgetting: a critical review of accelerated long-term forgetting studies'. *Cortex* 54, págs. 16-32.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.02.001>.
- FOSS MORTENSEN, M. (2011). 'Analysis of the educational potential of a science museum learning environments: visitors' experience with and understanding of an immersion exhibit'. *International Journal of Science Education* 33 (4), págs. 517-545. <https://doi.org/10.1080/09500691003754589>.
- FRIEDMAN, N. P. y MIYAKE, A. (2017). 'Unity and diversity of executive functions: individual differences as a window on cognitive structure'. *Cortex* 86, págs. 186-204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>.
- GRIFFIN, J., KELLY, L., SAVAGE, G. y HATHERLY, J. (2005). 'Museums actively researching visitor experiences and learning (MARVEL): a methodological study'. *Open Museum Journal* 7, págs. 1-19.
- HAAR, S., VAN ASSEL, C. M. y ALDO FAISAL, A. (2020). 'Motor learning in real-world pool billiards'. *Nature Scientific Reports* 10, 20046.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-76805-9>.

- HOHENSTEIN, J. y TRAN, L. U. (2007). 'Use of questions in exhibit labels to generate explanatory conversation among science museum visitors'. *International Journal of Science Education* 29 (12), págs. 1557-1580. <https://doi.org/10.1080/09500690701494068>.
- KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H., JESSELL, T. M., SIEGELBAUM, S. A. y HUDSPETH, A. J., eds. (2013). *Principles of neural science*. 5.ª ed. U.S.A.: McGraw-Hill.
- LIVINGSTONE, P., PEDRETTI, E. y SOREN, B. J. (2001). 'Visitor comments and the socio-cultural context of science: public perceptions and the exhibition *A Question of Truth*'. *Museum Management and Curatorship* 19 (4), págs. 355-369. <https://doi.org/10.1080/09647770100401904>.
- LÓPEZ GÓMEZ, E. (2016). 'En torno al concepto de competencia: un análisis de fuentes'. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado* 20 (1), págs. 311-322.
- MACÍAS-NESTOR, A. P. (2020). 'Educación y museos: hacia una evaluación pedagógica del aprendizaje informal. Un estudio de caso en Universum Museo de las Ciencias'. Tesis para optar por el grado de Maestra en Pedagogía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- MCLEAN, K. (2006). 'Research questions of informal learning practitioners: a seriously informal survey'. *Visitor Studies Today* 9 (1), págs. 18-22.
- MORA, F. (2019). 'El cerebro sólo aprende si hay emoción'. *Educación* 3.0. URL: <https://www.educacionrespuntocero.com/entrevistas/francisco-mora-el-cerebro-solo-aprende-si-hay-emocion/33224.html> (visitado 15 de febrero de 2021).
- MORENTIN PASCUAL, M. y GUIASOLA ARANZABAL, J. (2005). 'Museos de ciencias y aprendizaje de las ciencias, una relación compleja'. *Alambique* 43, págs. 58-66.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2009). *Learning science in informal environments: people, places, and pursuits*. Washington, DC, U.S.A.: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12190>.
- NORBERTO ROCHA, J., MASSARANI, L., MUCCI POENARU, L., DAHAN MARTINS, A. y MACÍAS-NESTOR, A. P. (2021). 'Um estudo sobre a leitura e a interação de adolescentes durante uma visita ao museu de ciências Universum, México'. *Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material* 29, págs. 1-34. <https://doi.org/10.1590/1982-02672021v29e38>.
- PACKER, J. (2006). 'Learning for fun: the unique contribution of educational leisure experiences'. *Curator: the Museum Journal* 49 (3), págs. 329-344. <https://doi.org/10.1111/j.2151-6952.2006.tb00227.x>.
- PELOWSKI, M., FORSTER, M., TINIO, P. P. L., SCHOLL, M. y LEDER, H. (2017). 'Beyond the lab: an examination of key factors influencing interaction with 'real' and museum-based art'. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts* 11 (3), págs. 245-264. <https://doi.org/10.1037/aca0000141>.
- PÉREZ ABAD, C., DÍAZ PALACIO, M. P., ECHEVARRÍA UGARTE, I., MORENTÍN PASCUAL, M. T. y CUESTA LORENZO, M. (1999). *Centros de ciencia. Espacios interactivos para el aprendizaje*. Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- PÉREZ SANTOS, E. (2000). *Estudios de visitantes en museos: metodología y aplicaciones*. Gijón, España: Trea.
- POZO MUNICIO, J. I. (2014). *Psicología del aprendizaje humano: adquisición de conocimiento y cambio personal*. Madrid, España: Morata.

- SÁNCHEZ MORA, M. C. (2007). 'La función educativa de los museos de ciencia'. En: *Museología de la ciencia: 15 años de experiencia*. Ed. por RICO MANSARD, L. F., SÁNCHEZ MORA, M. C., TAGÜENA PARGA, J. y TONDA MAZÓN, J. México: Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM, págs. 97-128.
- ed. (2018). *Los museos de ciencias: Universum, 25 años de experiencia*. México: Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM.
- SERRELL, B. (1998). *Paying attention: visitors and museums exhibitions*. Washington, DC, U.S.A.: American Association of Museums.
- SHETTEL, H. (2008). 'No visitor left behind'. *Curator: the Museum Journal* 51 (4), págs. 367-375. <https://doi.org/10.1111/j.2151-6952.2008.tb00323.x>.
- SOLTANLOU, M., SITNIKOVA, M. A., NUERK, H.-C. y DRESLER, T. (2018). 'Applications of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: the case of mathematics and language'. *Frontiers in Psychology* 9, 277. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00277>.
- SOUSA, D. A. (2017). *How the brain learns*. 5.^a ed. Thousand Oaks, CA, U.S.A.: Corwin.
- VILLA, M. (2016). 'Learning at the science museum. A study on the public's experiences with different types of visit at the Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia "Leonardo da Vinci" in Milan, Italy'. *JCOM* 15 (04), A01. <https://doi.org/10.22323/2.15040201>.
- YALOWITZ, S. S. y BRONNENKANT, K. (2009). 'Timing and tracking: unlocking visitor behavior'. *Visitor Studies* 12 (1), págs. 47-64. <https://doi.org/10.1080/10645570902769134>.

Autores

Germán Vega-Flores (Valencian International University y Universidad Internacional de La Rioja) se inició en la investigación del comportamiento en la Ciudad de México desde 1997 apenas iniciada la licenciatura en psicología. Entre 1999 y 2006, fue parte del grupo de investigación del Dr. Augusto Fernández-Guardiola en el Instituto Nacional de Psiquiatría. Tras la obtención del título de psicólogo en el área de psiconeurobiología en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), realizó estudios de máster en la Universidad de Guadalajara (México) donde estudió la neurobiología de la atención, interrumpió sus estudios para retomarlos en el máster y doctorado en Sevilla, España, en el grupo del Dr. José María Delgado-García, con quien realizó su tesis doctoral sobre el reforzamiento cerebral, el aprendizaje y la memoria, además de una estancia en Mannheim, Alemania, dedicada al estudio de la conducta adictiva. Desde el 2014 y hasta el 2019, fue investigador postdoctoral en Drexel University, en Filadelfia, Estados Unidos, donde desarrolló estudios optogenéticos y electrofisiológicos basados en la conducta y el movimiento voluntario. Desde 2018 es profesor de la Valencian International University (VIU) en donde ha desarrollado material didáctico, además de participar en el área de Criminología y Ciencias de la Seguridad, en el Máster de Neuropsicología Clínica y en el Máster en Comunicación Social de la Investigación Científica. También, es docente y director de trabajos de fin de estudios en la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR) en el Máster de Educación Especial y el Máster de Neuropsicología Clínica y Educación.

Germán Vega-Flores, actualmente cuenta con varias publicaciones de alto impacto en el campo de la neurociencia, aunado al interés por la docencia y las actividades de divulgación científica para adultos y niños. Ha colaborado con diversas

empresas o museos de ciencia como Planeta Aventuras o El trompo Mágico (México) y realizado eventos de divulgación de la ciencia en foros como La Feria Internacional del Libro de Guadalajara (México). Sus trabajos reflejan la importancia del abordaje neurocientífico básico en combinación con la biología del comportamiento, el aprendizaje y la memoria, estos conocimientos, unidos con la creciente experiencia docente y el interés por divulgar el conocimiento científico, son las directrices de su desarrollo profesional.

E-mail: german.vega.f@campusviu.es.

Alba Patricia Macías-Nestor (Universidad Nacional Autónoma de México) es psicóloga y divulgadora científica por la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene la Maestría en Pedagogía en la misma universidad con un enfoque en enseñanza de la ciencia y la evaluación pedagógica del aprendizaje informal en los museos de ciencias. Desde 2000 forma parte de la Coordinación de Formación y Estudios de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM, en donde ha desempeñado diversas funciones como instructora, formadora y coordinadora de cursos de verano de ciencia. Ha sido asesora en evaluación y diseño de pruebas en el Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior. Ha participado en capítulos de los siguientes libros: *Los mexicanos vistos por sí mismos. Los grandes temas nacionales. Ciencia y tecnología: una mirada ciudadana*; *Red Pop: 25 años de popularización de la ciencia en América Latina*; *Memorias del coloquio de cultura científica y museos*; *Hacia dónde va la ciencia en México*; así como en el reciente libro *Repensar los museos y centros de ciencias*. Es representante de México en *Musa Iberoamericana: red de museos y centros de ciencias del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED*. Actualmente participa en el diseño curricular, implementación y evaluación de proyectos de formación en divulgación de la ciencia, en la impartición de cursos de evaluación de proyectos de divulgación de la ciencia y en la investigación en ambientes de educación no formal e informal. E-mail: especializacion@dgdc.unam.mx.

Cómo citar

Vega-Flores, G. y Macías-Nestor, A. P. (2021). 'Evaluación del aprendizaje en los museos y centros de ciencias ¿es posible desde la perspectiva de la neurociencia?'. *JCOM – América Latina* 04 (02), Y01. <https://doi.org/10.22323/3.04020401>.



© El autor o autores. Esta publicación está bajo los términos de la licencia [Creative Commons Atribución — No Comercial — Sin Derivadas 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). ISSN 2611-9986. Publicado por SISSA Medialab. jcomal.sissa.it