

# *Análisis experimental del comportamiento asistido por inteligencia artificial: Hacia un cambio de paradigma multidisciplinar*

Alejandro León\*

Cómo citar este artículo:

León, A. (2022). Análisis experimental del comportamiento asistido por inteligencia artificial: Hacia un cambio de paradigma multidisciplinar. *Acta Colombiana de Psicología*, 25(2), 5-7. <https://doi.org/10.14718/ACP.2022.25.2.1>

La *ciencia del comportamiento*<sup>1</sup> (CC) tiene como principal propósito explicar y predecir el comportamiento ontogenético o individual, este entendido como un sistema de relaciones de interdependencia entre estados y patrones de actividad del organismo y de su entorno ecológico-social.

Los trabajos seminales de la CC se distinguieron por la creatividad implicada en el desarrollo de situaciones para la observación sistemática, así como por la incorporación de los avances tecnológicos de frontera de la época (para una revisión detallada, véase Watson, 1914). Aquellas situaciones de observación estaban dirigidas a diversos patrones de actividad del organismo, como lo es, por ejemplo, la manipulación u operación de objetos en cajas problema, los patrones de desplazamiento en situaciones de aprendizaje bajo estimulación apetitiva o aversiva, y los patrones de orientación, entre otros.

Como es bien conocido, después de un periodo de maduración de la CC, el *condicionamiento operante* (Skinner, 1938), también denominado *análisis experimental del comportamiento* (AEC), se estableció como el paradigma dominante, y una de las razones para ello fue la parsimonia de su sistema explicativo y predictivo, derivada en buena medida de la toma de distancia de conceptos que: (a) no fueran susceptibles de operacionalizarse, (b) no mantuvieran una

correspondencia con la conducta observada, o (c) apelaran a entidades no observables como *causa* de la conducta.

Complementariamente, este paradigma priorizó el desarrollo de un sistema metodológico que posibilitase: (a) el registro sistemático y objetivo de la conducta, (b) la presentación controlada de estímulos, (c) la identificación y análisis de las relaciones funcionales entre la conducta del organismo y los *programas de reforzamiento*, y (d) el control de aquellas variables que pudieran interferir con la observación del fenómeno de interés.

Lo descrito anteriormente se concretó en el ingenioso desarrollo de un instrumento que marcó la historia de la CC: la *cámara de condicionamiento operante* y la implementación del *registro acumulativo*. Con este revolucionario ejemplar metodológico, los registros del comportamiento se realizaron de manera automatizada a través de interruptores mecánicos y electrónicos, al tiempo que el análisis y representación de datos se centraron en la frecuencia y distribución temporal de la activación de aquellos interruptores. Esto dio lugar a la variable dependiente paradigmática del condicionamiento operante: la *tasa de respuesta*.

Si bien son insoslayables los logros científicos del paradigma del *condicionamiento operante* (CO), este, naturalmente, no ha estado libre de críticas. Las más agudas

\* Laboratorio de Psicología Comparada, CEICAH, Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7386-9784>  
aleleon@uv.mx

<sup>1</sup> Se emplea por economía “ciencia del comportamiento” para referir a la “ciencia del comportamiento individual” o “psicología científica”. No se emplea el concepto “psicología” por su bien conocida ambigüedad disciplinar en cuanto a fenómenos de interés y métodos de investigación. El bien reputado concepto de “análisis experimental de la conducta” en su uso estándar está vinculado fundamentalmente al paradigma del “condicionamiento operante”. Se considera al “análisis experimental de la conducta” como una instancia, tal vez la más destacada y encomiable de la “ciencia del comportamiento”.

son las que surgen desde el interior de la comunidad disciplinar —o críticas internalistas—, entre las cuales se pueden citar, por ejemplo, que este paradigma: (a) limita el análisis de interacciones complejas entre diferentes patrones de respuesta (véase Henton & Iversen, 1978); (b) anula la relevancia de la dimensión espacial en la organización de la conducta (véase León et al., 2020; León et al., 2021); y (c) soslaya la dimensión ecológica de la conducta (véase Timberlake, 2004).

Estas limitantes han sido señaladas como una consecuencia de las características intrínsecas al que otrora fuese el ejemplar metodológico que revolucionó la CC (Henton & Iversen, 1978), pero, seamos justos, en los años treinta del siglo pasado el AEC representó la vanguardia científica y tecnológica en la CC. La pregunta es: más de ochenta años después, ¿ello puede seguir siendo el caso? La respuesta es un contundente no.

La pregunta natural subsecuente es si las limitaciones referidas líneas arriba son susceptibles de ser superadas, sea en el marco particular del AEC o en el general de la CC; claro, considerando que superarlas implicaría integrar: (a) el registro de respuestas discretas múltiples; (b) el registro momento a momento del desplazamiento del organismo; (c) el desarrollo de aparatos adecuados dadas las características bioecológicas de los organismos; (d) el análisis momento a momento de datos multidimensionales; (e) la representación integrativa de datos multidimensionales; y (f) la explicación y predicción de datos multidimensionales.

Integrar todos los aspectos listados en un paradigma metodológico es una aspiración científica que hasta hace muy poco podría haberse considerado inalcanzable; sin embargo, los avances logrados durante la última década por la inteligencia artificial (IA) —visión por computadora, aprendizaje automático, técnicas de aprendizaje profundo— y la mecatrónica (MT) —impresión en 3D, sensores, actuadores y microcontroladores de bajo costo como Arduino™— hoy la hacen totalmente asequible, incluso para laboratorios con presupuestos modestos, como los de nuestra región, Latinoamérica. A partir de estos avances, sería posible realizar tanto el registro de respuestas discretas múltiples (a) como el diseño de aparatos adecuados dadas las características bioecológicas de los organismos (c), sobre todo si se hace uso de interfaces ad hoc desarrolladas con componentes de bajo costo, como Arduino™ (Escobar & Pérez-Herrera, 2015).

De hecho, una de las áreas con mayor desarrollo en años recientes ha sido el seguimiento de objetos (*tracking*) por *visión por computadora*. Hasta hace muy poco, la herramienta estándar para el *tracking* de organismos era un software privativo y poco accesible para muchos investigadores —> 4300 € en 2018 para *tracking* de un solo organismo—; sin embargo, hoy los sistemas de *tracking* más robustos son gratuitos, e incluso de código abierto (Datta et al., 2019; Mathis et al., 2018; Mathis & Mathis, 2020; Walter & Couzin, 2021), y no solo permiten seguir y registrar la posición de un organismo (b), sino de varios organismos, momento a momento, con base en su centro de masa, así como realizar registros de dirección, estimación de pose y registros de secuencias de actividad. Todo ello de manera automatizada y con una confiabilidad similar o mayor a la de un observador entrenado.

Si bien hay algunos avances incipientes, aún es exigua la integración de respuestas discretas y datos continuos obtenidos con sistemas *tracking* del organismo. No obstante, los avances en *aprendizaje automático* —como el *t-SNE*, el PCA y la clasificación de variables (*ranking variables*)— brindan herramientas robustas y útiles para implementar un enfoque multidimensional que integre estos dos tipos de datos (para una descripción más detallada, véase León et al., 2021). Dichos análisis multidimensionales, además de integrar diferentes variables conductuales como un sistema unitario, han mostrado que, en dicho sistema, variables incrustadas en la dimensión espacial —p. ej., entropía de locación— pueden ser incluso más sensibles a los *programas de estímulo* que las respuestas discretas típicamente consideradas como variables dependientes.

Ahora bien, hasta el momento, el AEC —salvo contadas excepciones— no se ha beneficiado de las herramientas arriba descritas, y ello no solo en nuestra región, sino también en la comunidad de *analistas experimentales del comportamiento* de habla inglesa —véase, p. ej., la sección especial de *Perspectives on Behavior Science* (Jarmolowicz et al., 2021), en la que se insta a los colegas analistas a “pensar fuera de la caja de Skinner (sic)”—.

La presente editorial es una propuesta e invitación abierta a participar del concierto multidisciplinario del análisis experimental del comportamiento (AEC) con la inteligencia artificial (IA) y la mecatrónica (MT), y tiene como propósito motivar a los investigadores latinoamericanos a realizar contribuciones en la revista *Acta Colombiana de Psicología*,

para que, en conjunto y a través de la discusión crítica y basada en desarrollos metodológicos y datos, delineemos el futuro de nuestros paradigmas, y además contribuyamos, entre otras cosas, a: (a) ampliar el ámbito y el alcance del AEC; (b) profundizar nuestro entendimiento de los fenómenos comportamentales; (c) cristalizar un enfoque metodológico más integrativo, comprensivo y abarcador; (d) abrir nuevas posibilidades de investigación; (e) empujar los límites metodológicos y conceptuales de la AEC; y (f) realizar investigación genuinamente de frontera en AEC.

## Referencias

- Datta, S. R., Anderson, D. J., Branson, K., Perona, P., & Leifer, A. (2019). Computational Neuroethology: A Call to Action. *Neuron*, *104*(1), 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.09.038>
- Escobar, R., & Pérez-Herrera, C. A. (2015). Low-cost USB interface for operant research using Arduino and Visual Basic. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *103*(2), 427-435. <https://doi.org/10.1002/jeab.135>
- Henton, W. W., & Iversen, I. H. (1978). *Classical and Operant Conditioning: A Response Pattern Analysis*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6310-4>
- Jarmolowicz, D. P., Greer, B. D., Killeen, P. R., & Huskinson, S. L. (2021). Applied Quantitative Analysis of Behavior: What It Is, and Why We Care—Introduction to the Special Section. *Perspectives on Behavior Science*, *44*(4), 503-516. <https://doi.org/10.1007/s40614-021-00323-w>
- León, A., Tamayo, J. T., Eslava, V. H., Hernández, P. T., Garrido, M. L. A., Linares, C. A. H., & Navarro, E. E. (2020). MOTUS: software para el análisis conductual de patrones de desplazamiento. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, *46*(1), 222-242. <http://dx.doi.org/10.5514/rmac.v46.i1.76960>
- León, A., Hernandez, V., Lopez, J., Guzman, I., Quintero, V., Toledo, P., Avendaño-Garrido, M. L., Hernandez-Linares, C. A., & Escamilla, E. (2021). Beyond Single Discrete Responses: An Integrative and Multidimensional Analysis of Behavioral Dynamics Assisted by Machine Learning. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *15*, Article 681771. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.681771>
- Mathis, A., Mamidanna, P., Cury, K. M., Abe, T., Murthy, V. N., Mathis, M. W., & Bethge, M. (2018). DeepLabCut: Markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nature Neuroscience*, *21*(9), 1281-1289. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0209-y>
- Mathis, M. W., & Mathis, A. (2020). Deep learning tools for the measurement of animal behavior in neuroscience. *Current Opinion in Neurobiology*, *60*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2019.10.008>
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: an experimental analysis*. Appleton-Century-Crofts.
- Timberlake, W. (2004). Is the Operant Contingency Enough for a Science of Purposive Behavior? *Behavior and Philosophy*, *32*(1), 197-229. <http://www.jstor.org/stable/27759478>
- Walter, T., & Couzin, I. D. (2021). TRex, a fast multi-animal tracking system with markerless identification, and 2D estimation of posture and visual fields. *ELife*, *10*, Article e64000. <https://doi.org/10.7554/eLife.64000>
- Watson, J. B. (1914). *Behavior: An introduction to comparative psychology*. Henry Holt and Co. <https://doi.org/10.1037/10868-000>