

# Tecnología y salud para el acceso al **BIENESTAR**

*Una mirada crítica*

VERÓNICA MIRIAM GUZMÁN SANDOVAL  
*Coordinadora*

Editorial Página Seis

Primera edición, 2025

© Verónica Miriam Guzmán Sandoval, coordinadora.

© Abelardo Montesinos López, Alejandro Aguilar Moreno, Alexis Romero Landin, Ana Laura Orozco Pérez, Antonio Kobayashi Gutiérrez, Benjamín Domínguez Trejo, César Augusto García Avitia, Christian Peregrino-Ramírez, Claudia Marcela Cantú Sánchez, David Alberto Rodríguez Medina, Gerardo Leija Alva, Gerardo Ruvalcaba Palacios, Guadalupe Lizzbett Luna-Rodríguez, Guillermo Blanco Govea, Irene Margarita Espinosa Parra, Iván Delgado Enciso, Laura Sanely Gaytán Lugo, Li Erandi Tepepa Flores, Mariana Ortiz Omaña, Minerva Ortiz Valladares, Miriam de Jesus Lupercio Ramírez, Moisés Chavira Flores, Montserrat Reyes Montes, Nuvia Faviola Núñez Chaidez, Osval Antonio Montesino López, Raymundo Buenrostro Mariscal, Rosa Martha Meda Lara, Rosalba Thomas Muñoz, Verónica López Virgen, Verónica Miriam Guzmán Sandoval, Viridiana Peláez Hernández, Yolanda Olvera López.

ISBN 978-607-8920-70-9

Editorial Página Seis, S.A. de C.V.  
Lorenzo Barcelata 5105, Paraíso Los Pinos,  
C.P. 45239, Zapopan, Jalisco, México  
Tels. 33 3657 3786 y 33 3657 5045  
[www.pagina6.com.mx](http://www.pagina6.com.mx) • [p6@pagina6.com.mx](mailto:p6@pagina6.com.mx)

Editorial Página Seis, S.A. de C.V. está incluida en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt) del Conahcyt con el número 1800885.

Impreso y hecho en México / *Printed and made in Mexico*

# Índice

<b>Prólogo</b> <i>Dr. Guillermo Blanco Govea</i>	7
<b>Introducción</b> <i>Verónica Miriam Guzmán Sandoval</i>	9
 <b>APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA AL ÁREA CLÍNICA Y DE LA SALUD</b>	
<b>Dispositivos tecnológicos de bajo costo: emociones y dolor crónico (imágenes )</b> <i>Benjamín Domínguez Trejo Yolanda Olvera López Li Erandi Tepepa Flores</i>	19
<b>El dolor crónico desde una perspectiva biopsicosocial multidimensional</b> <i>David Alberto Rodríguez Medina Mariana Ortiz Omaña Nuvia Faviola Núñez Chaidez Benjamín Domínguez Trejo</i>	37

<b>Transformación digital en salud Mentalízate al 100</b>	<b>55</b>
<i>Verónica Miriam Guzmán Sandoval</i>	
<i>Osval Antonio Montesino López</i>	
<i>Iván Delgado Enciso</i>	
<i>Guillermo Blanco Govea</i>	
<i>Rosa Martha Meda Lara</i>	
<b>La utilidad de la tecnología a bajo costo para el tratamiento psicofisiológico de Lupus. Un caso de estudio</b>	<b>77</b>
<i>Ana Laura Orozco Pérez</i>	
<i>Gerardo Leija Alva</i>	
<i>David Alberto Rodríguez Medina</i>	
<b>Tecnología coadyuvante en la salud cardiopulmonar a través de Biofeedback y Variabilidad de la frecuencia cardíaca</b>	<b>99</b>
<i>Guadalupe Lizzbett Luna Rodríguez</i>	
<i>Viridiana Peláez Hernández</i>	
<b>El uso de aplicaciones móviles para el manejo del estrés académico en universitarios</b>	<b>119</b>
<i>Gerardo Ruvalcaba Palacios</i>	
<i>Claudia Marcela Cantú Sánchez</i>	
<b>Uso de chatbots y asistentes virtuales inteligentes en la educación para el autocuidado de la salud</b>	<b>135</b>
<i>Laura Sanely Gaytán Lugo</i>	

## APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA A LAS NEUROCIENCIAS Y NEUROPSICOLOGÍA

<b>Inteligencia artificial en neurociencias: programas y aplicaciones para el análisis de la conducta</b>	<b>163</b>
<i>Alejandro Aguilar Moreno</i>	
<i>Alexis Romero Landin</i>	
<i>Verónica López Virgen</i>	

**Realidad virtual en la neuropsicología: Evaluación y futuro de la evaluación y la neurorrehabilitación**

185

*Minerva Ortiz Valladares*

*Christian Peregrino Ramírez*

*Montserrat Reyes Montes*

**TECNOLOGÍA Y APLICACIONES DE LOS MODELOS DE PROBABILIDAD A LA SALUD**

**Más allá del azar: la importancia de la probabilidad en nuestra vida y la salud**

223

*Osval Antonio Montesinos López*

*Moisés Chavira Flores*

*Abelardo Montesinos López*

*Raymundo Buenrostro Mariscal*

*Verónica Miriam Guzmán Sandoval*

**REFLEXIONES ÉTICAS DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA A LA SALUD**

**Aplicación de la inteligencia artificial generativa en la atención a la salud mental: reflexiones desde la ética del cuidado**

259

*César Augusto García Avitia*

**Salud digital como parte de la formación de estudiantes de psicología: regulaciones éticas**

295

*Irene Margarita Espinosa Parra*

*Miriam de Jesus Lupercio Ramírez*

*Antonio Kobayashi Gutiérrez*

**La tecnología y su impacto en el ambiente y la salud: costos y estrategias para una tecnología sostenible**

315

*Rosalba Thomas Muñoz*

# Prólogo

*Dr. Guillermo Blanco Govea<sup>1</sup>*

El cambio es la única constante.  
HERÁCLITO DE ÉFESO

A través de la historia de la humanidad la ciencia y la tecnología han logrado cambios en la estructura y la dinámica social en búsqueda del bienestar individual y colectivo, es decir, han transformado las actividades comunes de la gente, sus hábitos y costumbres, los patrones culturales, las condiciones laborales y las relaciones interpersonales, así como, las condiciones de salud.

En la actualidad, la esperanza de vida ha mejorado respecto a otra época, y hay mayor conocimiento del proceso salud-enfermedad. Sin embargo, con la globalización las personas buscan más el bien personal sobre el bien común y los estilos de vida no son saludables en algunos grupos sociales; estos dos aspectos conforman el precedente de la individualización y la desigualdad social que se vive hoy en día. De allí que la brecha al acceso a la salud y el aumento de las enfermedades no transmisibles (ENT) son notorios en México.

Gracias a los avances en la ciencia y la tecnología la atención de la salud de los seres humanos ha mejorado; pasó de usar conocimientos empíricos a tener un método que usa procedimientos, herramientas y, de manera reciente, dispositivos tecnológicos para la exploración y el tratamiento clínico. Todos estos avances en la salud se debieron a la evolución en los paradigmas de la ciencia y la práctica clínica, que incorporaron a

---

<sup>1</sup> Comisionado de Salud Mental y Adicciones del Estado de Colima.

la tecnología como coadyuvante, lo cual ha transformado radicalmente el proceso de atención y ha tenido repercusiones trascendentales en el funcionamiento de las instituciones encargadas del cuidado de la salud.

Los cambios se pueden observar en el uso de la telemedicina; la telesalud; la ciencia de datos, especialmente, en el uso de la *inteligencia artificial (IA)*, *machine learning*, la incorporación de microchips para la neuroestimulación, plataformas tecnológicas, *chat bot*, entre otros modelos tecnológicos. No podemos negar el impacto positivo de la tecnología en la salud, por esto es necesario la divulgación de las intervenciones basadas en evidencia y la regulación de los esfuerzos tecnológicos en México, ya que continúa siendo un área de oportunidad.

Este libro nos proporciona un espacio científico para abordar temas relacionados con las aplicaciones tecnológicas en la salud para la detección, monitoreo y seguimiento de las condiciones de salud de los seres humanos y los avances que ha permitido la tecnología en cuanto a los estudios experimentales y cálculos matemáticos que permiten modelos avanzados en la atención de la salud.

Sabemos plenamente que la tecnología también tiene riesgos y limitaciones, lo cual plantea conflictos bioéticos, como podría ser en algunos casos la deshumanización de la atención en salud y la afectación de la relación *profesional-cliente*, es por esto que el libro tiene una mirada crítica sobre la regulación de la tecnología a partir de un cambio de políticas públicas que consideren ajustar las estructuras, los modelos de atención y los esquemas de funcionamiento en respuesta a los retos clínicos que tenemos en el día a día y que nos exigen a todos los profesionales de la salud conocer y capacitarnos en abordajes innovadores.

# Introducción

*Verónica Miriam Guzmán Sandoval<sup>1</sup>*

No es la más fuerte de las especies la que sobrevive, ni la más inteligente, sino la que mejor responde al cambio.

CHARLES DARWIN

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo tiene profundas desigualdades sociales y la Región de América Latina y del Caribe se caracteriza por ambientes altamente cambiantes, violentos y con profundas desigualdades sociales; lo cual plantea desafíos en el campo de la salud y en la reducción de la brecha de acceso a los servicios de atención (Banco Mundial, 2024). La matriz de la desigualdad social en esta región del mundo está fuertemente condicionada por su matriz productiva, es decir, el primer determinante de la desigualdad es la clase social, seguido de las desigualdades de género, las étnico-raciales, las relacionadas con las diferentes etapas del ciclo de vida de las personas y las territoriales (CEPAL, 2016). De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), dichos factores estructuran la matriz de la desigualdad social, todos ellos se entrecruzan, potencian y encadenan a lo largo del ciclo de vida, lo que da lugar a una multiplicidad de factores de discriminación que interactúan

<sup>1</sup> Profesora e Investigadora de la Facultad de Psicología de la Universidad de Colima, México, 28040.  
<https://orcid.org/0000-0003-1214-6843>

de forma simultánea, acumulándose a lo largo del tiempo y volviendo vulnerable a una persona.

La desigualdad social condiciona el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 3: Salud y bienestar, al impedir el índice de cobertura sanitaria universal (CSU). La pandemia provocada por la enfermedad infecciosa del coronavirus (COVID-19) aumentó dichas desigualdades en el mundo. El 4.9 % de la población mundial (alrededor de 381 millones de personas) fueron empujadas a la pobreza extrema o cayeron aún más debido a los gastos directos para la salud en 2019. Con respecto a esto, en el 2015, solo la CSU aumentó tres puntos a nivel mundial. En cuanto a los gastos en salud, la población que realiza pagos del 10% en servicios, aumentó del 12.6 % en 2015, al 13.5 % en 2019, lo cual afecta a aproximadamente a 1000 millones de personas en el mundo (Naciones Unidas, 2023).

De acuerdo con la OMS (2020) la CSU es un reto a nivel mundial, pero sobre todo para los países en vías de desarrollo, el ritmo del progreso en cobertura se ralentizó desde el 2010 y la cobertura en hogares pobres es menor a los hogares ricos, se puede decir que entre una tercera parte y la mitad de la población mundial (entre el 33% y el 49%) estaba cubierta por los servicios sanitarios esenciales, pero no especializados y, por ende, la capacidad de los servicios sanitarios para la atención de las llamadas enfermedades no transmisibles (ENT), tuvo un progreso mínimo.

Las ENT afectan a millones de personas en el mundo, se sabe que son enfermedades complejas al ser producto de la combinación de factores genéticos, fisiológicos, ambientales y del comportamiento (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2024). Dichas enfermedades son de progresión lenta y de larga duración, como lo es: el cáncer, la demencia, la diabetes, la hipertensión, entre otras; además, impactan en la economía del sector salud y de las familias. En el 2021, las ENT fueron la causa de muerte de al menos 43 millones de personas en el mundo, antes de los 70 años; el 85% de estas muertes prematuras ocurrieron en países en vías de desarrollo. Por lo que respecta a México, el 80% de las muertes son producidas por estas enfermedades (Gobierno de México, 2024).

De acuerdo con el informe titulado *Global spending on health: emerging from the pandemic* (OMS, 2024), después de la pandemia el acceso a los servicios de salud ha mejorado en todo el mundo. Pero a pesar que

el acceso a los servicios de salud es mayor, el uso de estos servicios está conduciendo a las personas a dificultades financieras, porque el gasto directo de los pacientes sigue siendo la principal fuente de financiación de la salud en 30 países de ingreso mediano y/o bajo, lo que supone un factor desencadenante del ciclo de pobreza y vulnerabilidad ante las ENT.

Como se puede apreciar los retos para la CSU son diversos y las barreras de acceso a la atención integral también. Las barreras se centran, en primera instancia, en los determinantes estructurales de la salud (las políticas públicas y la inversión en salud) y en la desigualdad social, la cual se manifiesta de diferentes formas, como la brecha de acceso a los servicios de salud, el estilo de vida poco saludable y en la disminución de las conductas de prevención. De allí que la atención en salud obligadamente tendría que adoptar una visión innovadora, es decir, incorporar modelos integrales, eficientes y nuevos centrados en la tecnología; donde la tecnología sea coadyuvante en la atención en salud.

La ciencia y la tecnología son capaces de transformar el desarrollo de un país y modificar su curso (Fernandez y Oviedo, 2010). Además de establecer mayor apertura, accesibilidad, disminución de los costos en salud y sistematización de los datos, todo esto ayuda a tener prácticas de prevención más eficientes, equitativas e integrales, alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y a la agenda 2030 de la OMS (OMS, 2024), la cual invita a todos los países a trabajar juntos para hacer efectivos los derechos, la salud integral y el bienestar de todas las personas. Particularmente en el ODS 3, se invita a los gobiernos a tener solidaridad y compromiso para una CSU y una atención de calidad para las personas (Naciones Unidas, 2023).

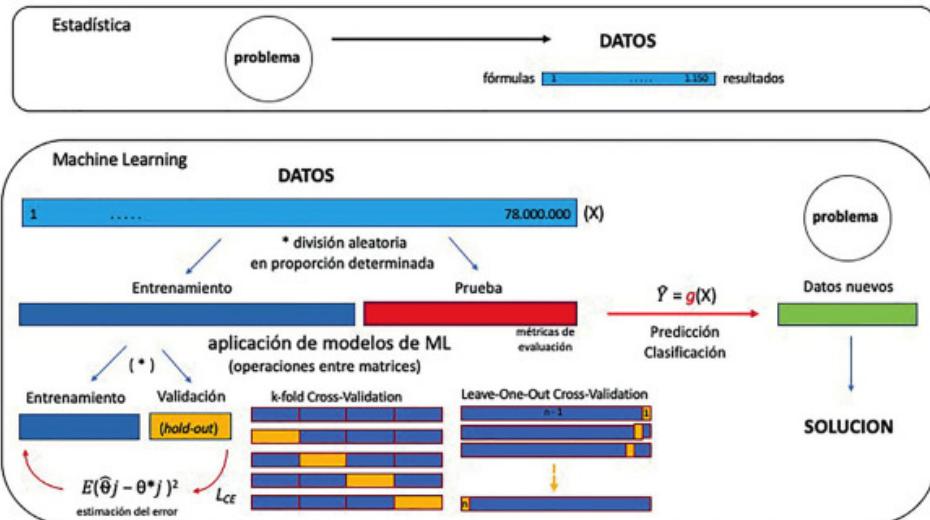
La tecnología ya está inmersa en la salud con el uso de la telemedicina y telesalud, por ejemplo, en México de acuerdo con la Universidad Nacional Autónoma de México (s.f.) se tienen antecedentes del empleo de las telecomunicaciones como una forma de apoyo a las instituciones de salud. Uno de los primeros ejemplos es el programa Centro Mexicano de Educación en Salud por Televisión (CEMESATEL) puesto en marcha por el Hospital Infantil Federico Gómez en 1985, el cual implementó una plataforma de tele-educación vía satélite haciendo uso de la red EDUSAT (canal 26), este servicio aún sigue en funcionamiento y transmite principalmente conferencias de noticias y actualidad médicas. El Programa

Nacional de Telemedicina del ISSSTE, fue el primer servicio de telemedicina institucional que se implementó en el país, este enlazaba los Hospitales Generales del ISSSTE con el Centro Médico Nacional (CMN) 20 de Noviembre, el cual sigue funcionando hasta nuestros días, haciendo uso de enlaces satelitales.

La tecnología también se enfoca al área de salud al usar inteligencia artificial (IA) o *machine learning*, esta última emplea ecuaciones matemáticas que permiten el desarrollo de nuevos análisis predictivos y reconocimiento de patrones no conocidos para identificar los factores de riesgo asociados a la salud con más veracidad y velocidad para la toma de decisiones clínicas. Es decir, con el aprendizaje automático, los registros clínicos completos son entradas para el aprendizaje de algoritmos. Los modelos resultantes pueden ser subsecuentemente utilizados para ayudar a los profesionales de la salud a precisar diagnósticos a futuros pacientes; de esta manera, el estudio y el diagnóstico de un paciente puede ser más rápido y confiable (Mora, 2022).

Otro ejemplo de los cambios en salud es la miniaturización de los dispositivos, sus chips y sus baterías, lo que es especialmente importante para ser implantados en el cuerpo, así como, el desarrollo de softwares de control y comunicación inalámbrica. Esto ha favorecido a especialistas de diversas áreas para que apliquen las técnicas de neuroestimulación; esta intervención consiste en administrar un estímulo de forma superficial o invasiva sobre músculos, nervios, o sus vías, con el fin de activar o inhibir determinadas funciones fisiológicas. Los neuroestimuladores han mostrado utilidad en el tratamiento de síntomas de la enfermedad de Parkinson, temblor, distonía o epilepsia. También se usan para la estimulación del nervio vago (par craneal X con gran ramificación en el sistema nervioso autónomo) con el objetivo de producir efectos antinociceptivos, antidepresivos, antiepilepticos y antimigrañosos, para mejorar la plasticidad neuronal, la memoria, la cognición, la ansiedad y el estrés, e incluso modular el síndrome metabólico, la inflamación y el sistema cardiovascular (de Gurtubay, 2020).

Es por esta razón, que el libro tiene como propósito divulgar acerca de las propuestas y los esfuerzos que se realizan en nuestro país, así como, realizar un análisis crítico de la regulación ética y de las políticas que se requieren para la aplicación de la tecnología en México. El libro está divi-

**Figura 1. aprendizaje de máquinas para la transferencia de aprendizaje**

Nota. Tomado de Mora (2022). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864022001213>

dido en cuatro apartados: aplicaciones de la tecnología al área clínica y de la salud, aplicación de la tecnología a las neurociencias y neuropsicología, tecnología y aplicaciones de los modelos de probabilidad a la salud, así como, un apartado de ética.

El libro es parte del trabajo multidisciplinario que se realiza en las diversas universidades e instituciones del país para mejorar la atención en salud. Además, es parte de las sinergias con la secretaría de salud del estado de Colima, específicamente con la *Comisión Estatal de Salud Mental y Adicciones* con quien se trabaja de manera conjunta desde hace 5 años en la disminución de la brecha de acceso a los servicios y en el derecho a una atención integral en salud.

Agradecemos el apoyo que nos proporcionó la *Convocatoria Fortalecimiento de la Investigación 2024 de la Universidad de Colima con registro: No. Of. 1I.1.3/10100/299/2024*. Agradecemos también a todos los autores y líderes de los cuerpos académicos que participaron en la escritura y revisión del libro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Mundial (2024). América Latina y el Caribe: panorama general. <https://www.bancomundial.org/es/region/lac/overview>
- CEPAL (2016). La matriz de la desigualdad social en América Latina. [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/matriz\\_de\\_la\\_desigualdad.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/matriz_de_la_desigualdad.pdf)
- de Gurtubay, I.G. (2020). Tecnologías emergentes. Neuroestimulación y neuromodulación. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 43(3), 293-296. <https://dx.doi.org/10.23938/assn.0923>
- Fernandez, A. y Oviedo, E. (2010). Salud electrónica en América Latina y el Caribe: Avances y desafíos. CEPAL y Unión Europea. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/26fa70ba-ca24-49cc-b178-cb851af550d1/content>
- Gobierno de México (2024). Blog del Instituto Nacional de Personas Adultas Mayores <https://www.gob.mx/inapam/articulos/en-mexico-80-de-las-muertes-de-todas-las-edades-corresponde-a-enfermedades-no-transmisibles?idiom=es>
- Mora, J. (2022). Modelos predictivos en salud basados en aprendizaje de maquina (machine learning)Predictive models in health based on machine learning. *Revista Médica Las Condes*; 33(6), 583-590. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864022001213>
- OMS (2020). Estadísticas Sanitarias Mundiales. Monitoreando la salud para los ODS. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/338072/9789240011953-spa.pdf>
- OMS (2024). Enfermedades No Transmisibles. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- OMS (2024). Acceso/Comunicados de prensa/Un nuevo informe de la OMS revela que los gobiernos están restando prioridad al gasto en salud. <https://www.who.int/es/news/item/12-12-2024-new-who-report-reveals-governments-deprioritizing-health-spending>
- Naciones Unidas (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial. [https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023\\_Spanish.pdf?\\_gl=1\\*194o48r\\*\\_ga\\*MTcyNTE2MDg1OC4xNzI1NDE2Mjg3\\*\\_ga\\_TK9BQL5X7Z\\*MTc0MDk2NjQ1MS4zLjEuMTc0MDk2NjQ4Mi4wLjAuMA](https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf?_gl=1*194o48r*_ga*MTcyNTE2MDg1OC4xNzI1NDE2Mjg3*_ga_TK9BQL5X7Z*MTc0MDk2NjQ1MS4zLjEuMTc0MDk2NjQ4Mi4wLjAuMA)

Universidad Nacional Autónoma de México (s.f.). Estado de desarrollo de las tecnologías de la información aplicadas a la salud. La telemedicina en México. [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/  
bitstream/132.248.52.100/183/6/A6.pdf](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/183/6/A6.pdf)

# APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA AL ÁREA CLÍNICA Y DE LA SALUD

# Dispositivos tecnológicos de bajo costo: emociones y dolor crónico (imágenes )

*Benjamín Domínguez Trejo<sup>1</sup>*  
*Yolanda Olvera López<sup>2</sup>*  
*Li Erandi Tepepa Flores<sup>3</sup>*

## INTRODUCCIÓN

El dolor es una experiencia sensorial universal que forma parte del ciclo vital humano. Muchas veces, se presenta como una molestia menor, como una sensación de hormigueo en las piernas por la inmovilidad prolongada o la incomodidad momentánea al golpear accidentalmente un codo contra una superficie dura. Sin embargo, hay casos en los que el dolor se vuelve intolerable y demanda una intervención inmediata. Si no se controla, puede persistir más allá del proceso de curación y transformarse en un dolor crónico (DC) que reduce nuestras actividades y, a veces, hace que la vida sea insopportable. El dolor es una experiencia multidimensional que incluye componentes: sensoriales, afectivos y cognitivos.

La evaluación médica clínica del dolor se ha centrado en gran medida en las características sensoriales que forman parte de la nocicepción (Apkarian *et al.*, 2009). Las cualidades afectivas (en particular las aversivas) del dolor son clínicamente detectables y significativas, pero se han concentrado en un enfoque de investigación mecanicista en estos modelos

<sup>1</sup> Profesor e Investigador de la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México, México, 04510. <https://orcid.org/0000-0001-9126-1457>

<sup>2</sup> Profesora e Investigadora de la Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional, 07738.

<sup>3</sup> Coordinadora de proyectos de investigación del Grupo de Investigación Clínica “Mente-Cuerpo” en la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México, México, 04510.

preclínicos. En las últimas décadas (Neubert *et al.*, 2005) se han adoptado modelos animales de conductas de tipo operantes como: la preferencia condicionada de lugar, la evitación, el escape de estímulos nocivos y la autoadministración de fármacos analgésicos en roedores con el objetivo de evaluar sistemáticamente los componentes afectivos del dolor. Una aportación de dichas conductas operantes es que estos enfoques pueden permitir la detección y la investigación mecanicista del dolor neuropático espontáneo o inflamatorio/nociceptivo continuo (es decir, no evocado) que de otro modo sería inaccesible en organismos no verbales. Estas metodologías operantes permitieron la identificación de los mecanismos que contribuyen de manera diferencial a la hipersensibilidad refleja o al afecto del dolor contribuyendo así a la optimización de nuevos ensayos clínicos para la terapia del dolor. Además, las conductas operantes han permitido la investigación de los mecanismos y circuitos neuronales poco comprendidos que subyacen a los aspectos motivacionales del dolor y la recompensa que se produce con el alivio del dolor (Neubert *et al.*, 2005).

No es una sorpresa que la mayoría de las personas que buscan atención médica lo hagan debido a preocupaciones relacionadas con el dolor (Yong *et al.*, 2022). Sin embargo, la experiencia del dolor pocas veces se presenta con las mismas características incluso en persona parecidas. Adicionalmente, las disparidades geográficas y de género son cada vez más evidentes, ya que las mujeres a menudo soportan una carga de dolor más pesada que los hombres (Eisenlohr-Moul, 2024; Williams-Farrelly *et al.*, 2024). El perfil clínico del dolor evoluciona con la edad y afecta desproporcionadamente a los ancianos, que son más propensos al dolor crónico que sus contrapartes más jóvenes. En este contexto para el tratamiento terapéutico del dolor que es una tarea compleja nos planteamos preguntas como: ¿Podemos identificar la causa subyacente y tratar el órgano afectado? ¿El dolor es resultado de una sensibilización del sistema nervioso central con una fuente no identificable? ¿Es una afección aguda o crónica? Para responder a estas necesidades de información es indispensable seleccionar el enfoque de tratamiento más eficaz (farmacológico o No- farmacológico) lo que requiere un conocimiento profundo del tipo de dolor específico y de la persona que lo padece, todo lo anterior con la mayor precisión posible, en el menor tiempo, con un procedimiento no invasivo y al menor costo posible.

Las enfermedades no transmisibles (ENT), que afectan desproporcionadamente a los países del llamado “Sur Global”: el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y los trastornos de salud mental, siguen siendo grandes desafíos (Ezzati, y Riboli, 2012). Los factores clave de riesgo modificables para las ENT están estrechamente vinculados a nuestros estilos de vida y abarcan opciones dietéticas, el tabaquismo, la actividad física y el sueño (Ezzati y Riboli, 2012). La vanguardia de la investigación traslacional ha adoptado el diseño de herramientas tecnológicas que jerarquicen los cambios en el estilo de vida con un enfoque proactivo que involucra habilidades de autorregulación para modificar el estilo de vida, corregir los hábitos poco saludables y cultivar la autoeficacia y la motivación.

Las aplicaciones móviles equipadas con información educativa, retroalimentación, comunicación interactiva y asesoramiento son herramientas prometedoras para gestionar los factores de riesgo modificables y optimizar las tareas de la evaluación clínica. Se espera que estas aplicaciones sean un modelo que permita un seguimiento temporal estrecho, una mano de obra y un coste mínimos, y podrían ser especialmente “amigables” (Cabinet Office, 2022). La evidencia respalda el uso de dispositivos portátiles que han contribuido a reducir problemas de baja adherencia terapéutica en enfermedades crónicas en el “Sur Global” (Correia, *et al.*, 2021).

### TIPOS DE DOLOR

Para los médicos especialistas en particular, el compromiso diario con el sufrimiento humano y sus intrincadas facetas, la incapacidad de comprender y aliviar completamente el dolor a menudo conduce a una profunda y costosa tensión emocional (Síndrome de “Burn-Out”; De Hert, 2020). En la clínica, el dolor ha ganado una atención significativa en las últimas décadas. La expansión del conocimiento ha mejorado la comprensión del fenómeno del dolor, revelando la intrincada interacción de sus mecanismos neurofisiológicos y psicológicos. En muchos escenarios las actitudes y las metodologías para el manejo del dolor están atravesando una transformación (Kahn, 2025). Se reconoce que el dolor no es únicamente un subproducto de una condición médica subyacente. Hay casos en los

que los pacientes sufren un dolor intenso durante meses o incluso años, sin que se pueda determinar la causa o la base fisiológica. Estos casos a menudo se descartaban, pero hoy se categorizan como “dolor oculto” o “dolor idiopático”, reconociendo que el dolor puede existir incluso cuando su origen sigue siendo difícil de determinar. Lamentablemente, no todos los profesionales de la salud comparten esta perspectiva, y la etiqueta de “dolor de origen psicológico” o “somatización” con demasiada frecuencia implica que el dolor “no es real”, relegando a los pacientes a un pronóstico de indefensión.

Se ha reconocido que ciertas condiciones de dolor también pueden ocurrir debido a alteraciones en el procesamiento del dolor en ausencia de evidencia clara de daño tisular o nervioso real o potencial, denominado dolor nociplástico. (Kosek *et al.*, 2016). Un ejemplo es la fibromialgia. El dolor nociplástico también puede ocurrir en el contexto del dolor nociceptivo y/o neuropático, como se ve en muchos síndromes de dolor generalizado. El dolor crónico relacionado con el cáncer se debe al dolor causado por el cáncer en sí o por el tratamiento del cáncer; puede incluir componentes neuropáticos y nociceptivos. El dolor posquirúrgico crónico o el dolor postraumático a menudo incluyen componentes neuropáticos. El dolor neuropático crónico se puede subdividir en dolor neuropático periférico o central. El dolor secundario crónico u orofacial se debe a una enfermedad subyacente, como un traumatismo o lesión, una enfermedad dental o trastornos temporomandibulares. El dolor visceral secundario crónico surge de los órganos internos, incluidos el abdomen y la pelvis. El dolor musculoesquelético secundario crónico surge de los huesos, las articulaciones, los músculos o los tejidos blandos, y a menudo es de naturaleza nociceptiva.

## LENGUAJE Y DOLOR

El lenguaje, verbal o mediante signos manuales (Hagoort, 2017), es una capacidad humana esencial que sustenta el desarrollo de habilidades cognitivas. Una variedad de capacidades básicas, incluidas la representación simbólica (materia prima del psicoanálisis) y las habilidades combinatorias, permiten la generación y comprensión de estructuras similares a la sintaxis (Jarvis, 2019). Socialmente, el lenguaje ha permitido a los huma-

nos la capacidad de compartir información, discutir temas complejos, planificar un comportamiento dirigido a objetivos, reflexionar sobre el pasado, expresar diferentes niveles de conciencia (Hagoort, 2017). Aunque el habla es el modo primario de producción del lenguaje para la mayoría de los humanos, su evolución sigue siendo enigmática. Aún se desconoce cuándo los humanos comenzaron a hablar entre sí, ni qué sucedió específicamente para que pudieran hacerlo (Jarvis, 2019). Esto es particularmente intrigante considerando la trayectoria y desenlace reciente de una opinión ampliamente compartida, que descarta la vocalización de los primates no humanos (en adelante primates) como un posible precursor evolutivo del habla humana.

El habla implica la capacidad de controlar cognitivamente el aparato vocal, incluidas las cuerdas vocales, los articuladores y el sistema respiratorio, para producir, detectar y responder a señales aprendidas socialmente. Se consideró que la vocalización de los primates estaba pre-determinada genéticamente y carecía de control motor y de flexibilidad de retroalimentación auditiva para ser relevante para la evolución del lenguaje (Jürgens, 2019). Las limitaciones anatómicas en la morfología laríngea y supra laríngea; la falta de coherencia adecuada de las oscilaciones fonativas y asociadas a la mandíbula, cruciales para la producción de sílabas del habla (MacNeilage, 1998); y las limitaciones neurofisiológicas, (Jürgens, 2019), impedían que los primates exhibieran sonidos similares al habla. Estudios histológicos y anatómicos en monos (Hage y Nieder, 2016) revelaron similitudes en la citoarquitectura y las conexiones corticales corticales de la región cerebral homóloga al área de Broca humana. En humanos, el área de Broca desempeña un papel vital en la producción del habla y el lenguaje. Sin embargo, no se había explorado el papel potencial de estas regiones cerebrales homólogas en la producción vocal en los primates. Esta visión dicotómica del lenguaje humano y las vocalizaciones de los primates obstaculizó enormemente la investigación sobre los orígenes del habla humana. Como resultado, los posibles precursores del habla en los parientes más cercanos de los humanos habían carecido de un enfoque comparativo y evolutivo.

En la investigación psicológica clínica se han utilizado diversas modalidades del auto reporte verbal (Test Psicológicos, encuestas, cuestionarios, etc.) del dolor de tipo crónico (DC) como procedimientos de evaluación y

diagnóstico de los pacientes afectados con DC. Sin embargo, su potencial estatus como marcador o biomarcador del DC, continúa planteando la necesidad de mayor evidencia de respaldo (Stewart *et al.*, 2000). La evidencia respalda que, en los chimpancés, con la extensión prefrontal más parecida a la humana, particularmente en el hemisferio izquierdo, tienen mayores capacidades de control motor orofacial y vocal. Este descubrimiento crítico, cuando se combina con evidencia paleontológica reciente, sugiere que la extensión prefrontal del opérculo frontal es una característica de la estructura cortical humana de evolución reciente (quizás limitada al género *Homo*) que surgió en respuesta a la creciente selección de funciones cognitivas y motoras evidentes en las habilidades del habla modernas.

Se han estudiado y reportado marcadores conductuales del dolor en muchos taxones diferentes, desde vertebrados hasta invertebrados (Nava *et al.*, 2024). En una prueba de preferencia de lugar condicionada realizada en roedores, eligen entre dos cámaras. La cámara inicialmente favorecida se aparea con un estímulo nocivo, mientras que la cámara inicialmente desfavorecida se asocia con un analgésico o anestésico local. Si un participante humano cambia su elección de la cámara preferida en este contexto, la mejor explicación sería que el estímulo nocivo se experimentó como negativo, “se sintió mal”, y que el participante estaba tratando de eliminar esta experiencia desagradable. Esta se ha adoptado como la mejor explicación de los datos en roedores (Navratilova *et al.*, 2013). Durante la última década, se han desarrollado marcos para conceptualizar las muchas formas que pueden adoptar las experiencias subjetivas asociadas al dolor, y han utilizado estos marcos para investigar dimensiones específicas de la conciencia y su relación con la experiencia humana (Birch *et al.*, 2020). Esto comenzó con la identificación de una dimensión particular de la conciencia, “la experiencia del dolor”, la experiencia visual o el sentido de sí mismo (*self*). Luego requirió identificar marcadores observables de esa dimensión y buscar evidencia de que tales marcadores estaban presentes o ausentes en los organismos estudiados. Estos pasos pueden producir evidencia a favor o en contra de esa dimensión de la conciencia incluso en la clínica. Por ejemplo, el comportamiento lingüístico es un marcador de tipos específicos de pensamiento y emoción conscientes en los humanos. Pero como lo demuestran los grandes modelos de lenguaje que simulan la conversación humana, el comportamiento lingüístico por sí solo no es

una prueba sólida de la conciencia en los sistemas no humanos (Jones, 2025). Los humanos adultos despiertos presentan muchos más marcadores conductuales y neurobiológicos interconectados de pensamiento y emoción conscientes.

Un desafío clave para evaluar el valor clínico de los marcadores conductuales es que algunas conductas pueden ser causadas de manera compartida por el procesamiento consciente e inconsciente de un estímulo. Por ejemplo, la conducta aversiva puede ser causada por el dolor/lesión, una experiencia consciente con valencia negativa. Pero la conducta aversiva también puede ser causada por la nocicepción, la detección de un estímulo nocivo (mecánico, térmico o químico) que puede procesarse inconscientemente, es decir, el cuerpo puede detectar dicho estímulo y activar vías neuronales sin la participación de la conciencia del estímulo. Se ha reportado que condiciones socioambientales como la urbanización, el bajo nivel socioeconómico, el aislamiento social, la amenaza y el nivel social bajo o inestable pueden asociarse con la expresión diferencial de cientos de transcripciones genéticas en leucocitos y tejidos enfermos como los cánceres metastásicos. En los leucocitos, diversos tipos de adversidad social evocan una respuesta transcripcional conservada común a la adversidad (CTRA: The Conserved Transcriptional Response to Adversity) caracterizada por una mayor expresión de genes proinflamatorios y una menor expresión de genes involucrados en las respuestas antivirales innatas y la síntesis de anticuerpos. Los análisis mecanicistas han mapeado las vías neuronales de “transducción de señales sociales” que estimulan la expresión del gen CTRA en respuesta a la amenaza social y pueden contribuir a los gradientes sociales en la salud (Cole, 2019) destacando que muchos de estos procesos transcurren sin llegar a la conciencia. Para servir como evidencia del involucramiento de la conciencia, la conducta aversiva (escapar abruptamente del contacto o proximidad de un estímulo nociceptivo) debe ir más allá de la mera sensibilidad, por ejemplo, involucrando mecanismos de aprendizaje y memoria para permitir un cambio conductual flexible, adaptativo y prolongado (Hagoort, 2017).

## DISPOSITIVOS TECNOLÓGICOS DE BAJO COSTO EN LA ATENCIÓN DEL DOLOR

En el trabajo clínico psicológico exploramos no solo los factores fisiológicos y psicológicos esenciales para una comprensión más profunda del desarrollo del dolor, sino también aquellos que contribuyen a su persistencia. Estos factores se examinan en el contexto de los tratamientos tanto farmacológicos como intervenciones no farmacológicas (INF), con el objetivo de establecer una conexión entre los mecanismos del dolor y los enfoques para su alivio. Este vínculo mente-cuerpo, ha permitido a los especialistas de la salud acoplar el tratamiento al perfil de dolor único de cada paciente. El objetivo general ha sido avanzar nuestra comprensión del dolor, para que nos permita maximizar su alivio y prevenir la transformación del dolor agudo en una enfermedad crónica, debilitante y costosa.

Cuando los humanos enfrentamos un peligro, no solo gritamos “¡cuidado, peligro!”, sino que podemos congelarnos y tensar los músculos, en algunos casos experimentar un aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria; en estos casos tanto la amígdala, así como regiones de la corteza cerebral contribuyen al aumento de ese tipo de actividad (Shajari *et al.*, 2023). Cuando solo un sistema presenta actividad de un tipo de biomarcador, por ejemplo, en el comportamiento verbal (gritar) al detectar peligro; nos suministra, en el mejor de los casos, una evidencia muy débil de un nivel de conciencia (esa persona está sufriendo por el dolor y se percata). Pero cuando varios tipos de biomarcadores coinciden detectando cambios de actividad fisiológica, proporcionan conjuntamente una evidencia sólida. Cuando algunos biomarcadores de la participación de la conciencia están presentes y otros ausentes, se requiere una interpretación más cuidadosa. Por ejemplo, cuando los marcadores conductuales de la conciencia están ausentes en los seres humanos (el caso de los fetos, los bebés y los seres humanos que no responden después de lesiones cerebrales), los investigadores clínicos pueden atribuir más peso a biomarcadores de tipo neurofisiológico, como el índice de complejidad perturbacional y la onda P3b (ambos miden las respuestas a tipos específicos de estímulos externos). Alternativamente, cuando los biomarcadores neurofisiológicos humanos están ausentes (como en el caso de los animales que tienen estructuras cerebrales muy diferentes, como los pulpos o las abejas), los marcadores conductuales adquieren una mayor importancia.

Para avanzar en la selección/adaptación de los marcadores conductuales con potencial para el trabajo psicológico profesional en México, es necesario distinguir el procesamiento neuronal consciente e inconsciente relacionado con una situación específica (como el daño tisular). Los investigadores clínicos pueden entonces identificar marcadores de la versión consciente en humanos, como los comportamientos verbales que ocurren cuando el daño tisular genera sufrimiento perturbador y se pueden apoyar en marcadores de tipo fisiológicos.

Los marcadores fisiológicos son indicadores medibles periféricamente por medio de equipos de registro y reflejan el funcionamiento continuo de los sistemas fisiológicos. Este tipo de marcadores evalúan el nivel de activación o la capacidad de respuesta del organismo, por ejemplo, asociados al estrés físico o emocional. Algunas de estas señales son, la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria, la conductancia de la piel, la respuesta muscular o electromiografía y la temperatura periférica de la piel.

Para obtener estas señales, existen dispositivos o equipos diseñados para esta tarea. Suelen ser de alto costo y muchos de ellos son considerados como mínimamente invasivos, debido a que obtienen las señales por medio de electrodos adheridos a la piel, obtienen la señal eléctrica del cuerpo, transformándola en una señal visible en un equipo de computadora por medio de un *software* específico. Estos equipos se encuentran en laboratorios, donde son controladas variables ambientales como la temperatura y ruido, lo que los hace poco transportables.

Por otro lado, existen dispositivos portátiles que por sus componentes con los cuales están fabricados, son considerados de bajo costo, más no por ello, demeritan la calidad de la señal obtenida. Algunos dispositivos comerciales como los *smartwatch* o dispositivos móviles con sensores de frecuencia cardiaca, presión arterial y oxigenación, están accesibles para la mayoría de la población, portátiles, pueden ser utilizados fácilmente, llevarlos mientras realizas tus actividades cotidianas. Los dispositivos portátiles, tienen la cualidad de obtener las señales sin estar conectados a una corriente eléctrica.

Los estudios que evalúan métricas fisiológicas recopiladas de dispositivos portátiles, como datos de sueño y actividad, para evaluar transiciones en estados emocionales, soledad y estrés (Sükei *et al.*, 2021) se han basado en múltiples flujos de datos para complementar esta evaluación, incluidos

datos de teléfonos móviles o datos de encuestas, lo que demuestra, en algunos casos, una buena capacidad predictiva para identificar la condición psicológica de un individuo. Trabajos posteriores han evaluado cómo los datos procedentes únicamente de relojes inteligentes pueden evaluar el estado psicológico, permitiendo un único flujo de datos totalmente pasivo para evaluar la salud mental. Las características circadianas de la función del Sistema Nervioso Autónomo, medidas como la Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca, también es un marcador confiable de la respuesta fisiológica al estrés y el dolor (Tepepa Flores *et al.*, 2023), ampliando su capacidad para evaluar estados psicológicos (Rodríguez Medina *et al.*, 2023). Las investigaciones han demostrado que esto se puede utilizar para determinar la resiliencia psicológica de un individuo y otras medidas de constructos psicológicos positivos, abriendo la posibilidad de su uso para monitorear el bienestar psicológico y ampliar la contribución de los trabajadores de salud mental para ofrecer apoyo especializado a los usuarios/pacientes de forma remota (Hirten *et al.*, 2022).

El grupo de investigación “Mente-Cuerpo” de la Facultad de Psicología UNAM, se ha enfocado en el desarrollo y evaluación clínica de dispositivos portátiles que permitan a las y los profesionales de la salud mental monitorear las señales fisiológicas de sus consultantes. A este enfoque le respalda una amplia experiencia clínica y la evaluación de los cambios en la temperatura periférica (mano izquierda y mano derecha) muchos grupos incluyendo 103 pacientes adultos con problemas de dolor crónico y cáncer durante el periodo: 2008-2012, para fundamentar su utilidad como biomarcador del nivel de estrés, dolor y la adquisición de habilidades de modulación emocional.

A raíz de la pandemia por COVID-19, la atención psicológica a usuarias de un grupo de sobrevivientes de cáncer de mama del Centro Médico Nacional “20 de Noviembre” ISSSTE, se vio interrumpida, las usuarias permanecieron en sus casas siguiendo las recomendaciones de aislamiento. Sin embargo, la necesidad de continuar con su monitoreo fisiológico relacionado a su estado emocional inspiró a los ingenieros en mecatrónica de nuestro grupo de investigación a desarrollar un equipo portátil de medición de la temperatura periférica de la piel, específicamente los dedos de la mano. Fue de esta manera que, en conjunto con los psicólogos que mensualmente brindaron acompañamiento psicoemocional al grupo,

realizando intervenciones para el manejo del estrés, entre ellas la respiración diafragmática y técnicas de atención plena, ayudando al grupo de pacientes a relacionar estos ejercicios con su respuesta fisiológica de temperatura periférica de la piel monitoreándola con termómetros digitales durante las sesiones, diseñaron el dispositivo portátil Termofinger MX®.

Dicho dispositivo, permite al usuario evaluar su temperatura periférica de cualquier dedo de la mano y por medio de una aplicación para teléfono celular, visualizar el cambio en la temperatura periférica. Los datos obtenidos son transmitidos por medio de correo electrónico al especialista, quien puede recibirlos y analizarlos en el lugar que se encuentre. De esta manera el grupo de pacientes pueden tener el dispositivo en su casa, realizar los ejercicios de relajación que aprendieron en sus sesiones mensuales y auto monitorearse con la ayuda de este dispositivo; al mismo tiempo, el profesional puede acceder a los datos recabados para focalizar las intervenciones sobre la salud emocional de su paciente.

Las ventajas del dispositivo Termofinger MX®, destacan que al ser de fabricación nacional, los costos de producción bajan significativamente; adicionalmente, está diseñado específicamente para población mexicana, atendiendo necesidades reales detectadas en la población objetivo, es decir, usuarias y usuarios con una media de edad de 75 años, con un diagnóstico de enfermedad crónica, por lo cual se consideró un diseño para la interfaz del usuario amigable y llamativa, así mismo, se tomó en cuenta para la construcción del dispositivo características entre las destacan su accesibilidad, sobre todo minimizar la colocación de algún tipo de electrodo, en lugar de ello colocan su mano sobre el sensor, es portátil, recargable e inalámbrico. Sumando a lo anterior, al profesional le brinda la información sobre la evaluación de la temperatura de manera inmediata, lo cual permite realizar los análisis necesarios de manera oportuna.

Recurrir a dispositivos tecnológicos para lidiar con problemas en el campo de la salud emocional, es un recurso viable; sin embargo, no constituye necesariamente una solución perfecta. Un problema clínico muy común cuando nos encontramos con un paciente, es que se presenta con varios problemas traslapados, un ejemplo de ello es la estrecha relación entre cambios emocionales incapacitantes como la ansiedad y la depresión y su relación con el dolor (De La Rosa *et al.*, 2024). Los resultados de un estudio indicaron que para el 57% de pacientes su primer problema,

que los llevaba a la consulta con el especialista era el dolor, el 24% de ellos el problema eran alteraciones en el estado de ánimo, ansiedad y depresión principalmente y en un 14% de esta población estos dos problemas se traslapan. Por lo tanto, es importante notar que estos dispositivos están diseñados para captar y obtener la señal fisiológica deseada, pero carecen de la integración de la evaluación clínica psicológica, la cual es un recurso vital para poder realizar un plan de tratamiento adecuado para el paciente con dolor.

Tenemos una oportunidad para integrar la tecnología a la consulta clínica psicológica; sin embargo, hemos de adoptar una visión flexible frente a las ventajas que ofrecen, pero también a sus limitaciones y posibles mejoras. Nuestro grupo de investigación, está convencido de que integrar nuestros talentos y perspectivas, pueden abonar a la innovación tecnológica, diseñando equipos portátiles de bajo costo que coadyuven al quehacer clínico psicológico en pacientes con dolor. Algunos logros se han reflejado reflejados en la mejora de dispositivos portátiles comerciales, los cuales monitorean el pulso cardiaco, señal que hemos estudiado (Mendoza Contreras *et al.*, 2025; Vergara Aguirre *et al.*, 2018) y analizado para obtener los intervalos del latido cardiaco que nos permitan evaluar la Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca (VFC). La VFC es un marcador reconocido en el estudio del dolor (Cruz Jerónimo *et al.*, 2016; Vergara Aguirre *et al.*, 2018), en la actualidad existen diversos dispositivos portátiles que pueden adquirir esta señal, tal es el caso de los relojes deportivos o bandas pectorales, de distintas marcas, que obtienen esta señal y por medio de aplicaciones para teléfonos celulares prometen evaluar de manera precisa y resumida el desempeño del atleta. El desafío es diseñar un sensor de la misma calidad, pero a menor costo que, de igual manera, apoye la evaluación clínica psicológica de los pacientes con dolor.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Más allá del desarrollo tecnológico, no debemos relegar el papel del profesional de la salud psicológica, sobre todo en problemáticas de salud complejas como el dolor crónico. Si bien, la tecnología, por medio de dispositivos portátiles de bajo costo, nos han permitido la evaluación psicológica del dolor de manera cuantitativa, la verdadera riqueza está

en el quehacer de la información obtenida, la interpretación clínica que se realiza sobre los datos de las señales fisiológicas y a partir de ello el diseño colaborativo junto con el paciente sobre su plan de tratamiento. El acompañamiento psicológico combinado con los desarrollos tecnológicos bien implementados, crearán una sinergia única en favor del pronóstico de las y los consultantes.

Por otro lado, es importante tomar en cuenta los avances en la estructura y función de los dispositivos portátiles, los cuales son atractivos y prometedores para ampliar la capacidad de monitorear el estado de salud de un individuo incluso sin la mediación de los procesos de conciencia. El desarrollo tecnológico que permite a las máquinas aprender, tomar decisiones o procesar lenguaje sin asistencia humana, se denomina Inteligencia Artificial (IA), la cual también ofrece herramientas novedosas para analizar los datos fisiológicos recopilados por dichos dispositivos para construir modelos precisos en función de los antecedentes de los pacientes. Los datos se prestan al desarrollo de modelos básicos auto supervisados que pueden aplicarse a una variedad de aplicaciones portátiles y ampliar las capacidades de monitoreo más allá de los flujos de datos únicos. Pronto atestiguamos cada vez más la aplicación de dispositivos portátiles al estudio de nuevos estados de salud con trayectorias complejas (Jaramillo Quintanar *et al.*, 2022). Aunque las personas pueden pasar gran parte de su vida distantes de los especialistas en salud, los avances en los dispositivos portátiles permitirán a los especialistas cultivar una considerable cercanía y tener una mayor comprensión de la condición de una persona, aprovechando la ayuda de los dispositivos de inteligencia artificial colocados en la muñeca. Sin embargo, hasta ahora, la mayoría de los modelos basados en IA consumen mucha energía y siguen teniendo un costo elevado para la mayoría de la población global; la experiencia sugiere diseñar dispositivos IA que puedan ser entrenados en computadoras personales con dispositivos TinyML de código abierto (costo 14 dlls) de bajo consumo, alimentados por baterías comunes sin necesidad de conectividad a internet.

Finalmente, pero no menos importante los dispositivos portátiles de bajo costo y consumo de energía permiten la protección plena de los datos recolectados y representan una ventaja para la protección de la privacidad y seguridad de sus usuarios. Brindarles a nuestros pacientes este tipo de

seguridad referente a su información fisiológica obtenida por medio de estos equipos es vital, sobre todo para que tengan la plena seguridad de que su privacidad personal está protegida y resguardada.

### AGRADECIMIENTOS

Con apoyo del proyecto *DGAPA-UNAM-PAPIIT IT300323 “Termografía facial, inflamación y sensibilidad social”*

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con la a este capítulo de libro. “No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo”.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apkarian, A. V., Baliki, M. N., y Geha, P. Y. (2009). Towards a theory of chronic pain. *Progress in neurobiology*, 87(2), 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2008.09.018>
- Cabinet Office. (2022). *Annual Report on the Ageing Society* [Informe anual sobre la Sociedad envejecida]. [https://www8.cao.go.jp/kourei/white-paper/w-2022/zenbun/04pdf\\_index.html](https://www8.cao.go.jp/kourei/white-paper/w-2022/zenbun/04pdf_index.html)
- Cole S. W. (2019). The Conserved Transcriptional Response to Adversity. *Current opinion in behavioral sciences*, 28, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.01.008>
- Correia, J.C., Meraj, H., Teoh, S.H., Waqas, A., Ahmad, M., Lapão, L.V., et al. (2021). Telemedicine to deliver diabetes care in low- and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *Bull World Health Organ.* 99:209–219B. <https://doi.org/doi:10.2471/BLT.19.250068>
- Cruz Jerónimo, A., Gutiérrez Sida, C., y Velasco Vázquez, M. L. (2016). Cambios en la variabilidad de la frecuencia cardiaca en pacientes con cáncer. *Psicología y Salud*, 26(1), 33-41. <https://psicologiaysalud.uv.mx/index.php/psicysalud/article/view/1896>

- De Hert S. (2020). Burnout in Healthcare Workers: Prevalence, Impact and Preventative Strategies. *Local and regional anesthesia*, 13, 171–183. <https://doi.org/10.2147/LRA.S240564>
- De La Rosa, J. S., Brady, B. R., Ibrahim, M. M., Herder, K. E., Wallace, J. S., Padilla, A. R., y Vanderah, T. W. (2024). Co-occurrence of chronic pain and anxiety/depression symptoms in U.S. adults: prevalence, functional impacts, and opportunities. *Pain*, 165(3), 666–673. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000003056>
- Eisenlohr-Moul, T. (2024). The Menstrual Cycle and Mental Health: Progress, Gaps, and Barriers. Presentation to the NASEM Committee on the Assessment of NIH Research on Women's Health, Meeting 3 (March 7, 2024). <https://www.nationalacademies.org/documents/embed/link/LF2255DA3DD1C41CoA42D3BEF0989ACAEC3053A6A9B/file/D200E053FE7DBEC81160D764F44F8C5682FD9C162A7A?noSaveAs=1>
- Ezzati, M., y Riboli, E. (2012). Can noncommunicable diseases be prevented? Lessons from studies of populations and individuals. *Science (New York, N.Y.)*, 337(6101), 1482–1487. <https://doi.org/10.1126/science.1227001>
- Garcia-Larrea L. (2024). Under the insula: a commentary on “Electrostimulation of the white matter of the posterior insula and medial operculum: perception of vibrations, heat, and pain”. *Pain*, 165(3), 498–499. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000003070>
- Hage, S. R., y Nieder, A. (2016). Dual Neural Network Model for the Evolution of Speech and Language. *Trends in neurosciences*, 39(12), 813–829. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.10.006>
- Hagoort P. (2017). The core and beyond in the language-ready brain. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 81(Pt B), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.048>
- Hirten, R. P., Tomalin, L., Danieletto, M., Golden, E., Zweig, M., Kaur, S., Helmus, D., Biello, A., Pyzik, R., Bottinger, E. P., Keefer, L., Charney, D., Nadkarni, G. N., Suarez-Farinas, M., y Fayad, Z. A. (2022). Evaluation of a machine learning approach utilizing wearable data for prediction of SARS-CoV-2 infection in healthcare workers. *JAMIA open*, 5(2), ooac041. <https://doi.org/10.1093/jamiaopen/ooac041>
- Jaramillo-Quintanar, D., Cruz-Albarran, I. A., Dominguez-Trejo, B., Rodriguez-Medina, D. A., y Morales-Hernandez, L. A. (2022). Face Thermal Map of the Mexican Population in the Basal State.

- International journal of environmental research and public health, 19(21), 14208. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114208>
- Jarvis E. D. (2019). Evolution of vocal learning and spoken language. *Science* (New York, N.Y.), 366(6461), 50–54. <https://doi.org/10.1126/science.aax0287>
- Kahn, J. (12 de enero, 2025) Chronic Pain Is a Hidden Epidemic. It's Time for a Revolution. The New York Times. <https://www.nytimes.com/by/jennifer-kahn>
- Jones N. (2025). How should we test AI for human-level intelligence? OpenAI's o3 electrifies quest. *Nature*, 637(8047), 774–775. <https://doi.org/10.1038/d41586-025-00110-6>
- Jürgens U. (2009). The neural control of vocalization in mammals: a review. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2007.07.005>
- Kosek, E., Cohen, M., Baron, R., Gebhart, G. F., Mico, J. A., Rice, A. S. C., Rief, W., y Sluka, A. K. (2016). Do we need a third mechanistic descriptor for chronic pain states? *Pain*, 157(7), 1382–1386. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000507>
- MacNeilage P. F. (1998). The frame/content theory of evolution of speech production. *The Behavioral and brain sciences*, 21(4), 499–546. <https://doi.org/10.1017/s0140525x98001265>
- Mendoza-Contreras, L. A., Mora-Romo, J. F., y Domínguez-Trejo, B. (2025). Avances recientes en evaluación y tratamiento psicológico (no invasivo) del dolor crónico. *Psicología y Salud*, 35(1), 7-14. <https://doi.org/10.25009/pys.v35i1.2945>
- Nava, E., Giraud, M., y Bolognini, N. (2023). The emergence of the multi-sensory brain: From the womb to the first steps. *Science*, 27(1), 108758. <https://doi.org/10.1101/j.isci.2023.108758>
- Navratilova, E., Xie, J. Y., King, T., y Porreca, F. (2013). Evaluation of reward from pain relief. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1282, 1–11. <https://doi.org/10.1111/nyas.12095>
- Neubert, J. K., Widmer, C. G., Malphurs, W., Rossi, H. L., Vierck, C. J., Jr, y Caudle, R. M. (2005). Use of a novel thermal operant behavioral assay for characterization of orofacial pain sensitivity. *Pain*, 116(3), 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2005.05.011>

- Rodríguez-Medina, D. A., Martínez-Cuervo, N., Vázquez-Ortega, J. J., Manjarrez-Ibarra, J. O., y Ríos-Quintero, Y. (2023). La temperatura nasal: marcador autonómico de relajación y su relación con el apoyo social en adultos mayores. *Revista de Psicología de la Salud*, 11(1), 193-208. <https://doi.org/10.21134/pssa.v1i1.319>
- Shajari, S., Kuruvinashetti, K., Komeili, A., y Sundararaj, U. (2023). The Emergence of AI-Based Wearable Sensors for Digital Health Technology: A Review. *Sensors* (Basel, Switzerland), 23(23), 9498. <https://doi.org/10.3390/s23239498>
- Stewart, M., Brown, J. B., Donner, A., McWhinney, I. R., Oates, J., Weston, W. W., y Jordan, J. (2000). The impact of patient-centered care on outcomes. *The Journal of family practice*, 49(9), 796-804. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11032203/>
- Sükei, E., Norbury, A., Perez-Rodriguez, M. M., Olmos, P. M., y Artés, A. (2021). Predicting Emotional States Using Behavioral Markers Derived From Passively Sensed Data: Data-Driven Machine Learning Approach. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(3), e24465. <https://doi.org/10.2196/24465>
- Tepepa-Flores, L. E., Mateos-Salgado, E. L., Domínguez-Trejo, B., Pineda-Sánchez, J. E., y Ruiz-Perial, M.G. (2023). Evaluación de la consistencia de estresores personalizados en la variabilidad de la frecuencia cardíaca de jóvenes universitarios. *Revista De Psicología De La Universidad Autónoma Del Estado De México*, 12(29), 124-144. <https://doi.org/10.36677/rpsicologia.v12i29.20612>
- The Lancet (2025). Can we turn the tide on NCDs in 2025?. *Lancet*, 405(10472), 1. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)02845-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02845-9)
- Vergara Aguirre, S. N., Rodríguez Medina, D. A., Domínguez Trejo, B., Tepepa Flores, L. E., Vergara Erdosay, A., Guidone Mariotti, N., y Hernández Santos, J. R. (2018). Estimulación térmica y analgesia hipnótica para la regulación autonómica e inflamatoria en pacientes con dolor crónico. *Revista Digital Internacional de Psicología y Ciencia Social*, 4(2), 195-213. <https://doi.org/10.22402/j.rdipycs.unam.4.2.2018.183.195-213>
- Williams-Farrelly, M. M., Schroeder, M. W., Li, C., Perkins, A. J., Bakas, T., Head, K. J., Boustani, M., y Fowler, N. R. (2024). Loneliness in older primary care patients and its relationship to physical and mental health-related quality of life. *Journal of the American Geriatrics Society*, 72(3), 811-821. <https://doi.org/10.1111/jgs.18762>

Yong, R. J., Mullins, P. M., y Bhattacharyya, N. (2022). Prevalence of chronic pain among adults in the United States. *Pain*, 163(2), e328–e332.  
<https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002291>

# El dolor crónico desde una perspectiva biopsicosocial multidimensional

*David Alberto Rodríguez Medina<sup>1</sup>*

*Mariana Ortiz Omaña<sup>2</sup>*

*Nuvia Faviola Núñez Chaidez<sup>3</sup>*

*Benjamín Domínguez Trejo<sup>4</sup>*

## INTRODUCCIÓN

La valoración de un problema de salud cuya causa sea multifactorial implica examinar las distintas dimensiones en las que trastoca el estilo y calidad de vida de un paciente con enfermedad crónica, a fin de ofrecer un plan de tratamiento basado en las necesidades particulares de cada paciente. Es importante destacar que la persona diagnosticada con alguna enfermedad crónica requiere una valoración integral, multidimensional de los síntomas, sus efectos sobre su salud física, emocional y social (Banda, Valdés y Pérez, 2024). La selección de las medidas requiere no solo un conocimiento teórico y técnico de cada instrumento, sino la actualización continua y permanente de la literatura basada en evidencia. Por ejemplo, en México, las Guías Prácticas Clínicas del Instituto Mexicano del Seguro Social o el Instituto Nacional de Geriatría, ofrecen una guía de instrumentos de evaluación multidimensional de diversos problemas de salud en el adulto mayor, las cuales están disponibles públicamente,

<sup>1</sup> Profesor e Investigador Titular C de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 42000. <https://orcid.org/0000-0002-4358-1023>

<sup>2</sup> Profesora e Investigadora de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 54090, <https://orcid.org/0009-0003-7596-4066>

<sup>3</sup> Profesora e Investigadora de la Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México, 80000. <https://orcid.org/0009-0003-7596-4066>

<sup>4</sup> Profesor e Investigador de la división de estudios de posgrado e investigación de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México, México, 04510. <https://orcid.org/0009-0003-7596-4066>

con los instrumentos y las instrucciones precisas de aplicación y valoración. Estas guías se actualizan periódicamente, completando el ejercicio de buenas prácticas. Debido a la naturaleza multidimensional de una enfermedad crónica, diversos especialistas atienden las distintas manifestaciones clínicas de un paciente. Para el manejo de las limitaciones conductuales, emocionales y sociales, los psicólogos de la salud son los especialistas sanitarios para disminuir el malestar y procurar el bienestar de un paciente o grupo de personas con aspectos biopsicosociales en común.

La prolongación de los síntomas después de 3 a 6 meses que no disminuyen se establece crónicamente; por ejemplo, el dolor crónico que sufre un paciente puede limitar el rendimiento de las actividades diarias, generando malestar afectivo y social. A su vez, los pacientes que reportan frecuentemente síntomas de estrés social también perciben mayor dolor y sentimientos de tristeza (Madison, *et al.* 2023). En el presente capítulo se aborda qué es el dolor crónico, cómo examinarlo, su asociación con el funcionamiento psicosocial de quien lo padece, y finalmente, se expone un ejemplo de un estudio preliminar sobre la percepción de dolor, su correlato afectivo y con la actividad inflamatoria.

## DOLOR CRÓNICO

El dolor crónico (DC) es aquel que persiste después de un periodo temporal de curación normal (más de 3-6 meses) y que carece de la función protectora de señalamiento de advertencia para el organismo. Se estima que afecta alrededor del 20% de la población a nivel mundial. El DC es por sí mismo una de las enfermedades crónicas no transmisibles, por lo que la Organización Mundial de la Salud colaboró con la *International Association for the Study of Pain* (IASP) para definir los criterios de clasificación del DC (Treede, *et al.*, 2015; Treede, *et al.*, 2019). Se categorizaron 7 tipos de DC: (1) primario, (2) oncológico, (3) postraumático y postquirúrgico, (4) neuropático, (5) de cabeza y orofacial, (6) visceral y (7) musculoesquelético.

Existe evidencia de los factores psicosociales que influyen en la percepción de la intensidad del dolor, como el distrés emocional (con activación simpática prolongada, induce sensación de malestar físico; además, una

respuesta inflamatoria que conduce a una hiperalgesia), y el deterioro funcional (cognitivo, conductual y/o social). Sin embargo, uno de los problemas centrales en la investigación clínica es identificar los pacientes que cuentan con mejor pronóstico de salud de aquellos que requieren mayor atención clínica.

Los síndromes de dolor crónico son un ejemplo, debido a la falta de estandarización de criterios clínicos basados en evidencia y en la práctica clínica. Numerosas investigaciones han utilizado diferentes instrumentos de medición; incluso existen revistas especializadas para el manejo y tratamiento del dolor. Por ejemplo, Gélinas *et al.* (2017) propuso un protocolo internacional para la evaluación de las conductas de dolor que reúne la investigación más sólida de las expresiones faciales asociadas al dolor.

Desde principios del siglo XXI se ha evidenciado la participación de procesos biológicos y psicosociales que promueven la cronificación del dolor (Bevers *et al.* 2016). Entre los factores psicológicos que influyen en la cronificación del dolor se encuentra la alexitimia, una desregulación afectiva observada en trastornos dolorosos (Vázquez, 2022). La alexitimia se puede definir como la dificultad de reconocer y expresar emociones en otras personas y en uno mismo. La importancia de la evaluación de la alexitimia radica en una adecuada comunicación emocional se ha vinculado con mayor involucramiento social, con buenos pronósticos de salud. En contraste, una deficiencia de comunicación emocional se asocia con aislamiento social, generando problemas de sueño, estrés crónico (actividad autonómica simpática elevada), problemas de control inflamatorio, hiper-vigilancia, fallas en la atención y memoria, (Cacioppo & Cacioppo, 2012). En pacientes con cáncer, por ejemplo, los síntomas de dolor se asocian a la sensación de soledad, además de trastornos de sueño, fatiga y quejas cognitivas (Adams *et al.* 2018). De hecho, Che *et al.* (2018) describió cómo la percepción de dolor se puede mitigar mediante el acompañamiento social. Por lo anterior, es necesaria la consideración multidimensional en la valoración del dolor sobre las actividades del paciente, su estado emocional y comportamiento social (Raffaeli & Arnaudo, 2017).

### **MODELO BIOPSICOSOCIAL DEL DOLOR CRÓNICO**

El dolor puede conducir a una hipervigilancia, malestar emocional negativo, activación autonómica simpática y conductas evitativas (Garland, 2012). Un modelo biopsicosocial del dolor reciente es el propuesto por Bevers *et al.* (2016). Su propuesta incluye una predisposición genética en el desarrollo de la expresión de los genes que codifican y sintetizan un neurotransmisor, la serotonina, y una molécula inflamatoria, la interleucina 6 (IL-6), como agentes biológicos. Además, el modelo sostiene desregulación endocrina, cardiovascular, anímica y del espectro ansioso; y finalmente, una vulnerabilidad social. Con base a la predominancia de cada tipo de vulnerabilidad, se puede obtener una evaluación y propuesta de tratamiento individual a cada paciente con dolor crónico. La IL-6 es la citoquina con mayor concentración en el sistema nervioso central y tiene una influencia en las conductas de enfermedad, tales como: fatiga, depresión y dolor (Kummer *et al.*, 2021).

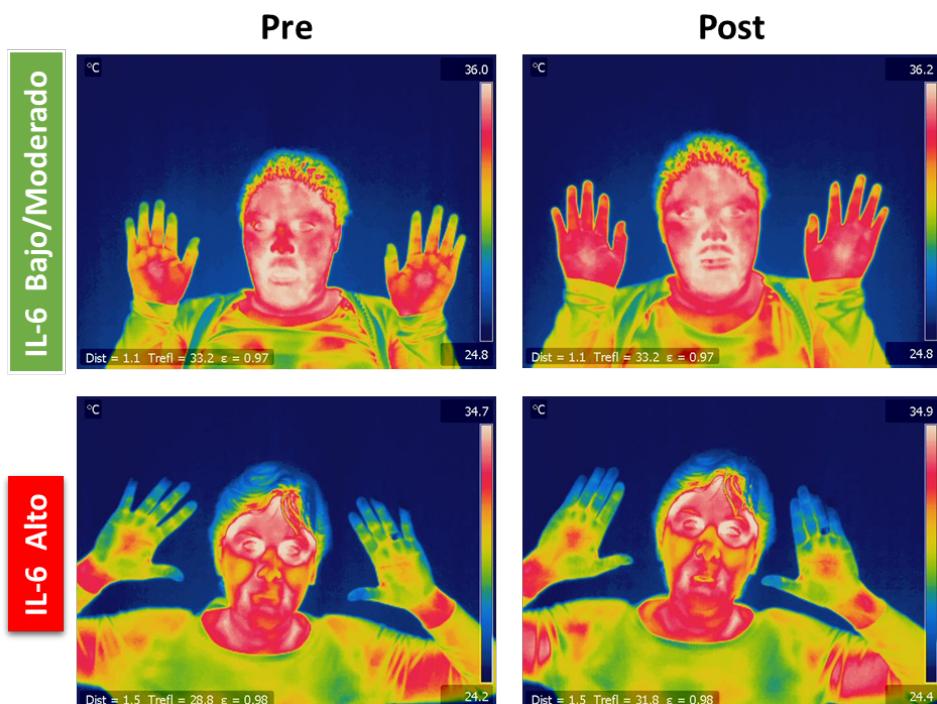
La exposición prolongada de estrés físico o afectivo promueve una hiperactivación del eje hipotalámico-pituitario-adrenal, el cual contribuye a la sensibilidad de hiperalgesia por medio de la participación de citoquinas inflamatorias como la IL-6 que activan las áreas de la corteza insular, la corteza cingulada anterior, la amígdala y el hipotálamo, que a su vez influyen en el estado anímico, fatiga y desórdenes de sueño, siendo las mujeres más vulnerables (Lasselin *et al.*, 2018). Es decir, aquellos pacientes con DC y que sufren depresión presentan una inflamación crónica. Esto significa que los procedimientos clínicos para reducir el estrés, como las técnicas de relajación, pueden considerar el uso de biomarcadores (inmunológicos y/o autonómicos) para la evaluación. Los procedimientos psicológicos no invasivos para el tratamiento del dolor han mostrado efectividad en el paciente con DC cuyo nivel de concentración de IL-6 es bajo o moderado (Rodríguez-Medina *et al.* 2018).

### **IMAGEN TÉRMICA INFRARROJA Y FACIE DE DOLOR**

En la revisión de Ioannou, Gallese y Merla (2014) se muestran las áreas faciales térmicas o regiones de interés observables (RIO) que varían para diversas emociones: la frente, la región periorbital, la punta de la nariz, el área maxilar o perinasal, la barbilla y la mejilla. Cuando un sujeto expe-

rimenta dolor, los vasos sanguíneos de la nariz y de los dedos de las manos se contraen como reflejo simpático, por lo que decrementa la temperatura del rostro y las manos. Para contrarrestar esta actividad simpática, las estrategias de relajación promueven la actividad parasimpática, induciendo vasodilatación, lo cual aumenta la temperatura de la piel en las manos y nariz. Es decir, estas regiones tienden a calentarse cuando uno se tranquiliza. Esto es interdependiente del nivel de concentración de IL-6, si el sujeto mantiene un nivel bajo o moderado e IL-6 tiene mayor probabilidad de beneficiarse de las técnicas de relajación, aumentando su temperatura periférica; por el contrario, aquel paciente con alta concentración de IL-6 no logra aumentar su temperatura de la piel con la técnica de respiración diafragmática (ver Figura 1).

**Figura 1. Efecto de la modulación facial emocional y la respiración diafragmática**



Nota. Fuente tomada de Rodríguez *et al.* 2018.

Debido a que las mujeres sobrevivientes de cáncer de mama presentan dolor crónico Rogowsky *et al.* (2022), se propuso utilizar una técnica de relajación alternativa, como la relajación muscular pasiva, un ejercicio de desactivación de grupos musculares, donde el psicólogo tratante da indicaciones de ir relajando diversas partes del cuerpo (de la parte superior, iniciando en la frente, hacia la parte inferior del organismo, terminando en la punta de los dedos de los pies). El paciente debe seguir relajando cada parte del cuerpo que se le indica, apoyando todo su cuerpo en el asiento y respaldo. El ejercicio tiene una duración mínima de 3 minutos, y se puede examinar su efecto posterior para evaluar la capacidad de mantenerse tranquila la persona una vez que concluyen las indicaciones del terapeuta.

## MÉTODO

### *Diseño y Participantes*

Se utilizó un diseño prospectivo, transversal, con enfoque cuantitativo y alcance correlacional. Mediante un muestreo no probabilístico, participaron 17 mujeres sobrevivientes de cáncer de mama del Centro Médico Nacional 20 de noviembre ISSSTE, con un rango de edad de 43 a 83 años. Los criterios de inclusión fueron ser paciente femenina con diagnóstico de cáncer de mama; mientras que, el criterio de exclusión fue que no aportan suficiente muestra salival para examinar la IL-6 salival. El objetivo fue evaluar las dimensiones biopsicosociales asociadas al dolor en un grupo de mujeres sobrevivientes de cáncer de mama. Los objetivos particulares fueron dos: primero, realizar una valoración psicológica y su correlato fisiológico con una muestra salival de IL-6. Segundo, la devolución de resultados, una sesión psicoeducativa de los agentes biopsicosociales que aumentan la percepción de dolor y la práctica de un ejercicio de relajación para reducir el estrés a fin de evaluar su efecto sobre la temperatura nasal.

## INSTRUMENTOS Y MATERIALES

### *Escala de Ansiedad y Depresión Hospitalaria*

La ansiedad se define como el sentimiento de malestar físico, inquietud, insatisfacción, incertidumbre e ideas de desastre o peligro. Por su parte, se consideró la depresión como la pérdida de interés en las actividades cotidianas y la disminución de capacidad para experimentar placer. Para evaluar los niveles de ansiedad y de depresión de los pacientes, se aplicó la escala de Ansiedad y Depresión Hospitalaria (HADS), validada en México para población oncológica (Galindo *et al.*, 2015). Consta de 12 reactivos con buen nivel de confiabilidad para la ansiedad ( $\alpha = 0.79$ ) y la depresión ( $\alpha = 0.80$ ).

### *Escala de Alexitimia de Toronto*

Se administró la escala de Toronto de Alexitimia, validada en México por Durán (2007), la cual evalúa los niveles de dificultad para identificar ( $\alpha = 0.689$ ) y describir ( $\alpha = 0.74$ ) el estado afectivo de uno mismo y de otras personas, así como diferenciarlos de sensaciones corporales.

### *Escala de Apoyo social de MOS*

Se trata de un instrumento de autorreporte de 19 reactivos, con opciones de respuesta en escala tipo Likert, donde a mayor puntaje, mayor percepción de apoyo social. Validada en México por Navarrete, *et al.* (2021), cuyos valores de confiabilidad oscilan entre 0.93 y 0.96.

### *Inventario breve de dolor – Forma Breve*

Inventario Breve de Dolor (BPI). Instrumento de autorreporte sobre la percepción de intensidad del dolor (máximo, mínimo, promedio y actual) y el grado de interferencia en las actividades diarias del paciente (actividad general, trabajo, caminata, estado de ánimo, relaciones interpersonales, calidad del sueño y diversión) a través de una escala numérica (de 0 a 10) en cada área. Se ha traducido y aplicado en distintas poblaciones con dolor crónico, incluyendo en México (Cleeland, 1991), con una confiabilidad de 0.77 a 0.91. Aunque se aplicó todo el BPI, para el análisis de resultados de este estudio solo se consideró el puntaje de *Dolor Actual* (el que percibe la paciente al momento de realizar la valoración).

### ***Muestra Salival de Interleucina 6 (IL-6)***

Se utilizó el kit Salivette para recolectar la muestra salival de la citocina proinflamatoria IL-6, de acuerdo con las instrucciones de Sarstedt, Newton, NC, centrifugadas a 3000 rpm durante 15 min. La concentración de IL-6 se determinó mediante un kit ELISA basado en las instrucciones de Salimetrics State College PA, a una dilución de 1:5, utilizando un contador de luminiscencia a 450 nm con un filtro secundario de 620–630 nm.

### ***Termómetro de Luz Infrarroja***

Un dispositivo portátil, de bajo costo y utilidad clínica para la medición de la temperatura de superficie de la piel, es el termómetro portátil de luz infrarroja. Se recomienda aquel que tenga un margen de error en la precisión del registro de 0.1 °C a 0.2 °C, preferentemente. Para esta investigación se utilizó el modelo DM300®.

## **PROCEDIMIENTO**

Primero, los investigadores se acercaron al grupo de mujeres sobrevivientes de cáncer de mama que se reúnen mensualmente en las instalaciones del Centro Médico Nacional 20 de Noviembre (ISSSTE), donde se les explicó el propósito del estudio y su colaboración voluntaria, garantizándoles confidencialidad mediante un consentimiento informado. Solo aquellas pacientes que aceptaron participar firmaron el consentimiento con base en la declaración de Helsinki, y con apego a la Fracción II del Artículo 17 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud emitido por el Gobierno de México.

Posteriormente, a quienes decidieron participar se les programó una cita en las instalaciones de la Facultad de Psicología de la UNAM, para la valoración psicológica (15 a 20 min) sobre dolor, ansiedad, depresión, alexitimia y apoyo social y la recolección de la muestra salival de IL-6 (2 min), en condiciones de ayuno de 8 horas y sin ingerir medicamentos, en una sala ventilada, iluminada, libre de ruido ambiental.

Finalmente, se programó una sesión grupal para la devolución de resultados en un aula de enseñanza del Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, psicoeducación sobre la salud mental y la inflamación (15 min), y para concluir la sesión, se aplicó un ejercicio grupal de relajación

muscular pasiva (desactivación de grupos musculares), durante 3 minutos, y permanecieron 2 minutos más en sus asientos. Para esta actividad, se les registró la temperatura nasal antes, durante y después del ejercicio, como marcador autonómico de relajación mediante el termómetro infrarrojo.

### **Análisis Estadístico**

Se analizó la distribución normal de cada una de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Ya que no se encontró normalidad en los datos, se analizaron con estadística no paramétrica. El análisis estadístico se llevó a cabo en la versión 21 de *software SPSS*. Para todos los análisis se consideró una significancia estadística  $\leq 0.05$ .

### **Resultados**

#### **Sesión 1. Evaluación biopsicosocial del dolor**

La mediana de edad fue de 61 años con un rango intercuartílico (RI) de 39. La mayoría de las pacientes se encontraba soltera (63.6%), con escolaridad básica (63.6%) y se dedicaban principalmente al hogar (81.8%). Un 63.3% recibió quimioterapia, radioterapia, cirugía y hormonoterapia como tratamiento. El 36.4% de las pacientes se encontraba en etapa II del diagnóstico, un porcentaje similar se hallaba en etapa III, mientras que el 27.3% estaba en etapa IV. Hasta el momento del estudio tenían una mediana de 12 años de supervivencia, aunque dos de ellas tuvieron recurrencia en los últimos meses.

Al analizar las medidas psicosociales, se encontró que el nivel de ansiedad en el grupo era leve ( $Mdn = 8$ ,  $R.I.C. = 5$ ); mientras que, a nivel grupal, las pacientes no presentaron depresión ( $Mdn = 4$ ,  $R.I.C. = 5$ ). Por otra parte, el nivel de alexitimia en el grupo fue alto ( $Mdn = 20$ ,  $R.I.C. = 12$ ). En cuanto al apoyo social, los puntajes se ubicaron con una  $Mdn = 68$  ( $R.I.C. = 20$ ).

El puntaje de dolor indicó que el grupo padecía un nivel de dolor moderado o molesto ( $Mdn = 5$ ,  $R.I.C. = 3$ ), aunque al momento de realizar la valoración señalaron padecer un nivel leve de dolor ( $Mdn = 3$ ,  $R.I.C. = 4$ ). Finalmente, para los niveles de IL-6 se encontró que el 59% de la muestra presentó bajo nivel de actividad inflamatoria ( $Mdn = 3 \mu\text{g/ml}$ ,  $R.I.C. = 9.6$ ),

mientras que el 18% tenía niveles moderados y un 23% registró niveles elevados.

El análisis correlacional de Spearman aparece en la tabla 1. Se encontró que la alexitimia no se relacionó significativamente con ninguna de las variables ( $p > 0.05$ ). El apoyo social se asoció inversamente con el puntaje de ansiedad ( $\rho = 0.51$ ,  $p = 0.033$ ) y de depresión ( $\rho = 0.59$ ,  $p = 0.012$ ). Más aún, el puntaje actual de dolor se asoció directamente con la concentración de IL-6 ( $\rho = 0.764$ ,  $p = 0.026$ ), y con la depresión ( $\rho = 0.51$ ,  $p = 0.040$ ).

**Tabla 1. Coeficiente de correlación Rho de Spearman.**

	<i>Alexitimia</i>	<i>IL-6</i>	<i>Ansiedad</i>	<i>Depresión</i>	<i>Apoyo social</i>	<i>Dolor</i>
Alexitimia	1					
IL-6	-0.29	1				
Ansiedad	-0.01	0.05	1			
Depresión	-0.08	-0.31	0.52*	1		
Apoyo social	-0.04	0.23	-0.51*	-0.59*	1	
Dolor	-0.18	0.76*	0.23	0.51*	-0.13	1

\* La correlación es significativa al nivel 0.05

## **Sesión 2. Efecto de la relajación muscular pasiva sobre la temperatura nasal**

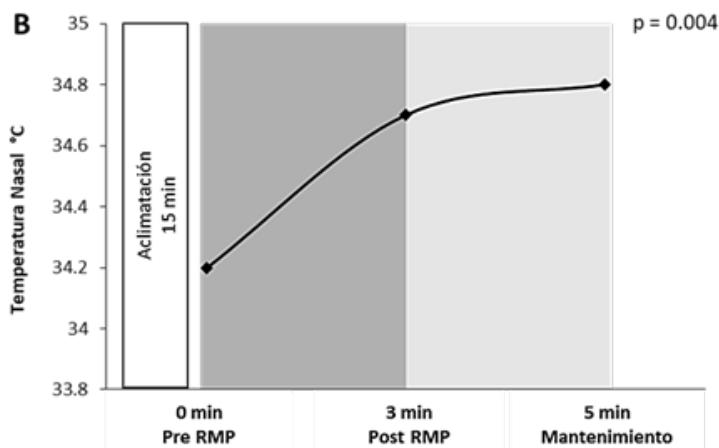
Para iniciar la sesión, los pacientes se acomodaron en un sitio mientras recibieron la psicoeducación sobre salud mental e inflamación durante 15 minutos, tiempo suficiente para aclimatar la temperatura de la piel. Posteriormente, se aplicó un procedimiento de relajación muscular pasiva (desactivación gradual de diversos grupos musculares, desde la cabeza hasta los pies mientras se registraba la temperatura de la nariz (Figura 2A). El análisis de medidas repetidas de Friedman mostró que la temperatura aumentó significativamente ( $p < 0.01$ ) desde el inicio del ejercicio hasta su finalización y el incremento alcanzado se mantuvo por los siguientes 2 minutos (Figura 2B).

**Figura 2. Efecto de la relajación muscular pasiva sobre la temperatura nasal**

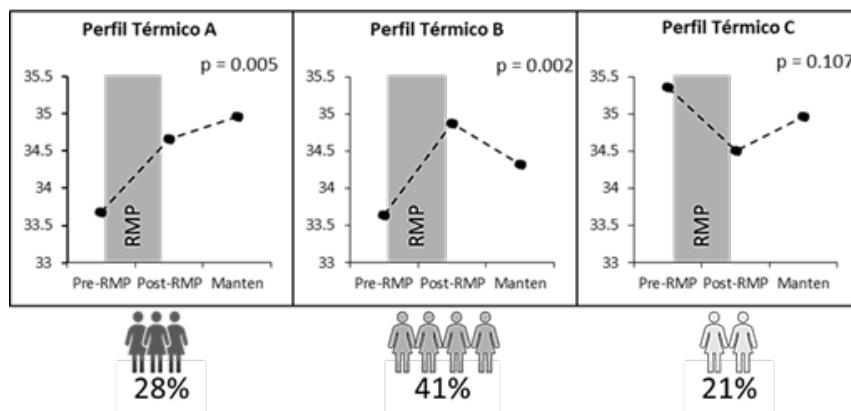
**A**



**B**



**C**



Sin embargo, al examinar los incrementos/decrementos de temperatura (antes, durante y al finalizar el periodo del ejercicio), se encontraron 3 tendencias de dirección de temperatura (Figura 2 C): el Perfil Térmico A, que describe a aquellas pacientes (28%) que con intervención psicológica aumentan su actividad parasimpática y, además, la logran mantener; es decir, requieren poco apoyo psicológico para mejorar y mantener su bienestar. El Perfil Térmico B, son aquellas personas que, al seguir las indicaciones de un profesional de psicología, alcanzan a aumentar su actividad parasimpática, pero una vez cesadas las indicaciones, disminuyen su nivel de relajación. Por último, el Perfil Térmico C sugiere que hay pacientes que ya se encontraban en un estado de relajación profunda ( $\geq 34^{\circ}\text{C}$ ), y, por tanto, el ejercicio no modificó su temperatura.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Pocos estudios en América Latina han reportado la incidencia de biomarcadores inflamatorios, como la IL-6, en mujeres con cáncer de mama (Fontvieille *et al.*, 2022). Los objetivos de esta investigación fueron examinar la relación entre los niveles de dolor y los aspectos biopsicosociales en población oncológica; y, además, evaluar el efecto de una técnica para reducir estrés sobre la temperatura nasal, debido a que frecuentemente las pacientes manifiestan altos niveles de inflamación después del tratamiento oncológico. Se identificó que 2 de cada 5 pacientes muestran niveles moderados o elevados de concentración de IL-6. Más aún, la inflamación se asoció con el nivel de dolor y de depresión.

Estudios antecedentes han documentado que las pacientes sobrevivientes de cáncer de mama presentan alexitimia (Alonso *et al.*, 2017), ansiedad y depresión (Vafaei *et al.*, 2023), así como un bajo nivel de apoyo social (Jadidi & Ameri, 2022). Sin embargo, la organización de reuniones por parte del personal sanitario a los grupos específicos, como el grupo de apoyo Ave Fénix, que se estudió, puede inducir un nivel de apoyo social elevado, el cual es un factor protector de la ansiedad y depresión. Esta última se asoció directamente con el autorreporte del nivel actual de dolor. Esto concuerda parcialmente con los resultados reportados por Banda, Valdés y Pérez (2024), quienes hallaron asociaciones moderadas entre la

ansiedad, la depresión, el dolor y los indicadores de calidad de vida en pacientes con enfermedades crónicas en México.

Entre los procedimientos psicológicos para el manejo del estrés se encuentran las técnicas de relajación, que reducen la tensión muscular y la actividad simpática, la cual se vincula con el grado de inflamación. El psicólogo tratante especialista en dolor, debe tener en cuenta la presencia de los factores psicosociales que pueden contribuir al malestar asociado al dolor para la selección de estrategias útiles para estas pacientes, así como las competencias profesionales para la evaluación e intervención del funcionamiento emocional que le permite identificar las necesidades específicas de cada paciente. La práctica de un ejercicio de relajación promueve la actividad parasimpática, aumentando la temperatura nasal. Sin embargo, se recomienda examinar las tendencias de temperatura para clasificar el predominio autonómico (simpático/parasimpático) antes, durante y después de un procedimiento para reducir estrés.

Entre las limitaciones del presente estudio se señalan, primeramente, el tipo de muestra, el cual no permite generalizar los resultados a otras poblaciones; segundo, el diseño de recolección de datos transversal no permite dar seguimiento a las variaciones biopsicosociales asociadas al dolor de las pacientes. Aun así, se presenta una aproximación psicofisiológica al estudio del dolor crónico oncológico como consideración de los factores que influyen y atenúan el malestar que describen las pacientes sobrevivientes de cáncer de mama.

Se concluye que es necesario investigar multidimensionalmente la valoración biopsicosocial asociada al dolor, la identificación de necesidades particulares de cada paciente, y la incorporación de herramientas tecnológicas o biomarcadores que permitan ponderar objetivamente elementos asociados al dolor.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, R. N., Mosher, C. E., Winger, J. G., Abonour, R., & Kroenke, K. (2017). Cancer-related loneliness mediates the relationships between social constraints and symptoms among cancer patients. *Journal of Behavioral Medicine*, 41(2), 243–252. <https://doi.org/10.1007/s10865-017-9892-5>
- Alonso, Y., Ezama, E., & Fontanil, Y. (2017). Coordinación emocional en el afrontamiento del cáncer: Alexitimia, apego y estrategias de afrontamiento como predictores de bienestar emocional en mujeres sometidas a radioterapia. *Revista Iberoamericana De Psicología Y Salud*, 9(1), 17. <https://doi.org/10.23923/j.rips.2018.01.012>
- Banda, R. P., Valdés, K. P., & Pérez, B. A. (2024). Dolor, ansiedad y depresión y su relación con los indicadores de calidad de vida en enfermedades no transmisibles en el noreste de México. *Políticas Sociales Sectoriales*, 2(3), 338–360. <https://politicassociales.uanl.mx/index.php/pss/article/view/121>
- Bevers, K., Watts, L., Kishino, N. D., & Gatchel, R. J. (2016). The biopsychosocial model of the assessment, prevention, and treatment of chronic pain. *Touch REVIEWS in Neurology*, 12(02), 98. <https://doi.org/10.17925/usn.2016.12.02.98>
- Cacioppo, S., & Cacioppo, J. T. (2012). Decoding the invisible forces of social connections. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnint.2012.00051>
- Chambers, C. T., & Mogil, J. S. (2015). Ontogeny and phylogeny of facial expression of pain. *Pain*, 156(5), 798–799. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000133>
- Che, X., Cash, R., Fitzgerald, P., & Fitzgibbon, B. M. (2017). The Social Regulation of Pain: Autonomic and Neurophysiological Changes Associated With Perceived Threat. *Journal Of Pain*, 19(5), 496–505. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2017.12.007>
- Cleeland, C. S. (1991). *The brief pain inventory*. [https://www.mdanderson.org/documents/Departments-and-Divisions/Symptom-Research/BPI\\_UserGuide.pdf](https://www.mdanderson.org/documents/Departments-and-Divisions/Symptom-Research/BPI_UserGuide.pdf)
- Fontvieille, E., His, M., Biessy, C., Navionis, A., Torres-Mejía, G., Ángeles-Llerenas, A., Alvarado-Cabrero, I., Sánchez, G. I., Navarro, E., Cortes, Y. R., Porras, C., Rodriguez, A. C., Garmendia, M. L., Soto, J. L.,

- Moyano, L., Porter, P. L., Lin, M. G., Guenthoer, J., Romieu, I., . . . Loucks, H. (2022). Inflammatory biomarkers and risk of breast cancer among young women in Latin America: A case-control study. *BMC Cancer*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12885-022-09975-6>
- Galindo, O., Benjet, C., García, F. J., Rojas, E., Riveros, A., Aguilar, J. L., Álvarez, M. Á., & Alvarado, S. (2015). Propiedades psicométricas de la Escala Hospitalaria de Ansiedad y Depresión (HADS) en una población de pacientes oncológicos mexicanos. *Salud Mental*, 38(4), 253–258. <https://doi.org/10.17711/sm.0185-3325.2015.035>
- Garland, E. L. (2012). Pain processing in the human nervous system. *Primary Care Clinics in Office Practice*, 39(3), 561–571. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2012.06.013>
- Gélinas, C., Puntillo, K. A., Levin, P., & Azoulay, E. (2017). The Behavior Pain Assessment Tool for critically ill adults: A validation study in 28 countries. *Pain*, 158(5), 811–821. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000834>
- Herrera, B., Galindo, O., Bobadilla, R., Penedo, F. y Lerma, A. (2021). Propiedades psicométricas del Cuestionario MOS de Apoyo Social en una muestra de pacientes con enfermedades cardiovasculares en población mexicana. *Psicología Y Salud*, 31(2), 225–235. <https://doi.org/10.25009/pys.v31i2.2691>
- Ioannou, S., Gallese, V., & Merla, A. (2014). Thermal infrared imaging in psychophysiology: Potentialities and limits. *Psychophysiology*, 51(10), 951–963. <https://doi.org/10.1111/psyp.12243>
- Jadidi, A., & Ameri, F. (2022). Social support and meaning of life in women with breast cancer. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, 32(4), 709–714. <https://doi.org/10.4314/ejhs.v32i4.6>
- Kummer, K. K., Zeidler, M., Kalpachidou, T., & Kress, M. (2021). Role of IL-6 in the regulation of neuronal development, survival, and function. *Cytokine*, 144, 155582. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2021.155582>
- Lasselin, J., Lekander, M., Axelsson, J., & Karshikoff, B. (2018). Sex differences in how inflammation affects behavior: What we can learn from experimental inflammatory models in humans. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 50, 91–106. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2018.06.005>

- Madison, A. A., Renna, M., Andridge, R., Peng, J., Shrout, M. R., Sheridan, J., Lustberg, M., Ramaswamy, B., Wesolowski, R., Williams, N. O., Noonan, A. M., Reinbolt, R. E., Stover, D. G., Cherian, M. A., Malarkey, W. B., & Kiecolt-Glaser, J. K. (2023). Conflicts hurt: Social stress predicts elevated pain and sadness after mild inflammatory increases. *Pain*, 164(9), 1985–1994. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002894>
- Raffaeli, W., & Arnaudo, E. (2017). Pain as a disease: An overview. *Journal of Pain Research*, Volume 10, 2003–2008. <https://doi.org/10.2147/jpr.s138864>
- Rodríguez, D. A., Domínguez, B., Cortés, P., Cruz, I., Morales, L., y Leija, G. (2018). Biopsychosocial Assessment of Pain with Thermal Imaging of Emotional Facial Expression in Breast Cancer Survivors. *Medicines*, 5(2), 30. <https://doi.org/10.3390/medicines5020030>
- Rodríguez, D. A., Domínguez, B., Leija, G., Hernández, M. del R., & Ríos, L. G. (2020). Biopsychosocial effects of training in recognition, emotional facial reproduction and relaxation: A pilot study. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, 25(1), 49–57. <https://doi.org/10.5944/rppc.23986>
- Rogowsky, L. C., Illmann, C. F., & Isaac, K. V. (2022). Chronic pain in breast cancer patients post mastectomy with alloplastic reconstruction: A scoping review. *European Journal of Cancer Care*, 31(4). <https://doi.org/10.1111/ecc.13631>
- Treede, R., Rief, W., Barke, A., Aziz, Q., Bennett, M. I., Benoliel, R., Cohen, M., Evers, S., Finnerup, N. B., First, M. B., Giamberardino, M. A., Kaasa, S., Kosek, E., Lavand'homme, P., Nicholas, M., Perrot, S., Scholz, J., Schug, S., Smith, B. H., . . . Wang, S. (2015). A classification of chronic pain for ICD-11. *Pain*, 156(6), 1003–1007. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000160>
- Treede, R.-D., Rief, W., Barke, A., Aziz, Q., Bennett, M. I., Benoliel, R., Cohen, M., Evers, S., Finnerup, N. B., First, M. B., Giamberardino, M. A., Kaasa, S., Korwisi, B., Kosek, E., Lavand'homme, P., Nicholas, M., Perrot, S., Scholz, J., Schug, S., . . . Wang, S.-J. (2019). Chronic pain as a symptom or a disease: The IASP Classification of Chronic Pain for the International Classification of Diseases (ICD-11). *Pain*, 160(1), 19–27. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001384>

# Transformación digital en salud

## Mentalízate al 100

*Verónica Miriam Guzmán Sandoval<sup>1</sup>*

*Osval Antonio Montesinos López<sup>2</sup>*

*Iván Delgado Enciso<sup>3</sup>*

*Guillermo Blanco Govea<sup>4</sup>*

*Rosa Martha Meda Lara<sup>5</sup>*

### INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) al menos la mitad de la población mundial está privada de servicios de salud esenciales y cada año hay un gran número de familias que se encuentran en pobreza y no pueden pagar de su propio bolsillo la atención sanitaria. Para ser exactos, al menos 4.500 millones de personas (más de la mitad de la población mundial), no tenían completamente cubiertas los servicios de salud esenciales en el 2021 (OPS, 2024). La brecha de acceso a los servicios de salud no solo se encuentra entre los diversos países, sino entre los diferentes estratos sociales, siendo la población con pobreza la más desfavorecida.

México, de acuerdo al reporte de la organización para la cooperación y el Desarrollo la (OCDE, 2021), es de los países con menor inversión del producto interno bruto (PIB) en salud, invierte 5.5% del PIB, por debajo

<sup>1</sup> Profesora e Investigadora de la Facultad de Psicología de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040. <https://orcid.org/0000-0003-1214-6843>

<sup>2</sup> Profesor e Investigador de la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040. <https://orcid.org/0000-0002-3973-6547>

<sup>3</sup> Profesor e Investigador de la Facultad de Medicina de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040. <https://orcid.org/0000-0001-9848-862X>

<sup>4</sup> Comisionado Estatal de Salud Mental y Adicciones de Colima, Colima, México, 28000.

<sup>5</sup> Profesora e Investigadora del Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS) de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, 44340. <https://orcid.org/0000-0002-2260-3385>

de los países que la conforman (9.2%); esto explica porque México tiene 1 cama por 1000 habitantes, equiparado con Japón que tiene 12 a 13 camas; 2.4 médicos y 2.9 enfermeros, respecto a Grecia con 6.2 médicos y 18 enfermeros por 1000 habitantes en Suiza. En tiempos de COVID-19, México tuvo más retos de salud, de los que ya tenía.

La salud mental es el componente más importante del bienestar de una persona. Además, es un derecho humano y deben realizarse acciones que permitan tener mayor cobertura para este rubro de la salud. Se ha documentado desde hace décadas a la tecnología como una herramienta para el acceso a la atención en salud; pero con la pandemia del COVID-19 el uso de la telemedicina aumentó, esto pudo ser posible por el diseño de plataformas digitales que proporcionaron a la población atención a distancia. Los esfuerzos para incorporar la tecnología en salud deben realizarse desde la intersectorialidad y los derechos humanos, con el fin de comprender los vínculos y la interacción que existen entre diferentes sectores y las políticas públicas de México.

La salud digital inclusiva es una prioridad en los entornos con profundas desigualdades sociales, para comenzar en la transformación digital se requiere acelerar el progreso, con esto no solo se llegaría a las poblaciones en condiciones de mayor vulnerabilidad social, económica, geográfica o cultural, sino también a personas y grupos de población que no están digitalmente alfabetizados (OPS, 2021a).

Los jóvenes son una población vulnerable que presenta diversos factores de riesgo, esta población encabeza las tasas de suicidio y los problemas de salud mental. En 2017, la tasa de suicidio fue de 5.3 por cada 100 mil habitantes (6,494) en México; para 2022, de 6.3 (8 123). Esto equivale a 1,629 suicidios más en 2022, con respecto a los ocurridos en 2017. El 16.3 % de las mujeres de 18 y más años declaró sentirse con depresión casi todos los días de la semana, en contraste con el 9.1 % de los hombres que reportó esta condición. De las personas que no cuentan con redes de apoyo, el 25.8 % se sintió con depresión más de la mitad de la semana anterior a la encuesta, a diferencia de quienes cuentan con apoyo (INEGI, 2023).

Es necesario pensar en la transformación digital de los servicios de salud como un cambio paulatino y con propuestas de desarrollo tecnológico adaptado a las necesidades y cobertura del país. Las plataformas digitales para la atención de la salud mental pueden albergar las prácticas de tele-

medicina de manera eficiente, reduciendo los costos y la brecha de acceso a los servicios. *Mentalízate al 100* es una propuesta de plataforma digital dirigida a jóvenes para la prevención y atención de la salud mental que puede ser interoperable con los observatorios de salud mental y adicciones del sector público de México.

## DESARROLLO

La *World Federation for Mental Health* (2024) encontró que cerca de 1000 millones de personas en todo el mundo viven con un trastorno mental y pocas personas en todo el mundo tienen acceso a atención de salud mental de calidad. Este organismo reportó que, el 60% de la población mundial está trabajando y esta situación puede conllevar riesgos en la salud mental, si no se combate el estigma y la discriminación social. La población más vulnerable es la juvenil ya que presentan factores de riesgo que contribuyen a la aparición de la depresión, la ansiedad, el estrés, el suicidio, las adicciones y los problemas de conducta.

Más de 720,000 personas se suicidan en el mundo; el suicidio es la tercera causa de muerte en jóvenes de 19 a 29 años, convirtiéndose en un problema de salud pública. Las razones por las que los jóvenes se suicidan son diversas, entre las que se encuentran los factores sociales, culturales, biológicos y psicológicos; sin embargo, aún no se conocen con exactitud las razones específicas (OMSa, 2024). La combinación de depresión, el manejo inapropiado del estrés, la violencia, los conflictos, los problemas económicos, entre otros, son factores que dañan profundamente la salud mental de esta población.

Los costos del suicidio son altos, en el estudio de Medina *et al.* (2018), se encontró en una muestra de 248 pacientes de hospitales públicos de Colombia, que se gastan en una persona que tiene múltiples intentos cerca de \$5, 641 dólares estadounidenses (USD). Además, dicho costo aumenta conforme al diagnóstico de enfermedad mental, el método de intento y la necesidad de servicios especializados. En cuanto al costo de incapacidad por ansiedad y depresión, cuesta \$1 trillón de dólares anuales a nivel mundial (OMSa, 2024).

La atención de la salud mental es imperiosa, pero las brechas de acceso a los servicios de salud son profundas; la tecnología es una alternativa

para la digitalización de la salud, lo cual permite una atención integral y equitativa. El Banco Mundial (World Bank, por sus siglas en inglés, 2018) cree que se puede reducir la brecha de acceso a los servicios de salud al aumentar la inversión en salud (90 dólares por persona), mejorar la calidad de la atención y sobre todo adoptar un proceso de innovación en salud mucho más integral, basado en la digitalización de la atención y la incorporación de las TICs. Al respecto la directora de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2021b), la doctora Carissa F. Etienne, señala: “Se debe dar una nueva mirada a la salud pública, mucho más holística e inclusiva, que considere nuevos factores críticos para el éxito de intervenciones, como la conectividad, el ancho de banda, la interoperabilidad y la inteligencia artificial. Este enfoque renovado también debe considerar las desigualdades en la era digital para garantizar que la brecha digital no amplíe las brechas en las desigualdades”.

Las tecnologías sanitarias son un camino para la innovación, dichas tecnologías son definidas como la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos estructurados en forma de dispositivos, medicamentos, vacunas, procedimientos y sistemas elaborados para resolver problemas sanitarios y mejorar la calidad de vida (OMS, 2012). Las tecnologías sanitarias comprenden la tecnología médica, que de acuerdo con la *Office of Technology Assessment* (OTA) de los Estados Unidos de Norteamérica se asocia al concepto de intervención médica. Según la OTA, conforman la tecnología médica: los medicamentos, los aparatos, los procedimientos médicos y quirúrgicos utilizados en la atención médica y los sistemas organizativos con los que se presta la atención sanitaria, pero también la propia práctica clínica y el modo en que esta se organiza.

La incorporación de la tecnología al ámbito de salud surgió desde hace décadas, la OTA (2020) tiene publicado en sus revistas, la innovación en salud respecto al uso de laparoscopia e imagen médica para la detección y tratamiento oportuno de enfermedades coronarias, cáncer, enfermedades renales. Ciertamente con los avances tecnológicos, en la actualidad las regulaciones se centran en los nuevos paradigmas en tecnología como lo es la *IA, Bigdata, Blockchain, el internet de las cosas médicas (IoMT)*, entre otros (OMSb, 2024).

Sin duda que la tecnología requiere ser incorporada en el proceso de la innovación en salud para realizar una transformación digital y, lo vivimos

en la pandemia del COVID-19. En este periodo el uso de la tecnología aumentó y la salud digital tomó realce (García *et al.*, 2022). La incorporación de la tecnología como coadyuvantes en promoción y atención de la salud propuesta por OMS (2021) se basa en incorporar la salud digital, la cual incluye el uso de las tecnologías digitales, móviles e inalámbricas como la telemedicina -el aporte de servicios de salud usando nuevas tecnologías de la comunicación (Prados, 2013)-. La telemedicina engloba *e-Health*, la cual está situada en una intersección entre la informática médica y la salud pública, así como, la salud móvil, llamada *m-Health*, esta última es una variante de la telemedicina que usa los dispositivos móviles para la interacción directa con otros profesionales de la salud (Nylenña, 2015). Todas estas tecnologías permiten la educación, el diagnóstico, el tratamiento y el monitoreo de variables tanto fisiológicas como psicológicas (Bashshur *et al.*, 2011); la disminución de los costos y el incremento en el acceso a la atención de la salud (Hare *et al.*, 2020; Londoño, Castaño y Ruíz, 2020).

Con la post pandemia, la tecnología aplicada a la salud se desaceleró, no así las mediaciones y acuerdos entre la OMS, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) y la Organización Mundial del Comercio para el trabajo colaborativo en la expansión de la tecnología en salud pública. Sus reuniones anuales versan respecto a los temas de innovación médica y cambios en los modelos de actividad; innovación y acceso a las tecnologías médicas; tecnología innovadora para promover la vida sana y el bienestar y tecnologías sanitarias de vanguardia (Organización mundial del Comercio [OMC], OMPI y OMS, 2013), estas tres últimas temáticas fueron abordadas del 2011 al 2019.

Sin duda que la salud digital apalanca la transformación digital en salud por su innegable capacidad de cobertura y sistematización de la práctica clínica. Se entiende por transformación digital al proceso mediante el cual una organización integra nueva tecnología a todas las áreas de una institución con el fin de cambiar por completo la forma en que una organización ofrece valor a los clientes y sus necesidades (Fitzgerald *et al.*, 2013).

De acuerdo con OPS (2021b) la forma de garantizar un proceso de transformación digital en el sistema de salud es mediante un proyecto transversal que permita articular las distintas vertientes de gobernanza y optimizar la planificación estratégica y la gestión de los recursos, así como contemplar ocho principios centrados en: 1) Conectividad univer-

sal, 2) Bienes digitales, 3) Salud digital inclusiva, 4) Interoperabilidad, 5) Derechos humanos, 6) Inteligencia artificial, 7) Seguridad de la información y 8) Arquitectura de la salud pública.

**Figura 1. Ocho principios en la transformación digital**



Nota. Esta imagen fue tomada de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2021). <https://www.paho.org/es/sistemas-informacion-salud-digital/8-principios-para-transformacion-digital-sector-salud>

Además de estos ocho principios, la transformación digital en salud también debe contemplar un modelo de negocios sólido para la atención en salud y un enfoque innovador en el que se considere los siguientes aspectos (Glaser, & Shaw, 2022):

- estudiar los factores que producen éxito y el fracaso cuando se propone una transformación digital;
- realizar estudios experimentales o pilotos para asegurarse el éxito empleando un modelo de grupos focales para obtener retroalimentación de los usuarios,
- establecer una visión, unos objetivos estratégicos y un marco de acción para incorporar de manera sostenible, en los diferentes niveles político-administrativos, los bienes de salud pública;
- realizar una transformación digital que garantice la interoperabilidad entre las diferentes plataformas de salud, es decir, el acceso oportuno de datos, a través de la gestión y gobernanza de los sistemas de información;

- e. diversificar las estrategias y usar tecnología sofisticada como la *IA*, el *Internet de las IoMT, Machine Learning, Blockchain*, experiencias inmersivas y de realidad virtual con los usuarios, entre otras;
- f. desarrollar una cultura digital en la institución que comienza con la alfabetización digital y un cambio de creencias para evitar prejuicios sobre la transformación digital.

Es importante destacar que realizar una transformación digital no es un proceso sencillo, la tasa de éxito de estos esfuerzos es consistentemente baja, es decir, menos del 30% tienen éxito (Jean-François, 2018), porque existen diversos factores que influyen en el proceso de transformación digital en salud entre los que destacan:

- a. usar estrategias comerciales defectuosas;
- b. hacer estrategias de transformación digital muy básicas, lentas e inmaduras;
- c. realizar factores de competencia bajos con expectativas poco razonables acerca de los objetivos de la transformación digital;
- d. no tomar en cuenta la experiencia del usuario;
- e. hacer uso de recurso financiero desalineado con los objetivos;
- f. no tener políticas de regulación de los procesos de salud y el manejo de datos.

Un ejemplo de éxito en transformación digital en salud es el caso de Turquía, en el que se rescata la transformación de la cultura digital, se asume un buen liderazgo y un modelo de negocios sólido. Para el 2012, el ministerio de salud turco realizó una inversión, junto con la industria privada de \$816 millones de dólares para realizar seis proyectos de transformación digital, la cual promovió la mejora de la salud, la satisfacción del usuario, mejoras en la atención en salud y la protección financiera (World Bank Group, 2023).

Con la transformación digital en salud el uso de las plataformas tecnológicas es una vía de cambio en el suministro de servicios de salud porque son ciberespacios de aprendizaje, de albergar pruebas diagnósticas y procesos de abordaje integral por mediación (Blake, Birmingham, Johnson & Tabner). Portnoy, Waller y Elliott (2020) durante la pandemia re-

portó nueve plataformas de telemedicina para la atención en salud de los pacientes y la continuidad del tratamiento desde la distancia, sin el riesgo de contagio, entre las que se encontraban:

1. *American Telemedicine Association COVID-19 resources* <https://info.americantelemed.org/covid-19-news-resources>,
2. *ACAAI guidelines to support telemedicine as an effective tool for allergists* (<https://acaaai.org/news/guidelines-support-telemedicine-effective-tool-allergists>),
3. *ACAAI COVID-19 and asthma, allergy, and immune deficiency patients* (<https://college.acaaai.org/acaaai-statement-covid-19-and-asthma-allergy-andimmune-deficiency-patients-3-12-20>),
4. *AAAAI resources for A/I clinicians during the COVID-19 pandemic* <https://education.aaaai.org/resources-for-a-i-clinicians/covid-19>),
5. *AAAAI telemedicine learning resources* (<https://www.aaaai.org/practice-resources/running-your-practice/practice-managementresources/telemedicine>),
6. *Medicare, Coronavirus, and telehealth* (<https://www.medicare.gov/medicare-coronavirus>),
7. *Medicare, Medicaid frequently asked questions* (<https://www.cms.gov/files/document/medicare-telehealth-frequently-asked-questionsfaqs-31720.pdf>)
8. *CDC COVID-19 resources* (<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>) y
9. *CMS COVID-19 partner toolkit* (<https://www.cms.gov/outreach-education/partner-resources/coronavirus-covid-19-partner-toolkit>).

En la actualidad existen plataformas digitales para la atención de la salud mental, un ejemplo de esto es la página de *Brief encounters* (<https://www.brief-encounters.org/introduction/>), la cual es un esfuerzo del *Cambridge Hospital University*, en la que se encuentran diferentes recursos para las personas con afecciones mentales. Otro ejemplo, es el de la página *The British Psychological Society* (<https://www.bps.org.uk/find-psychologist>), en la cual se encuentran repositorios de artículos, podcast, videos y otros materiales para la atención de la salud, así como

test para la evaluación de la salud mental y directorios de atención psicológica. Para la atención de la salud mental de niños se encuentra *Boston Children's Digital Wellness Lab* (<https://digitalwellnesslab.org/cimaid/>), el cual alberga recursos digitales para la orientación de la salud de los niños.

En cuanto a la digitalización de la atención de la salud mental nacional, se encuentra el proyecto de *la línea de la vida* (<https://www.gob.mx/lineadelavida>), del gobierno de México, el cual consiste en una página con material de consulta, videos, artículos, guías, test de cribado para el diagnóstico preciso del riesgo suicida y una línea telefónica en la que se da atención gratuita los 360 días del año y las 24 horas del día, para cualquier persona que se encuentre en crisis o requiera atención de la salud mental. Otro esfuerzo, es el realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México con el programa *UNAM-Salud Mental* (<https://saludmental.unam.mx/>), en el que se proporciona atención gratuita de la salud mental vía telefónica en un horario preestablecido, existen más iniciativas de digitalización de la salud mental en el país como son los *observatorios de la salud mental de la Comisión de Salud Mental y Adicciones* (<https://www.gob.mx/conasama/articulos/observatorio-mexicano-de-salud-mental-y-adicciones>) de los diferentes estados del país, los cuales albergan test, información, censos y atenciones especializadas para la salud mental. Todas las plataformas de atención de la salud mental públicas podrían ser interoperables con otras instituciones y aplicaciones para otorgar una atención en salud mucho más rápida.

Dentro de las plataformas digitales también pueden albergar aplicaciones digitales. Las aplicaciones entran en la categoría de *software dispositivo médico*. Según estudios realizados, existen en *App Store de Apple* o en la *Play Store de Google* cerca de 20,000 aplicaciones de salud mental en el mercado, pero solo cinco de ellas cuentan con la aprobación de la *Food Drugs Administration* (FDA). Una de estas aplicaciones forma parte del primer antecedente recetado de terapia digital, el cual sucedió en el 2017, con la aplicación *reSET* de la empresa *Pear Therapeutics* (Agarwal *et al.* 2022). Esta aplicación trabaja con el enfoque Cognitivo-Conductual para el manejo de adicciones y se receta a la par del tratamiento farmacológico (Weir, 2018). Otros ejemplos de aplicaciones para la atención de la salud mental basadas en la terapia Cognitivo-conductual se encuentran en *Mindshift* una App para la ansiedad, *Mindspa* para el manejo emocional,

*Take a break* para meditación, *MoodTools* para el manejo de la depresión, *Headspace* para el manejo de insomnio y meditación, entre otras (Larrea, 2021).

Sin duda que existen muchas áreas de oportunidad para la regulación de las aplicaciones digitales, pero con las debidas regulaciones podrían garantizar una atención rápida para los problemas de salud mental de las personas. Las líneas de acción para la digitalización de la salud mental deben ir en torno a la regulación de los esfuerzos tecnológicos que se realizan en el país, la digitalización en salud basada en evidencia científica, pero también en la incentivación del sector público a realizar propuestas digitales para los usuarios de los servicios de salud.

## METODOLOGÍA

En este documento se propone abatir la brecha de acceso a la atención de la salud mental de los jóvenes y el tiempo en lista de espera para consultas públicas, a través de una plataforma digital: *Mentalizate al 100*. *Mentalizate al 100* es una propuesta que se centra en la telemedicina, la teleconsulta, el trabajo cooperativo, la telepresencia, la telemonitorización y la teleasistencia. Con la incorporación de la tecnología a los servicios de salud mental se contribuirá a la accesibilidad, el diagnóstico oportuno, la eficacia de las intervenciones, la sistematización de los datos y la reducción del tiempo de intervención (Hilty *et al.*, 2013; Van Allen *et al.*, 2011). La telemedicina aplicada a la atención de la salud mental en jóvenes universitarios permitirá mejorar la calidad de la atención del servicio de salud, disminuir el tiempo de traslado y mejorar la interacción directa con otros profesionales de la salud (Jamtvedt *et al.*, 2015; Badawy & Radovic, 2020). Además, *Mentalizate al 100* permitirá la educación en salud mental y mejorar la calidad de la atención del servicio de salud, disminuir el estrés al pedir ayuda a profesionales de la salud, crear un espacio en el que se reduzca el estigma social, por ser un espacio incluyente, con principios de bioética, de ciberseguridad y escalabilidad. Cabe mencionar que el proyecto *Mentalizate al 100*.

La plataforma tecnológica digital será construida con el método *centrado en el usuario*. La especificación y definición de la metodología de desarrollo de la plataforma se basa en el proyecto Scrum porque fomenta

la transparencia, la inspección y la adaptación, esto reduce el nivel de dificultad y mejora el resultado final de los sistemas a desarrollar, al dividir el proyecto a los que se les llama iteraciones, esto nos permite tener mejor claridad en los objetivos, estar conscientes del progreso del proyecto, mayor flexibilidad conforme a cambios por lo cual también es muy tolerante a los imprevistos, nos permite predecir la media de tiempo con el que se está llevando el progreso y a su vez es muy fácil de implementar. Esto en conjunto, con un correcto seguimiento del ciclo de vida de *software*, genera un producto de calidad en un menor tiempo. Para el proceso de evaluación de los usuarios se considerarán los cuestionarios de salud mental que miden depresión, ansiedad, riesgo suicida, afrontamiento.

### *Depresión*

Puntaje obtenido en el Patient Health Questionnaire (PHQ-9) (Kroenke, Spitzer, & Williams, 2001). Evalúa la gravedad de los síntomas de depresión y la probable presencia de trastorno depresivo mayor, a través de una escala de respuesta tipo Likert de 0 (nunca) a 4 (casi todos los días). Establece 5 categorías con sugerencias de tratamiento: Ninguna (0-4 puntos, ningún tratamiento) Leve (5-9 puntos, Monitoreo), Moderada (10-14 puntos, Considerar TCC), Moderada-severa (15-19 puntos, Inicio inmediato de TCC y considerar farmacoterapia) y Severa (20-27 puntos, Inicio inmediato de farmacoterapia y TCC). Validado en población mexicana con consistencia interna de 0.86 y varianza explicada de 47% (Mendoza-Contretas *et al.*, 2020; Kroenke , Spitzer, & Williams, 2001).

### *Ansiedad*

Puntaje obtenido en el Generalized Anxiety Disorder (GAD-7) (Spitzer, Kroenke, Williams, & Löwe, 2006). Evalúa la gravedad de los síntomas de ansiedad y la probable presencia de trastorno de ansiedad generalizada, a través de una escala de respuesta tipo Likert de 0 (nunca) a 4 (casi todos los días). Establece 4 categorías con sugerencias de tratamiento: Ninguna (0-5 puntos, ningún tratamiento), Leve (6-10 puntos, Monitoreo), Moderada (11-15 puntos, Considerar TCC), y Severa (16-21 puntos, Inicio inmediato de farmacoterapia y TCC). Validado en población mexicana con consistencia interna de 0.88 y varianza explicada de 57.72% (Mendoza-Contretas *et al.*, 2020).

### *Afrontamiento*

Puntaje obtenido de la adaptación de la e. Cuenta de 26 reactivos en escala tipo Likert de 1(nunca) a 5 (siempre) que se agruparon en dos factores: afrontamiento activo (17.71% de varianza explicada y  $\alpha=0.77$ ) y afrontamiento pasivo (13.93% de varianza explicada y  $\alpha=0.83$ ), la varianza explicada total es de 31.65%, con un alfa de 0.81. La validación se encuentra en prensa (Rosas-Santiago & Marván, s.f.).

### *Riesgo suicida*

ASQ Modoris es una herramienta de tamizaje que permite realizar una evaluación rápida y sencilla para personas con riesgo suicida. Tiene 5 preguntas que se relacionan con: 1) condición de riesgo leve, que implica sentimientos de desesperanza, o ideas en torno a la muerte (pensamientos o fantasías de muerte poco frecuentes durante los últimos días). Sin planes o preparativos para hacerse daño ni intentos de suicidio previos o autolesiones sin la intención de terminar con su vida en el último; 2) condición de riesgo medio, la cual implica sentimientos de desesperanza o manifiesta ideación suicida (ideas y deseos de muerte constantes) durante el último mes, pero sin preparativos o presenta autolesiones en los últimos 12 meses sin intención de acabar con su vida; 3) condición de riesgo alto, que implica durante el último mes: ideación suicida (ideas y deseos de muerte, frecuentes e intensos) con planes y preparativos de cómo acabar con su vida. Desesperanza crónica y autolesiones (heridas autoinfligidas) severas o algún intento de suicidio en los últimos 12 meses; y 4) condición de riesgo inminente, en la cual la persona ha realizado una autolesión severa o grave con intención de morir que requiere un tratamiento médico urgente sea de alta o baja letalidad, si se evita el intento de suicidio o si encuentra con alta intencionalidad y planeación estructurada. Sus puntos de corte clínicos para riesgo suicida son: riesgo bajo si responde "sí" a la 1 y 2 y al resto "No"; 1er orden de riesgo de suicidio si responde "sí" de la 1 a la 3 y "no" a la 4 y 5, corresponde a riesgo moderado; 2do orden de riesgo de suicidio si responde "sí" de la 1 a la 4, es riesgo alto; 3er orden de riesgo si responde "sí" de la 1 a la 5 es riesgo inminente. 4to orden de riesgo Si responde "Sí" a las preguntas 1, 2, 3 y 5 es riesgo inminente, sin antecedentes de intentos suicidio.

## PLATAFORMA DIGITAL MENTALÍZATE AL 100

Esta propuesta es un paquete de técnicas cognitivo-conductuales, terapia breve y terapia en crisis a través de la mediación de una plataforma tecnológica digital. La atención psicoterapéutica puede ser sincrónica o asincrónica. La plataforma es: psicoeducativa, innocua, confidencial, amigable, que sistematiza las intervenciones psicoterapéuticas sincrónicas y asincrónicas, disminuye el tiempo de intervención, sistematice los datos, optimice los recursos y la cobertura. Además, esta plataforma puede contener materiales como videos, podcast, imágenes (véase la tabla 1).

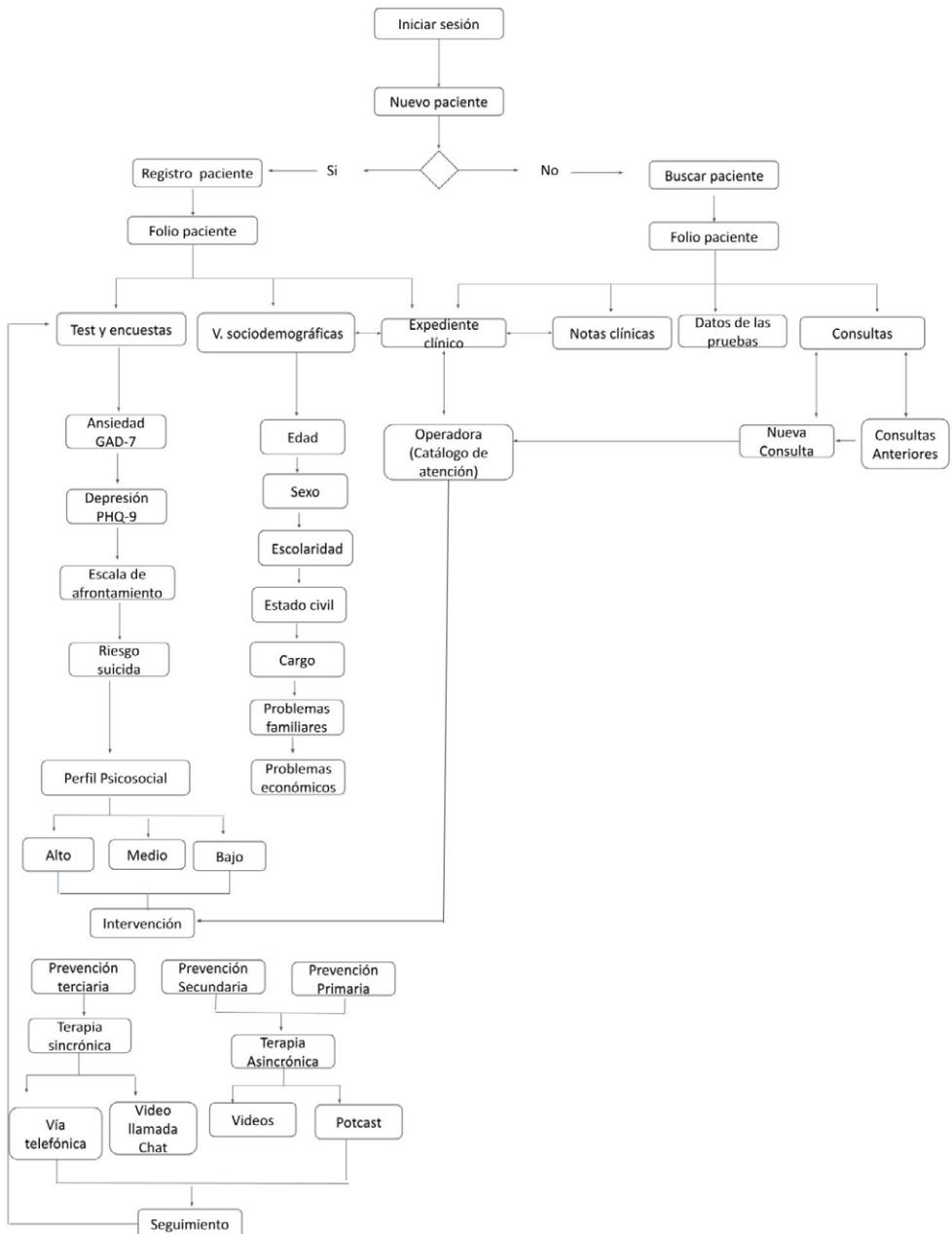
**Tabla 1. Esquema del contenido de la plataforma tecnológica digital**

<i>Creación de perfil</i>	Variables sociodemográficas: Sexo, edad, estrato social, ocupación, problemas económicos y familiares
<i>Psicoeducación</i>	Índices de ansiedad, depresión, miedo al contagio y afrontamiento: Alto, medio y bajo.
	Impacto fisiológico. Información básica para la comprensión del impacto del estrés y la depresión en el organismo.
	Impacto psicológico. Información básica para la comprensión del impacto del estrés y la depresión en el organismo.
	Técnicas de relajación: Respiración diafragmática, mindfulness.
	Biofeedback.
<i>Soporte psicológico Asincrónico (videos y podcast)</i>	Manejo de emociones: técnicas de manejo de la ansiedad, regulación y escritura emocionales.
	Comunicación: comunicación asertiva, manejo de información de los medios.
	Cuidados personales: Higiene del sueño, manejo de la fatiga y del tiempo.
<i>Soporte psicológico sincrónico a través de línea telefónica, video-llamada o chat</i>	Terapia breve y manejo de crisis.
<i>Seguimiento</i>	Llenado de instrumentos. Selección de grupo focal para: cuestionarios de usabilidad y narrativas de la experiencia.
<i>Recursos adicionales</i>	Teléfonos de emergencia, manuales de la OPS, Guía de los trastornos mentales de la OPS, links de diversos programas de atención de COVID.

Se iniciará el uso de la plataforma con un consentimiento informado por escrito, se les realizará un diagnóstico psicosocial automatizado y estandarizado a través de la evaluación de variables sociodemográficas (edad, género, escolaridad, estado civil, puesto, religión, problemas familiares y económicos), e indicadores de ansiedad, depresión, afrontamiento, riesgo suicida. Con base a los resultados de su diagnóstico psicosocial se elaborará, de manera automática en la plataforma, un perfil que lo direccionalará a la atención que requiera: prevención primaria, prevención secundaria o prevención terciaria. Se llevará a cabo la intervención psicoterapéutica con los participantes, en la atención primaria y secundaria la intervención psicoterapéutica será asincrónica a través de la incorporación de videos y podcast que sistematizan las técnicas de abordaje y que les permitan a los usuarios desarrollar los ejercicios de relajación, respiración diafragmática, regulación emocional y *Biofeedback* en el tiempo que tengan disponible. Y en la atención terciaria la intervención se realizará de manera sincrónica, es decir, los usuarios serán canalizados a través de la plataforma a una línea telefónica, de las instituciones participantes, en la cual lo atenderá un psicólogo para la atención en terapia breve o terapia en crisis; los resultados de esta intervención serán incorporados a la plataforma.

Después de la intervención el usuario deberá realizar una segunda evaluación para obtener el impacto de la intervención psicoterapéutica y se llenará un cuestionario de usabilidad y satisfacción del usuario, todos estos datos serán guardados en una base que sistematizará la plataforma. Posterior a la intervención se hará el seguimiento a los usuarios (ver figura 2).

Figura 2. Diagrama de Mentalízate al 100



## EVALUACIÓN EX ANTE

Para proponer la plataforma de *Mentalizate al 100*, se realizó un análisis del contexto de la salud mental en el estado de Colima y en todo el país, se consultaron las plataformas de atención en línea de México como la “La línea de la vida” (<https://www.gob.mx/salud/conadic/acciones-y-programas/centro-de-atencion-ciudadana-contra-las-adicciones-134381>) el observatorio de Salud Mental y Adicciones de la SSA (<https://www.gob.mx/salud/conadic/acciones-y-programas/observatorio-mexicano-de-drogas-omd>) el observatorio estatal (<https://observatoriocolima.gob.mx/>), con la finalidad de conocer la atención en línea que proporcionan las instituciones. Debido a este análisis y la metodología de la telesalud se llegó a la conclusión de que la plataforma de *Mentalizate al 100* debía cumplir con los siguientes requerimientos:

1. Permitir al usuario crear una cuenta.
2. Proporcionar atención las 24 horas del día en línea a través de atención asincrónica, (por medio de videos e información) con base a los parámetros de la psicoeducación y la atención sincrónica en diversos niveles: secundario y terciario, por medio de la canalización a líneas telefónicas de las diversas instancias públicas dedicadas a la atención en salud mental.
3. Realizar evaluación de estudio socioeconómico y datos pertinentes para realizar un tamizaje adecuado a la etapa en la que se encuentre.
4. Realizar evaluaciones psicológicas por medio de pruebas de tamizaje como el PHQ-9 (escala de depresión), GAD 7 (Escala para el Trastorno de Ansiedad Generalizada), ASQ Modoris de riesgo suicida (modelo para el riesgo suicida que estructura tres áreas en el sistema de salud: ámbitos de detección; clasificación del nivel de riesgo; acciones de valoración, manejo, intervención y referencia previamente establecidas y reguladas ([https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/757444/ASQ\\_MODORIS\\_Pagina.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/757444/ASQ_MODORIS_Pagina.pdf)).
5. Proporcionar el tipo de atención en salud mental adecuada con base al diagnóstico, nivel socioeconómico, los niveles de depresión, ansiedad y riesgo de suicida con la finalidad de que se encuentre disponible las 24 horas, los 365 días del año, de manera gratuita.

6. Interconectar las plataformas del observatorio de la Comisión Estatal de Salud Mental y Adicciones y mantener una comunicación con los sistemas de salud para atender de manera oportuna la salud mental de los jóvenes y contribuir en el tamizaje del riesgo suicida y otras problemáticas.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La transformación digital en salud mental es imperiosa porque ayudará a reducir la brecha de acceso a los servicios de salud mental y hará más equitativa la atención entre los diversos sectores sociales. Para la transformación se requiere un cambio en la alfabetización digital, en la cultura de la atención en salud, en la ciberseguridad y protección de datos, así como, un cambio en las políticas públicas de la atención de la salud digital que se encuentre sostenido en la intersectorialidad y la multidisciplinariedad. La salud digital, entonces, es una posibilidad de medicina conductual para las personas que se les dificulta acceder a los servicios de salud mental de manera regular.

Los beneficios de *Mentalizate al 100* es que se encuentra alineada a los objetivos del *código 100* del sector salud y con esta plataforma podrán realizarse diagnósticos en centros de salud o escuelas y realizar una atención oportuna en el cuidado de la salud mental de los jóvenes. Su éxito dependerá de diversos factores, entre los que destacan: el cambio en las políticas públicas, el cambio en la cultura de las instituciones (cambio de creencias y costumbres) y de las instancias públicas, así como, de la interoperabilidad con diversas plataformas tecnológicas de los hospitales y escuelas del país.

El modelo centrado en el usuario para la transformación digital en salud es la clave para el cambio, así como, la incorporación progresiva de los nuevos paradigmas tecnológicos, como lo es *IA*, *el IoMT*, *Machine Learning*, *blockchain*, experiencias inmersivas y de realidad virtual con los usuarios serán fundamentales en la construcción de la plataforma digital de *Mentalizate al 100*. Es importante señalar que toda transformación digital en salud debe regirse por principios y fundamentos éticos de la inclusión, los derechos humanos, la transparencia, la sostenibilidad, la ciberseguridad y la atención en salud basada en evidencia

científica, lo cual obliga a una reconfiguración de las políticas públicas actuales.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, S., Jalan, M., Wilcox, H.C. *et al.* (2022). Evaluation of Mental Health Mobile Applications [Internet]. *National Library of Medicine*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK580942/>
- Bashshur, R., Shannon, G., Krupinski, E., & Grigsby, J. (2011). The taxonomy of telemedicine. *Telemedicine Journal and E-health*, 17(6):484-94. 10.1089/tmj.2011.0103
- Blake, H., Birmingham, F., Johnson, G., & Tabner, A. (2020). Mitigating the Psychological Impact of COVID-19 on Healthcare Workers: A Digital Learning Package. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10.3390/ijerph17092997
- Fitzgerald, M., Kruschwits, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2013). Embracing digital technology. <https://emergencyweb.com/blog/wp-content/uploads/2013/10/embracing-digital-technology.pdf>
- García, S., Martí, M.C., Mejía, F., Pascha, V.M., Nelson, J., Tejerina, L., Bagolle, A. y D'Agostino, M. (2022). La transformación digital para una salud pública más equitativa y sostenible en la era de la interdependencia digital. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.1>
- Glaser, & Shaw. (2022). Digital transformation success: What can health-care providers learn from other industries? *NEJM Catalyst*. <https://catalyst.nejm.org/doi/full/10.1056/CAT.21.0434> Links to an external site.
- Hare, N., Bansal, P., Bajowala, S. S., Abramson, S. L., Chervinskiy, S., Corriel, R., Hauswirth, D. W., Kakumanu, S., Mehta, R., Rashid, Q., Rupp, M. R., Jennifer Shih, J., & Mosnaim, G. S. (2020). COVID-19:

- Unmasking Telemedicine. *American Academy of Allergy, Asthma & Immunology*. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2020.06.038>
- Henley, M. (2021). Learning from digital transformation failures. Reworked. <https://www.reworked.co/leadership/learning-from-digital-transformation-failures/Links> to an external site.
- Hilty, D.M., Ferrer, D.C., Parish, M.B., Johnston, B., Callahan, E.J., & Yellowlees, P.M. (2013). The effectiveness of telemental health: a 2013 review. *Telemedicine Journal and E-health*, 19(6):444-54. doi: 10.1089/tmj.2013.0075.
- INEGI (2023). Día Mundial para la prevención del suicidio. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2023/EAP\\_Suicidio23.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2023/EAP_Suicidio23.pdf)
- Jamtvedt, G., Klemp, M., Mørland, B., & Nylenne, M. (2015). Responsibility and accountability for well informed health-care decisions: a global challenge. *Lancet*, 22, 386(9995). [10.1016/S0140-6736\(15\)60855-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60855-8)
- Jean-François, M. (2018). Unlocking success in digital transformations. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/business-functions/people-and-organizational-performance/our-insights/unlocking-success-in-digital-transformationLinks> to an external site
- Kroenke, K., Spitzer, R. L., & Williams, J. B. W. (2001). The PHQ-9: Validity of a brief depression severity measure. *Journal of General Internal Medicine*, 16(9), 606-613. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1497.2001.016009606.x>
- Larrea, A. (2021). Las cinco mejores aplicaciones para salud mental. *Revista Para el Aula – IDEA*; 39. <https://www.usfq.edu.ec/sites/default/files/2021-10/pea-039-002.pdf?itok=tEofdZLAo>
- Londoño, N., Castaño, P. A., Montoya, D. y Ruiz, C. (2009). Protocolo de telemedicina para la consulta psiquiátrica. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3(5), 43-49. <http://www.scielo.org.co/pdf/rinbi/v3n5/v3n5a08.pdf>
- López-Vázquez, E. & Marván, M. L. (2004). Validación de una escala de afrontamiento frente a riesgos extremos. *Salud Pública de México*, 46(3), 216-221. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342004000300011>
- Medina, M., Velásquez, A.V., Ríbero, O.J., Trujillo, N. (2018). Costos médicos directos por intento de suicidio en pacientes del hospital mental de Antioquia, Colombia [Direct medical costs of suicide attempts by patients in Columbia's Antioquia Mental Hospital]. Costos médicos directos por tentativa de suicídio em pacientes do hospital de saúde mental

- de Antioquia, Colômbia] (2018). *Revista Panamericana de Salud Pública*, 10(42):e12. [10.26633/RPSP.2018.129](https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.129)
- Mendoza-Contretas, L., Flores-Juárez, J., Núñez-Hernández, J., Guzmán-Saldaña, R., Lerma-Talamantes, A., & Galindo-Vázquez, O. (2020). Propiedades psicométricas del Cuestionario Sobre la Salud del Paciente (PHQ-9) y de la Escala del Trastorno de Ansiedad Generalizada (GAD-7) en población general mexicana. *Servicio de Psicooncología, Instituto Nacional de Cancerología*. Documento No Publicado.
- Portnoy, J., Waller, M., & Elliott, T. (2020). Telemedicine in the Era of COVID-19. *Journal of allergy and clinical immunology*, 8(5), 1489-1491. doi: 10.1016/j.jaip.2020.03.008.
- Prados, J. A. (2013). Telemedicine, also a tool for the Family Doctor. *Atención Primaria*, 45(3), 129-132. [10.1016/j.aprim.2012.07.006](https://doi.org/10.1016/j.aprim.2012.07.006)
- OCDE (2021). Panorama de la Salud 2021. Indicadores de la OCDE. <https://www.oecd.org/health/Panorama-de-la-Salud-2021-OCDE.pdf>
- OMC, OMPI y OMS (2013). Promover el acceso a las tecnologías médicas y la innovación Intersecciones entre la salud pública, la propiedad intelectual y el comercio. [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/179908/9789243504872\\_spa.pdf](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/179908/9789243504872_spa.pdf)
- OMS (2012). Evaluación de tecnologías sanitarias aplicada a los dispositivos médicos. Serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos. [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44824/9789243501369\\_spa.pdf?sequence=1](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44824/9789243501369_spa.pdf?sequence=1)
- OMS (2017). Banco Mundial y OMS: La mitad del mundo carece de acceso a servicios de salud esenciales y los gastos en salud abocan aún hoy a la pobreza extrema a 100 millones de personas (2017). <https://www.who.int/es/news/item/13-12-2017-world-bank-and-who-half-the-world-lacks-access-to-essential-health-services-100-million-still-pushed-into-extreme-poverty-because-of-health-expenses>
- OMS (2021). Estrategia mundial sobre salud digital 2020–2025. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344251/9789240027572-spa.pdf>
- OMS (2024a). Suicidio. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/suicide>
- OMS (2024a). La salud mental en el trabajo. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-at-work>

- OMS (2024b). Estrategia mundial sobre salud digital 2020–2025. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344251/9789240027572-spa.pdf>
- OPS (2016). Implementación del Programa de acción mundial para superar las brechas en salud mental (mhGAP) en la Región de las Américas. Recuperado de: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/33715/OPSNMH16014-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- OPS (2020). Guía de intervención humanitaria mhGAP (GIH-mhGAP). Recuperado de: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/28418/9789275319017\\_spa.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/28418/9789275319017_spa.pdf?sequence=6&isAllowed=y)
- OPS (2021a). Herramienta de evaluación rápida para la recopilación de datos críticos. Caja de herramientas: transformación digital. [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/53740/OPSEIHISCOVID-19210008\\_spa.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/53740/OPSEIHISCOVID-19210008_spa.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- OPS (2021b). 8 principios para la transformación digital del sector salud. <https://www.paho.org/es/sistemas-informacion-salud-digital/8-principios-para-transformacion-digital-sector-salud>
- OPS (2024). Día Mundial de la Salud 2024 - "Mi salud, mi derecho". <https://www.paho.org/es/campanas/dms-2024>
- OTA (2020). The Office of Technology Assessment: History, Authorities, Issues, and Options. <https://sgp.fas.org/crs/misc/R46327.pdf>
- Prados, J. A. (2012). Telemedicina, una herramienta también para el médico de familia. *Atención primaria*, 45(3). 10.1016/j.aprim.2012.07.006
- Radovic, A., & Badawy, S.M. (2020). Technology Use for Adolescent Health and Wellness. *Pediatrics*, 145(2):S186-S194. 10.1542/peds.2019-2056G
- Spitzer, R. L., Kroenke, K., Williams, J. B. W., & Löwe, B. (2006). A Brief Measure for Assessing Generalized Anxiety Disorder: The GAD-7. *Archives of Internal Medicine*, 166(10), 1092. <https://doi.org/10.1001/archinte.166.10.1092>
- Van Allen, J., McGrath, A., Lassen, S. (2013). The Use of Telemedicine in Pediatric Psychology: Research Review and Current Applications. *Child & Adolescents Psychiatric Clinics*, 20 (1).
- Weir, C. (2018). El ascenso de las terapias digitales. <https://www.apa.org/monitor/2018/11/cover-digital-therapie>
- World Bank (2018). 3<sup>rd</sup> Annual UHC Financing Forum. Greater Equity for Better Health and Financial Protection <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/330861541427342391-0090022018/original/Backgroundpaper.pdf>

World Bank Group (2018). La falta de servicios de salud representa un desperdicio en materia de capital humano: cinco maneras para lograr una cobertura sanitaria universal. <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/12/07/lack-of-health-care-is-a-waste-of-human-capital-5-ways-to-achieve-universal-health-coverage-by-2030>

World Bank Group (2023). Turkey: Transforming Health Care for All <https://www.worldbank.org/en/about/partners/brief/turkey-transforming-health-care-for-all>

World Federation for Mental Health (2024). It is time to prioritise mental health in the workplace World Mental Health Day 10 October 2024. <https://wmhdofficial.com/wp-content/uploads/wmhd2024-toolkit.pdf>

# La utilidad de la tecnología a bajo costo para el tratamiento psicofisiológico de Lupus. Un caso de estudio

*Ana Laura Orozco Pérez<sup>1</sup>*

*Gerardo Leija Alva<sup>2</sup>*

*David Alberto Rodríguez Medina<sup>3</sup>*

## INTRODUCCIÓN

El Lupus Eritematoso Sistémico (LES) es una enfermedad crónica no transmisible, autoinmune y multisistémica. Esta es considerada una enfermedad inflamatoria crónica, es el resultado de la combinación de factores genéticos, ambientales y hormonales. Se caracteriza por una alteración del sistema inmune innato y adaptativo. El sistema inmune innato es el primero que se activa ante una amenaza, permite controlar la mayor parte de los agentes patógenos que llegan al organismo, está compuesto de componentes celulares y moleculares: dentro de los componentes celulares que lo conforman están los granulocitos, monocitos, macrófagos, células dendríticas y células tóxicas (*natural killer*) mientras que los componentes moleculares están representados principalmente por el complemento, las citocinas y proteínas de fase aguda. Por su parte el sistema inmune adaptativo es el encargado de proporcionar al organismo una respuesta específica frente a cada agente infeccioso, y se caracteriza por presentar memoria inmunológica específica, la cual evita que el mis-

<sup>1</sup> Maestra en intervención con pacientes con enfermedades crónicas, Ciudad de México, México, 05000. <https://orcid.org/0000-0001-5115-2504>.

<sup>2</sup> Profesor e Investigador del CICS-UST del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, México, 11340. <https://orcid.org/0000-0003-4915-3000>

<sup>3</sup> Profesor e Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México, 42000. <https://orcid.org/0000-0002-4358-1023>

mo agente infeccioso provoque enfermedad en una segunda infección; y está compuesto por linfocitos B y T (Sanz, Gómez, Sosa y Prieto, 2017).

En el LES el sistema inmunológico pierde la capacidad de diferenciar entre los antígenos (moléculas capaces de interaccionar con el sistema inmunológico y de iniciar una respuesta) y las células propias o tejidos, de tal forma que produce anticuerpos contra sí mismo; esta inadecuada respuesta inmunitaria provoca una respuesta inflamatoria y un mal funcionamiento orgánico que es conocida como hipersensibilidad tipo III (Ariza, Isaza, Gaviria, Quiceno, Vinaccia y Alvarán, 2010; Buckley, Gilroy, Serhan, Stockinger y Tak, 2013; Díaz, Úbeda, López y Álvarez, 2017). El cuadro clínico de las personas que padecen este problema de salud se caracteriza por períodos de remisión y recaídas generando la producción de autoanticuerpos patógenos y células inmunocompetentes disfuncionales, lo que ocasiona múltiples lesiones en los órganos. (Díaz, Correa, Díaz, Gutiérrez y Fernández, 2015; Lee, *et al.*, 2016).

La prevalencia a nivel mundial del LES se encuentra entre 4 y 250 casos por cada 100 000 habitantes. Se ha observado que afecta principalmente a personas que habitan África, Centro América y Asia. (Boletín epidemiológico, 2013). En cuanto al sexo según datos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en nuestro país se estima que de cada 10, 9 son mujeres. En ese sentido, el instituto indicó que esta enfermedad principalmente afecta a personas de entre 15 y 45 años. En México se estima que al menos 3 millones de personas la padecen (Rojas, 2017). El LES se presenta generalmente al inicio de la edad reproductiva y algunas condiciones como menstruación, embarazo, posparto o el uso de anticonceptivos orales a base de estrógenos sintéticos son importantes para la reactivación de la enfermedad. Más del 8% de las mujeres con LES tienen un familiar de primer o segundo grado con la enfermedad (Rojas, 2017).

El LES comprende un espectro clínico amplio con una gran variedad de signos y síntomas que comprometen diferentes órganos y sistemas, incluyendo el Sistema Nervioso Central (SNC). Así mismo se presentan múltiples manifestaciones clínicas; entre las más graves se encuentran las cardiovasculares, pulmonares, neuropsiquiátricas, alteraciones hematológicas y manifestaciones renales que pueden comprometer la evolución del paciente; tener un impacto en la mortalidad, en la calidad de vida y causar daño orgánico. (Díaz, Correa, Díaz, Gutiérrez

y Fernández, 2015; Espinosa, 2012; González, Hernández y Rodríguez, 2015).

En personas sin ninguna enfermedad, de manera natural las hormonas y los neurotransmisores están regulando las actividades funcionales de tejidos y órganos para mantener reguladas las variables fisiológicas: la presión sanguínea, el nivel de glucosa en sangre y la temperatura corporal central, dentro de un intervalo deseado. Los mecanismos de control homeostático le permitirán al organismo la adaptación a un entorno cambiante o a necesidades fisiológicas; sin embargo, en las personas que padecen LES esta homeostasis se verá interrumpida ya que la respuesta inflamatoria puede inducir cambios en la temperatura corporal central, el apetito, los patrones de sueño, los umbrales nociceptivos, el tono vascular y de las vías respiratorias y una variedad de procesos metabólicos (Jiménez, Silvia y Guerra, 2018). Este desequilibrio también impactará en la respuesta de estrés, de tal manera que se activará la respuesta del sistema nervios simpático, lo que conlleva un aumento en: la frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, tensión muscular, y vasoconstricción (disminución de la temperatura periférica) entre otras (Rubio, 2016). Así mismo se generan una serie de respuestas emocionales, tales como ansiedad, depresión y conductuales: sensación de inutilidad, en ocasiones aislamiento y disminución del contacto con sus redes de apoyo.

Esto hace necesario implementar estrategias no invasivas que contribuyan a disminuir la respuesta exacerbada del sistema inmune. A nivel endocrino a través del eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal la hormona liberadora de corticotropina (CRH) actúa como hormona proinflamatoria liberando el Cortisol y estimulando los mastocitos y macrófagos desencadenando la respuesta inflamatoria. A su vez la histamina, IL-1 e IL-6 (citocinas) secretadas durante la respuesta inflamatoria, ejercerán una acción de control por retroalimentación sobre el hipotálamo (SNC), regulando según necesidad la secreción de CRH. Por otro lado, a nivel neural, el sistema autónomo parasimpático también ejerce una función de regulación de la inflamación, el nervio vago eferente y sus terminaciones eferentes liberarían acetilcolina produciendo un efecto antiinflamatorio. La acetilcolina atenúa la producción de citocinas proinflamatorias (TNF, IL-1B, IL-6 e IL-8) (Reyes y García, 2005), pero no tiene ningún efecto inhibidor sobre la producción de citocinas antiinflamatorias (IL-10), lo que

explicaría, en parte, el efecto benéfico de los ejercicios de relajación, que estimulan el sistema nervioso parasimpático y la secreción de acetilcolina. El estrés psicológico tendría en los sistemas endocrino y neural, un efecto relevante ya que se aumenta la secreción de CRH y por consiguiente disminuye la secreción de acetilcolina (Rubio, 2016). Un estudio realizado por Navarrete y colaboradores (2010), indica que el estrés empeora los síntomas de los enfermos con LES y que un tratamiento de afrontamiento del estrés en estos pacientes, además de mejorar los niveles de estrés, ansiedad y síntomas depresivos, mejora parte de las manifestaciones clínicas de la misma, dando lugar a una mejoría significativa en la calidad de vida. La capacidad de un organismo para curarse rápidamente después de una lesión es una medida importante de la competencia inmunitaria. Diversos estudios en pacientes con LES muestran que los factores estresantes crónicos o agudos, tienen un impacto significativo en la recuperación de lesiones; y las calificaciones subjetivas del estrés, así como características individuales pueden afectar la magnitud de tales efectos; promoviendo a su vez una respuesta inflamatoria exacerbada (Robles *et al.*, 2009).

Es a partir de la estrecha relación entre el sistema inmune y el sistema nervioso central la propuesta de este estudio de caso es la presentación de una intervención psicofisiológica que busca reducir la respuesta de estrés en una mujer con Lupus Eritematoso Sistémico.

Derivado del último seguimiento con el médico reumatólogo, a M le fue indicado aumentar su dosis de medicación al triple. Tuvo un internamiento a causa del LES y este fue cuando recibió el diagnóstico, ya que inicialmente se le había diagnosticado artritis reumatoide.

Los principales síntomas que presentó al inicio del tratamiento fueron: rigidez en articulaciones por las mañanas, dolor, lesiones cutáneas en el rostro, cambios en el estado de ánimo (principalmente ansiedad), aumento de peso, náuseas y mareos. Dificultad para conciliar el sueño y para lograr sueño reparador (véanse las tablas 1 y 2).

**Tabla 1. Datos obtenidos a partir de la entrevista realizada:**

<i>Internamientos</i>	Uno al inicio del padecimiento
<i>Efectos de medicamentos</i>	Pérdida de cabello, cambios de humor, aumento de peso, náuseas, mareos.
<i>Atención psiquiátrica o psicológica</i>	Sin antecedentes de atención psiquiátrica y psicológica
<i>Acciones cuando aparecen síntomas</i>	Seguir instrucciones médicas
<i>Actividades recreativas</i>	Clases de costura, convivencia familiar
<i>Pensamientos más frecuentes a partir del diagnóstico</i>	“me preocupa no estar bien por mis hijos” “me preocupa que me incapacite la enfermedad” “me preocupa depender, para hacer mis cosas” “me preocupa que me tengan que hacer diálisis”
<i>Escala subjetiva de estrés</i>	Marca 5 en una escala subjetiva de 0 a 10
<i>Principal red de apoyo</i>	Familia, esposo, padres y amigos cercanos

**Tabla 2. Tratamiento farmacológico**

<i>Fármaco</i>	<i>Efectos adversos</i>
Azatioprina (inmunosupresor)	Mareos, trastornos gástricos (náuseas, vómitos, diarrea), fiebre, entumecimiento, trastornos renales, hipotensión, susceptibilidad a infecciones, depresión de médula ósea, pérdida de cabello.
Cloroquina	Dolor de cabeza, prurito, molestias gastrointestinales, anorexia, náuseas, vómitos, diarrea, cólicos, cambios de humor, cambios reversibles de la córnea, dolor muscular.
Prednisona (glucocorticoides)	Administrada durante largos períodos de tiempo suprime la función H-H-A Atrofia corticoadrenal, trastornos gástricos, osteoporosis, deterioro de la cicatrización, hipertensión, alteraciones mentales como depresión, ansiedad, cambios de humor.
Aolgésicos (sulindaco, paracetamol, ketorolaco)	Dolor gastrointestinal, náuseas, vómitos, diarrea, estreñimiento, anorexia, espasmos gastrointestinales, prurito, mareos, cefaleas, nerviosismo.

En la escala SLEDAI puntúa 8, considerándose un LES en fase activa (tabla 3)

**Tabla 3. Escala SLEDAI**

Grado	Ptos	Signo	Definición
8		Convulsión	Reciente (excluir metabólico, drogas, infecciones) *
8		Psicosis	Perturbación grave de la percepción de la realidad, alucinación, incoherencia, disociación, hipoacusia, catatonia
8		S. cerebral orgánico	Alteración Fx mental/intelectual. Pérdida de la conciencia, atención, incoherencia, insomnio, mareos*
8		Alteración visual	Cambios retina LES, excluir HTA*
8		Alteración de los nervios craneales	Neuropatía motora N. C.
8		Cefalea LES	Cefalea intensa, persistente, migraña; no responde al tratamiento
8		Accidente cerebral vascular	Excluir hipertensión arterial, trombocitopenia
8		Vasculitis	Ulceración, gangrena, nódulos blandos, dedos, infarto peringuinal,
			hemorragias en llamas, biopsia (+)
4		Artritis	Más de dos articulaciones
4		Miositis	Mialgia/debilidad proximal, CPK, aldolasa elevada, electromiografía
			alterada, biopsia (+)
4		Cilindros	Hialinos, hemáticos, granulares orina
4		Hematuria	> 5 g/c*
4		Proteinuria	> 0.5 mg/24 h o elevada
4		Piuria	> 5 gb/c
2		Erupción	Episodio nuevo o recurrente; erupción inflamatoria
2		Alopecia	Nueva o recurrente
2		Úlcera mucosa	Idem, oral/nasal
2		Pleuresía	Dolor pleurítico + frote, derrame, engrosamiento pleural
2		Pericarditis	Dolor pericárdico + frote, derrame, alteración en EKG, ECO
2		Hipocomplementemia	Disminución CH50, C3, C4,
2		Aumento unión ADN	> 25%
1		Fiebre	> 38%
1		Trombocitopenia	< 100,000/mm3
1		Leucopenia	< 3,000/mm3

Fuente: (Grossman, Gordon, 2006; p:924)

## TRATAMIENTO NO FARMACOLÓGICO DE SÍNTOMAS DE DOLOR EN PACIENTES CON LUPUS

Existen diversos estudios en los que se han mostrado diversas estrategias para el manejo de algunos síntomas que padecen los pacientes con Lupus Eritematoso Sistémico, tales como el dolor crónico, el insomnio o estrés crónico, en los que se ha utilizado estrategias no farmacológicas.

En una revisión sistemática de Fangtham y sus colaboradores muestran los resultados de quince artículos que involucraron a 846 participantes. Se menciona que de ocho estudios que utilizaron técnicas psicológicas combinadas con ejercicios, cuatro utilizaron intervenciones con ejercicio (2 ejercicios en casa, 2 ejercicios aeróbicos) y 4 utilizaron intervenciones psicológicas (1 psicoterapia grupal, 2 TCC con técnicas de relajación, 1 MBCT). Es decir, que las sesiones del laboratorio o del consultorio, se extendían a casa de estos ocho estudios, tres utilizaron intervenciones psicológicas que incluían TCC asistida por biorretroalimentación, TCC y MBCT. En uno de estos estudios combinó una intervención de TCC asistida por biorretroalimentación en la cual se observó una mayor mejoría de la función psicológica en comparación con el control y la intervención de apoyo para el monitoreo de los síntomas, y las mejoras de la función psicológica persistieron a los 9 meses de seguimiento.

## MATERIALES Y EQUIPOS DE MEDICIÓN PSICOFISIOLÓGICA DE BAJO COSTO

En la literatura existe un amplio uso de equipos de biofeedback y neurofeedback en diversas investigaciones para el tratamiento de diversas problemáticas, como el LES. Sin embargo, en la aplicación clínica se dificulta para muchos profesionistas en el área de la salud física y mental poder utilizarlos ya que el costo de los mismos es muy elevado. Existen en el mercado equipos de retroalimentación biológica (biofeedback) con costos que van de los 500 dólares hasta los 4000 o 5000 dólares. Estos costos los hacen inaccesibles para muchos profesionales que trabajan por su cuenta o que en las instituciones donde laboran es difícil adquirirlos.

En ese sentido, la importancia de tener la posibilidad de utilizar equipos o instrumental a bajo costo para las intervenciones clínicas, pero teniendo la posibilidad de obtener mediciones confiables de las respuestas

psicofisiológicas para monitorear el progreso de los tratamientos es muy importante.

Un ejemplo de este tipo de materiales son los termómetros de alcohol. Éstos son instrumentos de medición utilizados en laboratorios y aplicaciones industriales para medir temperaturas con precisión. Una de las principales ventajas de los termómetros de alcohol es su bajo costo, lo que los convierte en una opción económica para la medición de temperaturas en el contexto del laboratorio. También su facilidad de uso los hace accesibles para incluso personas que no están dentro del ámbito de la investigación (Chocron, 2024)

El *termómetro de alcohol de vidrio BF199* es uno de los más utilizados para el trabajo de biofeedback de la temperatura periférica. El costo de un paquete de 100 piezas es de \$110 dólares, lo que hace que cada termómetro tenga un costo de \$22 pesos mexicanos aproximadamente. La duración de estos puede ser de varios meses y los pacientes pueden usarlos de forma fácil. Estos pueden hacer registros de la información proporcionada por estos termómetros antes y después de hacer los ejercicios en casa y para el clínico son de mucha utilidad esta información, y la puede ir corroborando con las entrevistas clínicas y aplicación de instrumentos o cuestionarios ya validados.

Un termómetro un poco más complejo es el *Termómetro de estrés Modelo SC911*. Este puede medir la temperatura en cualquier área de la superficie del cuerpo colocando el cable del termistor. El resultado se ve en una pantalla que registra los grados en Celsius o Fahrenheit. Existen estudios que han explicado cómo los cambios en la temperatura de las manos y los pies son un reflejo del flujo sanguíneo, una medida de la respuesta al estrés. Cuando se activa el sistema de lucha/huida del cuerpo, los músculos se tensan, el ritmo cardíaco y los órganos vitales se aceleran y, como resultado, el flujo sanguíneo se desvía de las extremidades y se dirige a los órganos vitales para apoyar el cuerpo. Todos estos cambios pueden ser evaluados en tiempo real junto con el paciente gracias a estos equipos y el costo (\$30 dólares aproximadamente) es más accesible para que algún especialista lo pueda tener en su consulta diaria.

Es en 2001, el Dr. Domínguez y su equipo de investigación publicaron un artículo en donde presentaban un método para evaluar el estrés psicofisiológico a través de la medición bilateral de la temperatura periférica

de ambas manos por medio del *termómetro de estrés Modelos SC911*, y los datos los colocaron en un programa de Excel elaborado para medir 4 parámetros: Dominancia, Ganancia, Simetría y Sincronía. Estos parámetros podrían ser observados en la gráfica que dicho programa generaba (Domínguez *et al.*, 2001)

Esta forma de hacer evaluación psicofisiológica permitió al Dr. Domínguez y a muchos de sus estudiantes poder acercarse al estudio y análisis de las respuestas psicofisiológicas en una gran cantidad de pacientes con diversos padecimientos y que a todos ellos se le entrenaba para regular la respuesta de sistema nerviosos autónomo con el uso de estos equipos de bajo costo y programas elaborados por matemáticos mexicanos como el Dr. José Francisco Cortés Sostre, quien fue el que diseñó este programa.

A continuación, se describe un caso de una intervención psicofisiológica en donde se utilizó la retroalimentación de la temperatura periférica junto con estrategias cognitivas para el manejo del estrés en una mujer con LES.

### DESCRIPCIÓN DEL CASO

La participación fue voluntaria de una mujer de 36 años diagnosticada con Lupus Eritematoso Sistémico desde hace 4 años. Originaria y residente de la Ciudad de México, dedicada al hogar, casada y con tres hijos de 10, 8 y 5 años. Su nivel de estudios es de licenciatura concluida y por algunos años ejerció su profesión que es Ingeniería en robótica industrial. Se realizó la entrevista y llenado de la evaluación pretest en la cual se aplicaron los siguientes instrumentos: Cuestionario RAPID3 el cual es un índice de actividad que incluye tres medidas auto-reportadas por el paciente: la función física, el dolor y la evaluación global de la enfermedad por el paciente. Escala de Ansiedad y Depresión Hospitalaria (HADS), Escala Apoyo Social DUKE-11 y Escala de Estrés Percibido. También se realizó el perfil psicofisiológico en donde se evaluaron los siguientes marcadores fisiológicos: Temperatura periférica bilateral en los dedos medios, frecuencia cardiaca y presión arterial. Estas mediciones se realizaron durante la fase pretest y en las sesiones de intervención antes y después de la intervención, así como en la fase postest. Para evaluar la temperatura

se utilizaron los termómetros digitales *Stress Termómetro SC911*, para la medición de la frecuencia cardíaca se empleó un Contador de Frecuencia cardíaca *CatEye PL-6000* y para evaluar la presión arterial con un *baumanómetro digital Citizen CH-656C*. Todas las medidas psicológicas están validadas para la población mexicana. La tabla 1 presenta las características clínicas reportadas por M, mientras que la tabla 2 muestra el tratamiento farmacológico y sus efectos adversos.

## MATERIAL E INSTRUMENTOS

Se aplicaron los siguientes instrumentos:

1. Entrevista: Tuvo la finalidad de evaluar cuáles eran las situaciones de la vida diaria estresantes en la paciente, además de los pensamientos disfuncionales relacionados al padecimiento de LES y el impacto en su salud
2. Escala de Estrés Percibido (PSS14): Elaborada por Cohen, Kamarak y Mermelstein (1983) en su versión para México de González y Landero (2007). Las propiedades psicométricas del instrumento reportan una alpha de Cronbach de 0.83 y la estructura factorial confirma los hallazgos de los autores de la versión en inglés.
3. Escala de Ansiedad y Depresión Hospitalaria (HADS): Es una escala de autorreporte que consta de 14 reactivos y dos subescalas cada una con siete reactivos. Los reactivos nones corresponden a la subescala de ansiedad y los reactivos pares a la subescala de depresión. Cada reactivo tiene cuatro posibles respuestas que puntúan de 0-3 para un total de 0-21 puntos por subescala. Las mayores puntuaciones corresponden a mayores niveles de ansiedad y depresión. Las propiedades psicométricas del instrumento reportan una alpha de Cronbach de 0.84 en su versión castellana validada por Ornelas y Sánchez (noviembre, 2011).
4. Escala Apoyo Social DUKE-11: Cuestionario que consta de 11 ítems, con escala de respuesta tipo Likert. El rango de puntuación va de 11 a 55. evalúa el AS confidencial (posibilidad de contar con personas para comunicarse) y el AS afectivo (demostraciones de amor, cariño y empatía). La escala de respuestas es la de Likert con puntuaciones

del 1 al 5. Una puntuación igual o mayor a 32 indica un apoyo normal, mientras que menor a 32 indica un apoyo social percibido bajo. El coeficiente de fiabilidad es de 0.92 .

### Materiales:

1. Video psicoeducativo sobre la importancia del manejo del estrés y su relación con el Sistema Inmune
2. Grabación de entrenamiento en frases autógenas
3. Formato autorregistro de entrenamiento en frases autógenas

### Aparatos

Contador de Frecuencia cardiaca *CatEye PL-6000*, Termómetro de alcohol *BF199*, *Stress Thermometer SC911*, Monitor de Presión Arterial *OMRON HEM-7120*.<sup>1</sup>

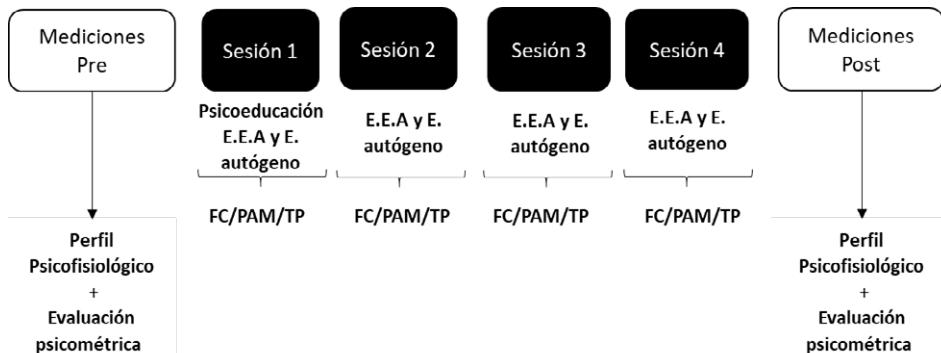
**Figura 1. Aparatos utilizados para la investigación de bajo costo**



### DISEÑO

La intervención constó de 6 sesiones incluyendo el pretest y postest, estas se llevaron a cabo una vez por semana, la duración fue de 1 hora, con la aplicación de la técnica de frases autógenas y escritura emocional autorreflexiva. Diariamente la participante realizó el entrenamiento autógeno, con el audio destinado para dicha actividad (Figura 2).

<sup>1</sup> <https://bio-medical.com/plain-alcohol-thermometer-100-pack.html>  
<https://bio-medical.com/stress-thermometer-sc911.html>  
[https://www.fitnet.com.ar/img/articulos/pulsometro\\_cardiaco\\_cateye\\_pl\\_6000\\_imagen1.jpg](https://www.fitnet.com.ar/img/articulos/pulsometro_cardiaco_cateye_pl_6000_imagen1.jpg)  
[https://i5-mx.walmartimages.com/samsmx/images/product-images/img\\_large/9810221201.jpg?odnHeight=768&odnWidth=768&odnBg=FFFFFF](https://i5-mx.walmartimages.com/samsmx/images/product-images/img_large/9810221201.jpg?odnHeight=768&odnWidth=768&odnBg=FFFFFF)

**Figura 2. Diseño de investigación clínica.**

FC= Frecuencia Cardiaca; PAM= Presión Arterial Media; TP= Temperatura Periférica (Imagen de elaboración propia).

1. Línea de base (Perfil Psicofisiológico y Entrevista, evaluación Psicométrica) (60 min).
2. Psicoeducación (Presentación de video sobre LES), ejercicio de escritura emocional autorreflexiva y Entrenamiento autógeno (90 min).
3. Ejercicio de escritura emocional autorreflexiva y Entrenamiento autógeno (90 min).
4. Ejercicio de escritura emocional autorreflexiva y Entrenamiento autógeno (90 min).
5. Ejercicio de escritura emocional autorreflexiva y Entrenamiento autógeno (90 min).
6. Mediciones Postest: Perfil Psicofisiológico de estrés y aplicación de instrumentos psicológicos (60 min).

## PROCEDIMIENTO

Se le explicó a la participante en qué consistirían las evaluaciones y el tratamiento. Posteriormente se realizaron las mediciones psicológicas (Entrevista dirigida, aplicación de instrumentos y Perfil Psicofisiológico del Estrés- PPE, a través de la toma de Temperatura Periférica Bilateral (TPB), medición de la Frecuencia Cardiaca y la Presión Arterial). El procedimiento de la intervención del Perfil Psicofisiológico de estrés tanto para la medición de la TPB como de la frecuencia cardiaca fue el siguiente:

1. Se le explicó a la participante tanto del objetivo de la medición como el equipo a utilizar (Termómetros Digitales, Contador de Frecuencia Cardiaca y Baumanómetro Digital).
2. Después de la explicación, se preparó con algodón y alcohol, tanto el oído izquierdo como la zona tabaquera de cada una de las manos

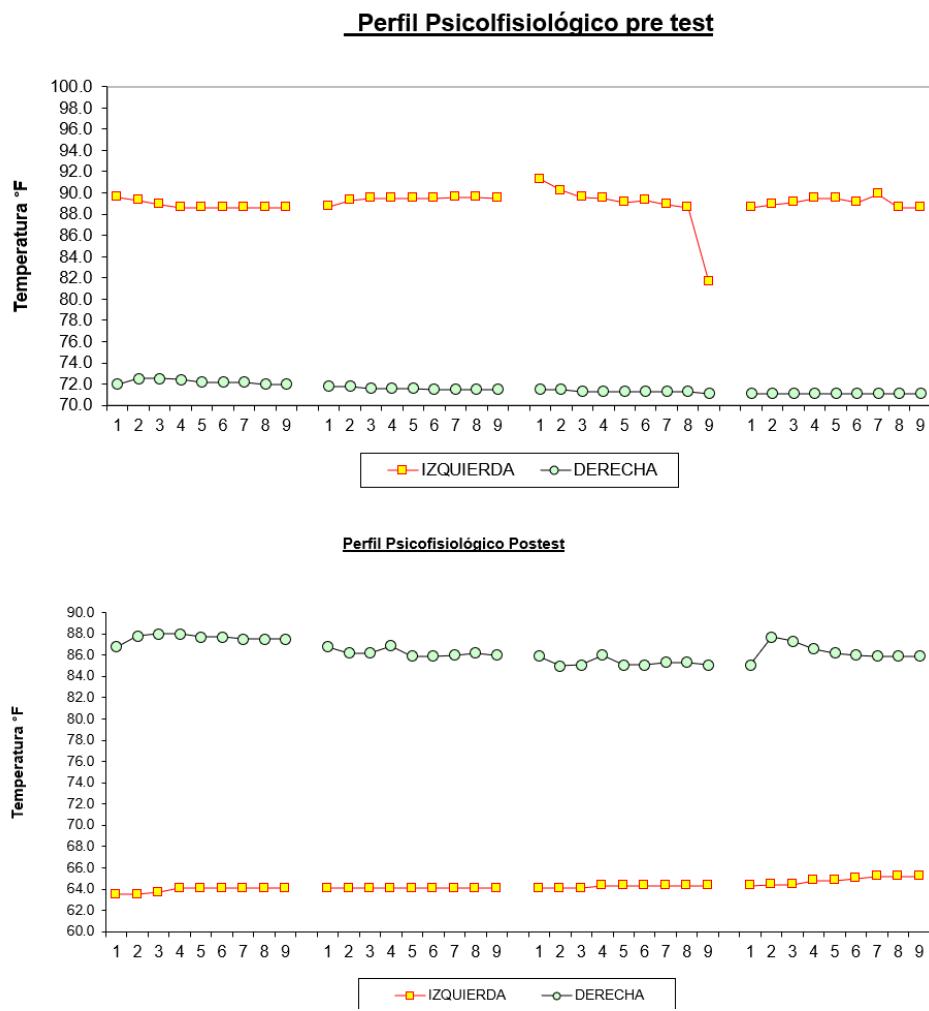
de la participante. Posteriormente se colocó en ambas manos los termistores y el sensor en el oído izquierdo. Ya colocados los equipos en su lugar respectivo se le indicó a la participante: "Durante los siguientes minutos vamos a hacer una serie de actividades, mientras las ejecuta, voy a ir registrando su temperatura cada 15 segundos durante 2 minutos y al final su tasa cardiaca, y presión arterial. En caso de dudas, se aclararan". Una vez suministrada la instrucción anterior, se procedió a obtener el PPE en sus 4 condiciones de acuerdo con el siguiente protocolo: Sentado Ojos Abiertos, Sentado Ojos Cerrados, Estresor y la Respuesta Natural de Relajación. Una vez concluido el registro de esta última condición, se le indicó a la participante que había terminado esta evaluación. Se agradeció su participación y se procedió a retirar los aparatos. Posteriormente, se le proporcionó el termómetro de alcohol, la hoja de registro y el audio de la técnica de entrenamiento en frases autógenas para la elevación de la temperatura periférica y se le pidió que realizara todos los días el ejercicio escuchando el audio y que anotara al principio y al final la temperatura y la frecuencia cardiaca.

3. En esa misma sesión se aplicaron los siguientes instrumentos: *Entrevista, Escala de Estrés Percibido, Escala de Ansiedad y Depresión Hospitalaria (HADS), Escala Apoyo Social DUKE-11*

## RESULTADOS

Los perfiles psicofisiológicos de temperatura periférica pre – post Tratamiento se presentan a continuación (figura 3). La paciente en la medición inicial del perfil psicofisiológico presenta una dominancia de la mano izquierda con una temperatura en 90 o Fahrenheit, la paciente es diestra y la temperatura estuvo ligeramente arriba de los 70 o Fahrenheit. En la relación a la Ganancia no se presentó en ninguna de las fases del perfil. En comparación el Perfil final muestra un cambio en la dominancia, y la temperatura se elevó casi a 2 grados en comparación con las mediciones iniciales sin embargo la temperatura de la mano izquierda (no dominante) disminuyó casi 2.5 grados. Tampoco se presentaron cambios en la Ganancia.

**Figura 3. Perfil psicofisiológico térmico pre-post tratamiento.**



Mediciones de temperatura bilateral cada 15 segundos: 1 = 0 °, 2 = 15°, 3 = 30°, 4 = 45°, 5 = 60°, 6 = 75°, 7 = 90°, 8 = 105, 9 = 120

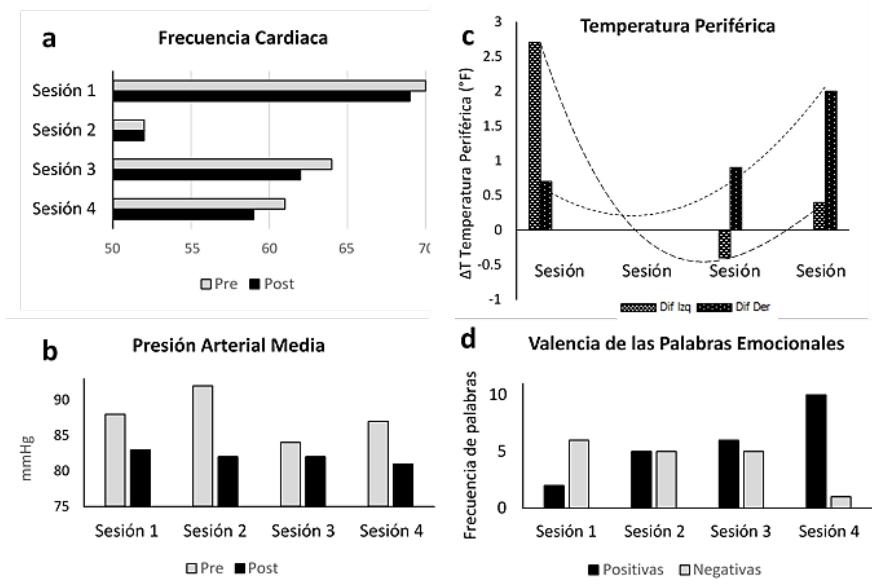
Los puntajes de la evaluación psicométrica se examinan en la tabla 4. En todos los indicadores de malestar emocional disminuyó su autorreporte después del tratamiento, mejorando su nivel de apoyo social.

**Tabla 4. Resultados de los Instrumentos Psicológicos**

Instrumento	Pre	Post	Evaluación final
RAPID 3 <sup>a</sup>	10	4	Moderada actividad
HADS- Ansiedad	9	0	Sin Ansiedad
HADS- Depresión	6	1	Sin Depresión
Escala Apoyo Social DUKE-11	47	52	Apoyo social alto
Escala de Estrés Percibido	31	12	Bajo nivel de estrés

<sup>a</sup> Routine Assessment of Patient Index Data 3, <sup>b</sup> Escala de Ansiedad y Depresión Hospitalaria (HADS), escala de Ansiedad y Depresión Hospitalaria (HADS)

Durante el tratamiento se evaluaron los cambios autonómicos antes y después de cada intervención psicológica en cada sesión. En la figura 4 se presentan los resultados psicofisiológicos y el lenguaje empleado por la paciente durante los ejercicios de escritura emocional autorreflexiva.

**Figura 4. Efectos autonómicos de la intervención psicofisiológica durante el tratamiento**

En la tabla 5 se enlistan las palabras emocionales tanto positivas como negativas que la paciente M describió durante cada sesión de escritura emocional autorreflexiva. A medida que transcurrieron las sesiones de escritura emocional, la participante se dio oportunidad de plasmar por escrito todas aquellas emociones y pensamientos relacionados al diagnóstico de LES y las implicaciones que ha tenido en su vida cotidiana. En las últimas dos sesiones hace uso de más palabras emocionales positivas e incluso al finalizar la última sesión, afirma que en pocas ocasiones se ha detenido a observar su enfermedad desde un panorama positivo y de aprendizaje.

La actividad autonómica se evaluó durante el tratamiento antes y después de cada sesión mostrando una mejoría clínica: (a) decremento de la frecuencia cardíaca y presión arterial (b); así como el incremento de la temperatura periférica bilateral (c) alcanzando el criterio de dominancia. Estos cambios autonómicos coinciden con la predominancia positiva de la valencia afectiva del lenguaje de los ejercicios de escritura emocional autorreflexiva (d).

**Tabla 5. Listado de palabras emocionales**

<i>Sesión de escritura</i>	<i>Palabras emocionales positivas</i>	<i>Palabras emocionales negativas</i>
1	fuerza, luchar	afectación, lástima, dolor, tortura, apatía, quitar
2	recapacitar, luchar, calmarme, aceptación, positiva,	culpa, recaídas, triste, ofuscada, preocupación,
3	útil, sentirse mejor, mejoría, útil, pensar positivo, el dolor pasa,	complicación, dolor, inmovilidad, incapacidad, ánimo bajo
4	enseñanza, apoyo, amor, entendimiento, aceptación, empatía, fortaleza, vida hermosa, motivos para sonreír, aprendizaje, no me dejo vencer,	dolor

## DISCUSIÓN

De acuerdo con los objetivos del tratamiento psicológico propuesto sobre el decremento de indicadores autonómicos de estrés, la promoción de la respuesta parasimpática y la expresión del lenguaje emocional, se

encontró que el entrenamiento autógeno para incrementar la temperatura periférica de la piel aunado al ejercicio de escritura emocional autorreflexiva son un tipo de intervención útil para el manejo de estrés en la paciente con Lupus Sistémico Eritematoso: la disminución en todas las señales psicofisiológicas de estrés se observa un cambio en la dominancia e incremento en la temperatura de la mano derecha, lo que indica una mejor capacidad de control del estrés, sin ansiedad o depresión, bajó la percepción de estrés y apoyo social elevado, así como el mejoramiento en la actividad cotidiana.

El hecho de que diversas enfermedades autoinmunes sean de difícil diagnóstico provoca que el curso de la enfermedad continúe y pueda derivar en daños en diversos órganos. En el caso del Lupus Eritematoso Sistémico este aspecto es muy importante ya que el diagnóstico puede tardar incluso años en ser detectado. Y cuando ya se tiene el diagnóstico confirmatorio solo es posible controlar algunos síntomas; sin embargo, están latentes las remisiones y recaídas (Pérez y Otero, 2014; Díaz, Correa, Díaz, Gutiérrez y Fernández, 2015).

Es debido a estas recaídas que muchas pacientes viven en constante estrés, aunado al estrés fisiológico provocado por la hiperactividad del sistema inmune reflejado en la inflamación generalizada, que la salud de estas mujeres se ve comprometida y en riesgo constante. Esta situación derivó que en el presente proyecto se trabajara solo con una paciente la cual mostraba sintomatología controlada, y una elevada adherencia. Dos de las pacientes con las se comenzó a trabajar tuvieron crisis que derivaron en hospitalizaciones, por lo que ya no fue posible trabajar con ellas, mismas que han tenido diversos episodios de recaídas y fuerte sintomatología como nefritis lúpica.

La participante presentó puntuaciones de ansiedad y depresión leves, en la escala hospitalaria de HADS, las cuales son algunas de las manifestaciones clínicas de estas pacientes (González, Hernández y Rodríguez, 2015; Zhang, Web y Wang, 2012), mismas que disminuyeron con la intervención. Los bajos niveles de sintomatología ansiosa y depresiva, aunado al tratamiento farmacológico, facilitaron que durante el proceso de intervención no se presentaran manifestaciones clínicas de gravedad.

Sin embargo, los resultados derivados de los perfiles psicofisiológicos permiten identificar que la paciente presenta dificultades en el manejo

autonómico de la rama simpática. Características clínicas como dominancia, ganancia, simetría y sincronía se encuentran visiblemente alteradas, evidenciando que la baja variabilidad fisiológica da cuenta de procesos patológicos, mismos que no manifiestan una correspondencia entre el marcador autonómico y el reporte verbal, como es el caso de M. (Domínguez y Vázquez, 1998; Domínguez, Olvera, Cruz y Cortés, 2001). Por lo cual las intervenciones encaminadas a la activación de la rama parasimpática, que de manera eventual les den a las pacientes herramientas de modulación autonómica, tienen fuertes implicaciones en las manifestaciones clínicas descritas por esta población. Así como una conciencia de la importancia del autocuidado, que se observó en la realización de la escritura emocional.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Stanton *et al.* (2002) en un estudio realizado con mujeres con cáncer de mama en etapa inicial, describen como aquellas mujeres que escribieron sobre sus pensamientos y sentimientos más profundos sobre el cáncer tuvieron menos citas médicas sobre las comorbilidades relacionadas con el cáncer en los últimos meses. Low y sus colaboradores (2006), en un trabajo con mujeres con LES describen como esta técnica influyó en la regulación emocional al disminuir la ansiedad rasgo, así como las molestias físicas además de que mejoraron su capacidad funcional.

Las limitaciones del estudio principalmente fue el número de sesiones, ya que era deseable aumentar 3 o 4 más para reforzar los avances y estabilizar los cambios. El trabajo individual permitió hacer una intervención focalizada en las necesidades de la paciente, lo que no se puede hacer cuando son sesiones en grupo. Es importante mencionar que el presente estudio de caso se llevó a cabo previo a contar con 3 participantes más, que debido a la complejidad del padecimiento después de la primera sesión ya no pudo continuar debido a que las crisis generadas por la enfermedad las llevaron a ser hospitalizadas. Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran la utilidad de intervenciones psicofisiológicas como coadyuvante a los tratamientos farmacológicos que llevan personas que padecen esta problemática y abre la posibilidad de que el sufrimiento generado por el padecimiento se vea disminuido con estrategias no invasivas.

Por último, es de destacar cómo esta intervención se logró llevar a cabo gracias al uso de herramientas, materiales y equipos de bajo costo,

pero que han mostrado ser confiables y que junto con los cuestionarios y evaluaciones verbales de la participante sirvieron para valorar la efectividad de la intervención.

Es recomendable generar investigación que contribuya a crear más equipos multidisciplinarios ya que en el campo de la psicología de la salud tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los pacientes. La evaluación es un paso previo a la intervención y en esta se puede utilizar equipos de bajo costo para realizar una valoración integral.

### CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El uso de equipos de bajo costo que tienen la capacidad de medir las respuestas fisiológicas del sistema nervioso autónomo, que pueden ser utilizadas en el tratamiento clínico psicológico con personas que padecen Lupus Eritematoso Sistémico, es muy valioso, ya que ayuda a identificar y evaluar el efecto que está generando la intervención en el organismo de las consultantes. Las respuestas verbales, y conductuales de los participantes que pueden ser observadas y escuchadas por el especialista son los elementos que muchos de los profesionistas en salud mental utilizan para su trabajo con los consultantes. Sin embargo, cuando el trabajo psicológico se realiza con personas que padecen alguna enfermedad que involucra el funcionamiento inadecuado de un sistema distinto al nervioso es muy importante verificar cómo el tratamiento o técnicas psicológicas utilizadas pueden estar también generando cambios en estos sistemas.

Es a partir de muchos estudios realizados en el equipo del Dr. Benjamín Domínguez en donde se ha demostrado como los ejercicios de respiración diafragmática, o ejercicios para incrementar la temperatura periférica de la piel o cambios en la frecuencia cardiaca e hipertensión arterial que se observa la regulación de la respuesta del sistema inmune, específicamente en la disminución de la respuesta inflamatoria. A través de esta evaluación se puede confiar que los cambios en el sistema nervioso impactan en el equilibrio del sistema inmune, particularmente en la enfermedad de Lupus, al ser una enfermedad autoinmune.

La tecnología que evalúa las respuestas del organismo son cada vez más precisas; sin embargo, también se han vuelto cada vez más costosa, de \$5,000 a \$10,000 dólares un equipo de medición se hace inalcanzable para

lugares en donde el recurso es escaso. Es por esto que es fundamental que las universidades públicas centren sus esfuerzos en generar equipos tecnológicos de bajo costo con piezas y materiales del país y que puedan ser utilizados en condiciones como las antes mencionadas. El trabajo multidisciplinario debe contemplar ingenieros, biólogos, psicólogos y médicos para que los equipos que se generen puedan tener todos los elementos que los hagan confiables y prácticos.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ariza, K; Isaza, P; Gaviria, A; Quiceno, J; Vinaccia, S; A, L; Pinto, L; Velásquez, C; Márquez, J. (2010). Calidad de vida relacionada con la salud, factores psicológicos y fisiopatológicos en pacientes con diagnóstico de Lupus Eritematoso Sistémico–LES. *Terapia psicológica*, 28(1), 27-36.
- Boletín epidemiológico. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Sistema Único de Información. Secretaría de Salud (2013). ¿Qué es el Lupus Eritematoso Sistémico?, 30(30).
- Buckley, C; Gilroy, D; Serhan, C; Stockinger, B y Tak, P. (2013). The resolution of inflammation, *Nat Rev Inmmunol*, 13(1), 59-66
- Chocron, J. (2024, May 21). Descubre cómo funcionan los termómetros de alcohol y sus usos más comunes–MaterialdeLaboratorios. MaterialdeLaboratorios. <https://materialdelaboratorios.com/termometros-de-alcohol/>
- Díaz, D; Correa, N; Díaz, M; Gutiérrez, J y Fernández, D. (2015). Compromiso del sistema nervioso central en el lupus eritematoso sistémico. *Revista Colombiana de Reumatología*, 22(1), 16-30.
- Díaz, M; Úbeda, C; López, S; Álvarez, M. (2017). Respuesta inmune innata y sus implicaciones fisiopatológicas. *Medicine*. 12(24), 1388-1397

- Domínguez, B; Olvera, Y; Cruz, A y Cortés, J. (2001). Monitoreo no invasivo de la temperatura periférica bilateral en la evaluación y tratamiento psicológico. *Psicología y Salud*, 11(2), 61-71
- Espinosa, J. (2012). Guías de práctica clínica en lupus eritematoso sistémico: importancia de su implementación en los sistemas de salud, *Revista Colombiana de Reumatología*, 121-123
- Fangtham, M., Kasturi, S., Bannuru, R. R., Nash, J. L., & Wang, C. (2019). Non-pharmacologic therapies for systemic lupus erythematosus. *Lupus*, 28(6), 703–712. <https://doi.org/10.1177/0961203319841435>
- González, M; Hernández, M; Rodríguez, H. (2015). Cuestionarios de calidad de vida en niños y adolescentes con lupus eritematoso sistémico. *Revista Cubana de Reumatología: RCuR*, 17(2), 172-177
- Grossman J, Gordon C. (2006) Clínica Index in the Assessment of Lupus. In: Wallace D, Hahns B. editors. *Dubois' Lupus Erythematosus*. 7th ed. Lippincott- Williams & Wilkins, p:924.
- Lee, H; Wu, T; Lin, C; Lee, C; Wei, Y; Tsai, C; Chang, D (2016). The pathogenesis of systemic lupus erythematosus, from the viewpoint of oxidative stress and mitochondrial dysfunction. *Mitochondrion*, 30, 1-7.
- Robles, T; Brooks, K; Pressman, S. (2009) Trait positive affect buffers the effects of acute stress on skin barrier recovery. *Health Psychol*, 28(3), 373–378
- Rojas, R. (2017) 9 de cada diez personas con lupus en México son mujeres: IMSS. Saludario el medio para los Médicos. Nota 5 agosto 2017. CDMX. Revisado 2 feb. 2019. En <https://www.saludario.com/9-de-cada-10-personas-con-lupus-en-mexico-son-mujeres-imss/>
- Sanz, M; Gómez, A; Sosa, M; Prieto, M. (2017). Introducción al sistema inmune. Componentes celulares del sistema inmune innato. *Medicine*,12(24), 1369-1378
- Sanz, M; Gómez, A; Peral, P; Prieto, M. (2017). Componentes celulares y organización tisular del sistema inmune adaptativo. *Medicine*,12(24), 1379-1387
- Zhang, J; We, W; Wang, C. (2012). Effects of psychological interventions for patients with systemic lupus erythematosus: a systematic review and meta-analysis. *Lupus*, 1077-1087.

# Tecnología coadyuvante en la salud cardiopulmonar a través de Biofeedback y Variabilidad de la frecuencia cardíaca

Guadalupe Lizzbett Luna Rodríguez<sup>1</sup>  
Viridiana Peláez Hernández<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN

La salud cardiopulmonar está relacionada con un óptimo funcionamiento de los sistemas cardiovascular y respiratorio, los cuales permiten una adecuada circulación sanguínea y oxigenación en el organismo. Esta se evalúa mediante indicadores fisiológicos como la capacidad aeróbica, frecuencia cardíaca, estado de fuerza y resistencia de músculos respiratorios y la presión arterial y saturación de oxígeno (Verhoeff & Mitchell, 2017).

En padecimientos pulmonares crónicos, como la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), se observa con frecuencia un deterioro en la salud cardiopulmonar, provocado por diversas comorbilidades cardiovasculares que se desarrollan en estos pacientes (Black-Shinn y cols., 2014). Una de las comorbilidades más comunes en esta población, es la Insuficiencia Cardiaca Derecha (ICD).

La ICD o también denominada *Cor Pulmonale*, se caracteriza por una alteración estructural, que puede manifestarse como hipertrofia o dilatación del ventrículo derecho, acompañada de un deterioro funcional. Esto genera una sobrecarga crónica o aguda en la presión pulmonar (Hernández Simón y cols., 2017; Parsons y cols., 2013). Se estima, que la

<sup>1</sup> Estudiante de Maestría en Psicología con residencia en Medicina Conductual de la Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 04510. <https://orcid.org/0000-0002-3879-2336>

<sup>2</sup> Coordinadora de Investigación en Psicología del Servicio de Cardiología del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, Ismael Cosío Villegas, Tlalpan, Ciudad de México, México, 14080. <https://orcid.org/0000-0002-0944-8878>

ICD es la tercera causa más frecuente de muerte en pacientes mayores de 50 años (Black-Shinn y cols., 2014).

Debido a las alteraciones cardiovasculares y pulmonares presentes en estos pacientes, también suelen observarse alteraciones psicofisiológicas, especialmente a nivel del sistema nervioso autónomo. Estas alteraciones se reflejan en respuestas fisiológicas como la Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca (VFC), la cual también se relaciona también con alteraciones cognitivas y emocionales en esta población (Alqahtani y cols., 2023; Kwon y cols., 2022).

### VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA

La VFC se define como la variación en el tiempo entre latidos consecutivos del corazón, resultando en la interacción entre la actividad autónoma, la presión arterial y el sistema respiratorio (Shaffer y cols., 2014).

De acuerdo con el modelo de integración neuro visceral de Thayer & Lane, (2000) existe una red neuroanatómica conocida como la Red Autonómica Central (RAC), la cual está involucrada en el funcionamiento fisiológico, atencional, emocional y de autorregulación. Esta red controla las respuestas visceromotoras, neuroendocrinas y conductuales mediante el encéfalo, siendo fundamental para las conductas dirigidas a metas, la salud y la adaptación. Dentro de las estructuras clave de la RAC se incluyen la corteza del cíngulo anterior, prefrontal ventromedial, amígdala, hipocampo, materia gris periacueductal, entre otras. Estas estructuras también regulan la actividad autónoma cardiaca mediada por el nervio vago (Thayer y cols., 2012). Una de las primeras salidas de información de la RAC es a través de neuronas ganglionares simpáticas y parasimpáticas, que intervienen en la vía cardiaca, el ganglio estriado y el nervio vago, dando origen tanto a la VFC como a la Frecuencia Cardiaca (Forte y cols., 2019).

La VFC se considera como un excelente indicador del funcionamiento cardiovascular autónomo, además de ser un marcador del funcionamiento neuro cardiovascular y un predictor de mortalidad (McCraty & Shaffer, 2015; Soares-Miranda y cols., 2014). Por ejemplo, un óptimo nivel de VFC en un organismo, refleja no solo un funcionamiento saludable y una adecuada capacidad de autorregulación, sino que también refleja

una buena adaptabilidad y resiliencia, asociada a óptimos niveles de frecuencia cardíaca y capacidad funcional. Al existir un incremento en la primera, ocasiona que el tiempo entre latidos sea menor, y que los niveles de VFC disminuyan, generando alteraciones autonómicas (Mccraty & Shaffer, 2015).

La VFC se obtiene a partir del registro ecocardiográfico, o del uso de sensores de fotopletismografía, en ambos casos, el objetivo es la obtención del Intervalo Entre Latidos (IBI) (Shaffer y cols., 2014), por otro lado, su análisis se lleva a cabo evaluando los intervalos R-R (tiempo en ms, entre latido a latido), a través de distintos métodos. Estos, incluyen dominios de tiempo: DNN (Desviación estándar de los Intervalos R-R normales), RMSDD (Raíz cuadrada de la media de las diferencias entre intervalos RR elevados al cuadrado), PNN50, SDANN (Desviación estándar de los intervalos R-R medidos cada cinco minutos durante todo el registro) y ASDNN (Promedio de la desviación estándar de todos los intervalos RR cada cinco minutos durante todo el registro); dominios de frecuencia: Poder Total (TP), Ultra Baja Frecuencias (ULF), Muy Baja Frecuencia (VLF), Baja Frecuencia (LF), Alta Frecuencia (HF) y proporción Baja Frecuencia/Alta Frecuencia (LF/HF) y variables no lineales; Diagrama de Poincaré, Power Law Slope, Heart Rate turbulence, Medidas de entropía aproximada y análisis de fluctuaciones sin tendencia (Young & Benton, 2018).

Es importante precisar que, aunque los parámetros de tiempo son útiles para detectar anomalías en la actividad del Sistema Nervioso Autónomo, no lo son para cuantificar los cambios específicos de la actividad del Sistema Nervioso Simpático y Parasimpático, para la evaluación de estos cambios, suelen emplearse mayormente los dominios de frecuencia (tabla 1) (Rodas y cols., 2008).

**Tabla 1. Características de los parámetros del dominio de frecuencia de la VFC**

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Definición</i>	<i>Aspectos clínicos</i>
TP (Total power/ poder total)	ms2	Considera el espectro general, es la varianza de todos los componentes de los intervalos R-R. (≤0.4 Hz).	Indica el total de VFC, altos valores se asocian con una mejor salud.
ULF (Ultra Low Frequency/ Ultra Baja Frecuencia)	ms2	Rango de frecuencias ≤ 0.003	Asociado a la presencia de ciclos circadianos, neuroendocrinos e influencias hormonales, vasomotoras y termorreguladoras.
VLF (Very Low Frequency/ Muy Baja Frecuencia)	ms2	Rango de Frecuencias de 0.003-0.04 Hz.	Refleja cambios vasomotores, termorreguladores y una posible influencia del sistema parasimpático sobre el corazón.
LF (Low Frequency/ Baja Frecuencia)	ms2	Rango de frecuencias de 0.04-0.015 Hz.	Refleja una interacción de actividad parasimpática y baroreceptora, observada en frecuencias respiratorias lentas (≤ 7 rpm).
HF (High Frequency/ Alta Frecuencia)	ms2	Rango de frecuencias de 0.015 a 0.4 Hz.	Refleja actividad parasimpática un estado de relajación sobre la frecuencia cardiaca.
Proporción LF/HF	Radio	Proporción entre las bajas frecuencias y las altas del resultado del análisis espectral de la VFC.	Índice de balance autonómico, permitiendo estimar la influencia vagal.

Nota. Adaptado de Rodas y cols., (2008); Young & Benton, (2018)

El espectro de frecuencias permite cuantificar el nivel de VFC presente a partir del siguiente cociente (Peláez-Hernández et al., 2021):

$$\text{Nivel de VFC} = (\text{Baja frecuencia} + \text{Muy baja frecuencia}) / \text{alta frecuencia.}$$

Donde el resultado se clasifica de la siguiente manera:

Alta VFC: 0-0.89; VFC moderada: 0.90-1.1; Baja VFC: ≥1.1.

Como se ha mencionado anteriormente, los altos niveles de VFC se relacionan con un buen estado de salud, mientras que los bajos niveles reflejan alteraciones en el control autonómico cardíaco, ocasionando un mayor riesgo de arritmias y aterosclerosis coronaria (Soares-Miranda y cols., 2014). Además, estas alteraciones, también se relacionan con otras disfunciones, específicamente en el estado cognitivo, se ha observado que bajos niveles en ciertas frecuencias de la VFC como en las HF se relacionan con bajos niveles de funcionamiento cognitivo global, y en ciertas funciones cognitivas como en razonamiento, inhibición memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva (Colzato & Steenbergen, 2017).

En pacientes con ICD, los niveles de VFC se encuentran disminuidos, lo que se relaciona con una menor capacidad de adaptación al entorno, mayor disfunción cardiaca, fatiga y por ende impacta en la capacidad de llevar a cabo actividades físicas, ocasionando problemas en la regulación de frecuencia cardiaca y respiratoria, mismas que llevan a consecuencias como el desarrollo de arritmias, hipertensión y disfunción endotelial, incrementando así las rehospitalizaciones, exacerbaciones, comorbilidades incluso neurocognitivas y una mayor tasa de mortalidad en esta población (André & Yvart, 2015; Masroor y cols., 2018).

## ENTRENAMIENTO EN BIOFEEDBACK

El entrenamiento en biofeedback es una intervención psicológica, conductual, tecnológica, innovadora y no invasiva agrupada dentro de la psicofisiológica aplicada, se puede definir como aquel conjunto de procedimientos destinados a proporcionar a una persona información inmediata y precisa de algún aspecto de su actividad biológica mediante el uso de dispositivos especializados que permite la medición de su actividad fisiológica con el fin de que aprenda a reconocer y a regular o controlar voluntariamente dicha actividad, esto mediante la retroalimentación visual o auditiva en tiempo real que recibe el individuo (Schwartz & Andrasik, 2017).

La tecnología ha ayudado a una mejora en la evolución no solo de los registros fisiológicos y sensores empleados por el biofeedback, sino también en la creación y desarrollo de distintos softwares que permiten que los estímulos empleados para el entrenamiento vayan desde estímulos so-

noros, hasta los basados en realidad aumentada, por otro lado los equipos de Biofeedback también han tenido un gran avance tecnológico, pasando de ser pesados y grandes y requerir de estar conectados a un equipo de cómputo, hasta ser portátiles, poder transmitir los datos de registro a través de redes wifi o incluso emplear aplicaciones móviles. (Bioulac et al., 2019; Ingvaldsen et al., 2021)

Cabe mencionar que el entrenamiento en biofeedback ocurre a menudo en conjunto con cambios en pensamientos, conductas y emociones, los cambios obtenidos en el entrenamiento perduran sobre el tiempo sin la necesidad de usar los dispositivos empleados y la supervisión psicológica.

El entrenamiento en biofeedback es una intervención que ha demostrado tener una buena evidencia y eficacia, en conjunto con la psicoterapia se ha empleado en el tratamiento de manejo del estrés, trastornos como la ansiedad, trastornos de la conducta alimentaria, enfermedades psicosomáticas, y en enfermedades cardiovasculares, entre otros padecimientos (Sielski y cols., 2017).

Emplea técnicas de regulación fisiológica para las modificaciones de diferentes respuestas fisiológicas, cognitivas y psicofisiológicas, en el presente capítulo, nos enfocaremos en el entrenamiento de biofeedback enfocado a la modificación de la VFC. Esta intervención es relativamente nueva, los resultados que genera son observados a corto plazo y mantenidos a lo largo del tiempo, genera un incremento en la homeostasis cardiaca simpática y parasimpática y en la actividad barorrefleja, además de una disminución en la severidad de la sintomatología de padecimientos cardíacos y respiratorios como el asma (Yu y cols., 2018).

Este tipo de entrenamiento en biofeedback emplea el entrenamiento en respiración diafragmática, con una frecuencia respiratoria de 6 respiraciones por minuto, ayudando a sincronizar la respiración con la Frecuencia Cardíaca, este acoplamiento permite modular la actividad vagal y optimizar la regulación autonómica, lo que genera una mayor actividad vagal, disminución y estabilidad de la frecuencia cardíaca y presión arterial, incremento en la sensibilidad y neuroplasticidad del sistema barorreflejo y del sistema nervioso cardíaco intrínseco. (Jester y cols., 2019; Mccraty & Shaffer, 2015; Noble & Hochman, 2019; Yu y cols., 2018)

El objetivo final de este tipo de biofeedback es generar coherencia en la modulación barorrefleja, aumentando la actividad parasimpática,

mejorando los niveles de VFC y reduciendo los síntomas en diversas enfermedades crónicas como asma, enfermedades cardiovasculares y diabetes, y en síntomas emocionales y conductuales como los observados en ansiedad y depresión (Jester y cols., 2019; Mccraty y cols., 2009) También se ha comprobado que esta técnica disminuye la mortalidad y rehospitalización a largo plazo, promoviendo beneficios significativos para la salud general (Yu y cols., 2018).

La evidencia sugiere que se han obtenido buenos resultados, por ejemplo, en un estudio pionero llevado a cabo por Cowan y cols., (1990) en pacientes sobrevivientes de arresto cardiaco, implementó una intervención de cinco semanas, al término de la misma, se observó un incremento significativo de alta frecuencia (HF) y un leve decremento en la frecuencia baja (LF), lo que indicaba una mayor regulación de la actividad parasimpática. Del mismo modo Lehrer y cols., (2000) basándose en el trabajo de Cowan, desarrollaron un manual y entrenamiento en biofeedback de la VFC que consistió en diez sesiones de entrenamiento, al término no solo se observó un incremento de las LF, también una mejoría en la autorregulación emocional de los pacientes, y una disminución del riesgo de padecer un arresto cardiaco, en comparación con el grupo control.

Por otro lado, Yu y cols., (2018) investigaron los efectos a largo plazo del entrenamiento en biofeedback de la VFC en pacientes con enfermedad arterial coronaria. En su estudio, se implementaron 11 sesiones de entrenamiento, se les evaluó antes, al finalizar el tratamiento y un año después, dentro de los resultados, se observó una reducción significativa de la rehospitalización en el grupo experimental y una disminución en los niveles de depresión y hostilidad, y dentro del espectro de frecuencias de la VFC, la LF incrementó en este grupo durante la post evaluación y el seguimiento.

También se han realizado diversos estudios en donde no solo se observa mejoría en aspectos fisiológicos, sino también en otros aspectos como en el funcionamiento cognitivo, por ejemplo, Sutarto y cols., (2013) investigaron los efectos del entrenamiento en biofeedback de la VFC y el rendimiento cognitivo de trabajadoras malayas, encontrando mejoras en atención y memoria, y además de una asociación con un balance autonómico que incrementó la actividad parasimpática.

Jester y cols., (2019) también exploraron los efectos de este entrenamiento en adultos mayores, después de tres semanas de entrenamiento que consistieron en seis sesiones de 30 minutos y una comparación entre la pre y post evaluación, observaron reducciones en ansiedad, depresión y mejoras en la atención. Por su parte, Kim y cols., (2013) y Chang y cols., (2020) demostraron que el entrenamiento en biofeedback de la VFC puede tener efectos positivos en pacientes con daño cerebral y accidente cerebrovascular, mejorando la regulación emocional y el rendimiento cognitivo, especialmente en la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, además de observarse incrementaron el proporción LF/HF, y un mantenimiento a largo plazo de altos niveles de LF, asociándose con una mejoría en la función parasimpática a través de la estimulación vagal y el aumento barro reflejo y una relación entre los efectos del biofeedback, regulación emocional y cognición.

A pesar de la evidencia a favor, actualmente son pocos los estudios que investigan la efectividad del entrenamiento en biofeedback de la VFC en padecimientos cardiopulmonares y en población mexicana, impidiendo una mayor generalización de sus resultados.

### **ENTRENAMIENTO EN BIOFEEDBACK DE LA VFC EN PACIENTES CON ALTERACIONES CARDIOPULMONARES**

Dentro del servicio de cardiología perteneciente al Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER), “Ismael Cosío Villegas” en la ciudad de México, es común observar en los pacientes, no solo alteraciones cardiopulmonares, sino también desregulaciones autonómicas y comorbilidades cognitivas o emocionales, esto asociado a una alta prevalencia de niveles bajos de VFC. Debido a lo anteriormente expuesto, el laboratorio de Psicología de este servicio, como parte de un proyecto de investigación exploratorio, decidió implementar el entrenamiento en biofeedback de la VFC como intervención psicofisiológica en pacientes que presentaron alteraciones en la VFC en conjunto con alteraciones cognitivas. El objetivo del presente estudio fue conocer si el entrenamiento en Biofeedback de la VFC podría modificar su regulación y funcionamiento autonómico a través del incremento y mejoría de la VFC.

### ***Método***

Participaron 4 pacientes del servicio de cardiología adscritos al INER, adultos mayores, quienes aceptaron participar, firmaron el consentimiento informado, y completaron la intervención y las evaluaciones. A continuación, se presentan los datos sociodemográficos (tabla 2).

**Tabla 2. Características sociodemográficas y clínicas de los participantes del entrenamiento en biofeedback de la VFC.**

<i>Caso</i>	<i>Sexo</i>	<i>Edad</i>	<i>Escolaridad</i>	<i>Ocupación</i>	<i>Comorbilidades</i>
A	Femenino	84	Bachillerato	Hogar	SAOS
B	Femenino	72	Primaria	Trabajo Independiente	Hipertensión arterial
C	Femenino	65	Primaria	Hogar	Diabetes Mellitus, Hipertensión arterial, SAOS.
D	Masculino	60	Secundaria	Hogar	SAOS

A continuación, se describe el protocolo de evaluación y tratamiento empleados.

Como primer paso, se detectó a los pacientes que presentaban bajos niveles de VFC, además puntuaciones bajas en una prueba de funcionamiento cognitivo global. Posteriormente se les explicaba en qué consistía el protocolo de evaluación y tratamiento (entrenamiento en Biofeedback de la VFC), invitándolos a participar y firmar el consentimiento informado. Después se realizaba una evaluación basal de la VFC mediante una valoración psicofisiológica que consistió en un protocolo de cuatro fases: Ojos abiertos, ojos cerrados, relajación natural y relajación inducida, cada fase duró aproximadamente 2:30 minutos. La VFC se registró a través de un sensor de Volumen del Pulso Sanguíneo (BVP) colocado en el dedo pulgar de la mano no dominante. Esta Evaluación se realizó una vez más al término del entrenamiento en biofeedback de la VFC y un mes después.

El protocolo de entrenamiento se basó en el propuesto por Lehrer y cols., (2000), este es uno de los mayormente empleados en la intervención en pacientes con distintas enfermedades crónicas. Nuestro entrenamiento consistió en seis semanas, con una sesión de una hora por semana, la modificación de la VFC se entrenó a través de la técnica de respiración

diafragmática, estableciendo el objetivo de lograr una tasa respiratoria de 7 a 6 respiraciones por minuto.

Se empleó el *software* BioGraph infiniti, el cual nos permitió utilizar una pantalla de estímulos visuales y auditivos, dicha pantalla se caracterizaba por mostrar una pequeña figura humana blanca intentando acertar una flecha a una diana, además de mostrar tres barras que representaban tres espectros de frecuencia de la VFC (VLF, LF y HF), mismas constantemente cambiaban de color; si el paciente lograba una adecuada coordinación entre su respuesta cardiaca y respiratoria logrando mantener la tasa respiratoria objetivo del día, el personaje lograba dar al blanco, las barras se tornaban color verde (VLF decremento, VL y HF incrementaron), se le daba un punto al paciente, mismos que podía observar en forma de estrellas, además el registro de la actividad fisiológica a través del sensor BVP y una banda respiratoria abdominal en tiempo real, permitía que el paciente pudiera observar su respiración y frecuencia cardiaca en un dato numérico y en gráficas.

Durante el entrenamiento, siempre se observó que el paciente ejecuta adecuadamente las instrucciones sobre la práctica de respiración diafragmática, apoyándose en la guía y reforzando verbalmente sus logros. Aunado al entrenamiento, a los pacientes se les proporcionó psicoeducación sobre su padecimiento y las comorbilidades cognitivas, además de la enseñanza de la técnica de respiración diafragmática e instarlos a practicarla en casa, pidiendo que llevaran un autorregistro.

Los resultados se analizaron mediante un análisis descriptivo de cada una de las bandas que componen el espectro de frecuencia y del nivel total de VFC obtenido a través del cociente (VLF+LF)/LF. Se tomaron en cuenta los resultados del análisis de la VFC a lo largo de las tres evaluaciones: Pre o línea base, Post tratamiento y seguimiento, para determinar si los cambios observados fueron clínicamente significativos, se empleó el Índice de Cambio Clínico Objetivo de Cardiel (Cardiel, 1994), dicho índice se obtiene de la diferencia entre la puntuación post prueba y la puntuación preprueba, el resultado es dividido entre la puntuación preprueba, cambios superiores a .20 representan un cambio clínico significativo.

## Resultados

**Tabla 3. Efectos en los componentes del espectro de frecuencias de la VFC después del entrenamiento y a un mes de seguimiento.**

Caso	Componente de VFC	Cambio clínico objetivo pre-post	Interpretación		Interpretación
			Cambio clínico objetivo post-seguimiento	Interpretación	
Fase relajación natural					
A	VLF	-0.67	Mejoría**	-0.71	Mejoría**
	LF	-0.58	Empeoramiento++	-0.58	Empeoramiento++
	HF	-0.01	No mejoría	0.07	No mejoría
	VFC Total	-0.41	Mejoría*	-0.71	Mejoría**
Fase Relajación inducida					
	VLF	1.34	Empeoramiento*	-0.58	mejoría**
	LF	-0.52	Empeoramiento++	-0.52	empeoramiento++
	HF	0.10	No mejoría	0.32	mejoría+
	VFC Total	-0.58	Mejoría**	-0.70	mejoría**
Fase relajación natural					
B	VLF	-0.48	Mejoría**	-0.45	Mejoría**
	LF	-0.22	Empeoramiento++	1.78	Mejoría+
	HF	1.70	Mejoría+	0.69	Mejoría+
	VFC Total	-0.79	Mejoría**	-0.43	Mejoría**
Fase Relajación inducida					
	VLF	-0.70	Mejoría**	-0.58	Mejoría**
	LF	-0.25	Empeoramiento++	1.87	Mejoría+
	HF	1.79	Mejoría+	1	Mejoría+
	VFC Total	-0.86	Mejoría**	-0.57	Mejoría**
Fase relajación natural					
C	VLF	-0.02	No mejoría	-0.07	No mejoría
	LF	0.08	No mejoría	-0.007	No mejoría
	HF	0.02	No mejoría	0.05	No mejoría
	VFC Total	0.02	No mejoría	-0.01	No mejoría
Fase Relajación inducida					
	VLF	-0.51	Empeoramiento*	-0.47	Mejoría**
	LF	0.03	No mejoría	-0.24	Empeoramiento++
	HF	-0.03	No mejoría	0.21	No mejoría
	VFC Total	-0.14	No mejoría	-0.45	Mejoría**

Caso	Componente de VFC	Cambio Clínico		Interpretación	Cambio Clínico		Interpretación
		Objetivo pre-post	Objetivo post-seguimiento		Objetivo post-seguimiento	Objetivo post-seguimiento	
D	Fase relajación natural						
	VLF	-0.97	Mejoría**				
Fase Relajación inducida							
	VLF	-0.95	Mejoría**				
	LF	-0.10	No mejoría				
	HF	3.24	Mejoría+				
	VFC Total	-0.90	Mejoría**				

Nota. \*Empeoramiento cuando el CCO en VLF o VFC total se presenta con signo positivo, ya que se espera que los cambios sean negativos. \*\*Mejoría cuando el CCO en VLF o VFC total se presentan con signo negativo. +Mejoría cuando HF o LF se presenta con signo positivo, ya que se espera un incremento en este espectro. ++ Empeoramiento cuando HF o LF se presenta con signo negativo, ya que se espera un incremento positivo en este espectro.

**Tabla 4. Efectos cognitivos globales y en funciones cognitivas específicas después del entrenamiento y a un mes de seguimiento**

Caso	Funciones cognitivas	Cambio clínico		Interpretación	Cambio clínico		Interpretación
		Objetivo Pre-post	Objetivo Post-Pre		Objetivo Post-Pre	Objetivo Post-Pre	
A	Estado Cognitivo Global Atención Memoria Funciones ejecutivas	0.1 2 0 1		Sin Mejoría Mejoría Sin Mejoría Mejoría	0.15 1 0 1		Sin Mejoría Mejoría Sin Mejoría Mejoría
B	Estado Cognitivo Global Atención Memoria Funciones ejecutivas	-0.16 1 -1.3* 0		Sin Mejoría Mejoría Mejoría Sin Mejoría	0.11 1 -1.3* -1.2*		Sin Mejoría Mejoría Mejoría Mejoría
C	Estado Cognitivo Global Atención Memoria Funciones ejecutivas	0.10 0 -1* -0.20*		Sin Mejoría Sin Mejoría Mejoría Mejoría	0.16 0 -0.67* -0.33*		Sin Mejoría Sin Mejoría Mejoría Mejoría

Caso	Funciones cognitivas	Cambio clínico Objetivo Pre-post	Interpretación	Cambio clínico Objetivo Post-Pre	Interpretación
D	Estado Cognitivo Global Atención Memoria Funciones ejecutivas	-0.05 -0.33* -1* -0.37*	Sin Mejoría Mejoría Mejoría Mejoría		

Nota. \* Los signos (-) muestran un incremento inverso en la puntuación normalizada, ya que la puntuación basal se encontraba dentro de un rango promedio negativo, los resultados se toman como mejoría. \*\*Aunque se presenta un signo (-) en este caso se observa un decremento en la puntuación normalizada, ya que la puntuación basal se encontraba en un rango promedio positivo, disminuyendo durante el post prueba.

Los resultados muestran que el entrenamiento en biofeedback generaron cambios positivos en el funcionamiento autonómico (tabla 3) de la mayoría de los pacientes. En el caso A y B se observaron incrementos en el nivel total de VFC después de la intervención y que se mantuvieron a lo largo del tiempo, el caso D presenta mejoría en VFC total después del entrenamiento, sin embargo, por cuestiones derivadas del confinamiento por COVID-19 no fue posible que se evaluará su seguimiento. Por otro lado, dentro de las frecuencias reportadas con incrementos observados en la literatura, solo se observó un incremento de la HF en la post evaluación y el seguimiento en el caso B y en el caso D solo en post evaluación. La LF mostró un incremento únicamente en el caso D. Cabe mencionar que todos los incrementos fueron clínicamente significativos.

Por otro lado, los efectos del biofeedback sobre el funcionamiento cognitivo (tabla 4), mostró que no generó cambios clínicamente significativos en el estado cognitivo global de los pacientes, sin embargo, se observó una mejoría en procesos relacionados con atención, memoria y funciones ejecutivas después del entrenamiento y durante el seguimiento; el caso A mostró mejoras clínicamente significativas en atención y funciones ejecutivas, mientras que el caso B en atención y memoria, el caso C en memoria y funciones ejecutivas, y el caso D mostró mejoría en atención, memoria y funciones ejecutivas después del entrenamiento.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Las afectaciones cardiovasculares presentes en pacientes con enfermedades cardiopulmonares generan un impacto importante en el funcionamiento autonómico, físico, funcional, emocional y cognitivo, incrementando los problemas de salud, disminuyendo la calidad de vida e incrementando la mortalidad.

El entrenamiento en biofeedback de la VFC es una intervención terapéutica complementaria, con un gran potencial en el manejo de pacientes con padecimientos cardiopulmonares. Entre sus principales ventajas destaca su carácter no invasivo, su base tecnológica y la posibilidad de que el paciente aprenda a autorregular en tiempo real sus respuestas fisiológicas, especialmente aquellas mediadas por el sistema nervioso autónomo.

En esta población, el entrenamiento en biofeedback ha mostrado efectos positivos sobre la modulación autonómica, con impactos positivos en la calidad de vida y el funcionamiento cognitivo. Los resultados derivados de la serie de estudios de caso presentados en este capítulo evidencian cambios clínicamente significativos en el funcionamiento autonómico y cognitivo, los cuales se mantuvieron a lo largo del tiempo. Dichos cambios se vincularon a un mayor estado de relajación y una mejoría en el estado simpatovagal, impactando sobre la calidad de vida y el bienestar de los pacientes.

Por otro lado, es importante considerar que, como cualquier intervención psicológica, el biofeedback presenta algunas limitaciones. Su eficacia depende en gran medida del nivel de adherencia del paciente al entrenamiento, así como de su constancia en la práctica de las habilidades adquiridas. Además, los resultados pueden no ser completamente generalizables, ya que factores como la motivación, la edad, la gravedad de la enfermedad, los efectos de los tratamientos farmacológicos o la presencia de comorbilidades puede influir en la respuesta individual. Otra desventaja importante es el alto costo de los equipos de entrenamiento y registro, lo que puede dificultar su implementación en las instituciones de salud.

Aunque el biofeedback ha demostrado eficiencia clínica y resultados estadísticamente significativos en diferentes enfermedades crónicas, sus efectos pueden variar entre poblaciones e incluso de un mismo grupo que comparte la misma enfermedad. Por ello, se recomienda que las intervenciones sean personalizadas y adaptadas a las características y necesidades

de cada paciente. Debido a esto, es fundamental contar con psicólogos con formación especializada en psicofisiología, que sean capaces de evaluar la pertinencia de esta intervención en cada caso particular.

Este trabajo forma parte de una fase inicial de investigación, la cual se espera ampliar en el futuro con una mayor muestra. Sin embargo, los hallazgos obtenidos invitan a continuar profundizando sobre el impacto que tiene el biofeedback en el funcionamiento autonómico y su interacción con procesos cognitivos y emocionales.

Finalmente, el desarrollo e implementación de intervenciones tecnológicas como el entrenamiento en biofeedback de la VFC abre nuevas posibilidades a un abordaje integral de las enfermedades crónicas desde una perspectiva interdisciplinaria. Además de permitir una ampliación dentro del repertorio de intervenciones no farmacológicas para los pacientes, esta tecnología también representa una oportunidad de desarrollo para la psicología en un nuevo campo para la psicología, tanto en la aplicación clínica, como en el desarrollo y perfeccionamiento de tecnología enfocada a la mejoría de la salud mental.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alqahtani, J. S., Aldhahir, A. M., Alghamdi, S. M., Al Ghamdi, S. S., AlDraiwiesh, I. A., Alsulayyim, A. S., Alqahtani, A. S., Alobaidi, N. Y., Al Saikhan, L., AlRabeeah, S. M., Alzahrani, E. M., Heubel, A. D., Mendes, R. G., Alqarni, A. A., Alanazi, A. M., & Oyelade, T. (2023). A systematic review and meta-analysis of heart rate variability in COPD. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 10, 1070327. <https://doi.org/10.3389/FCVM.2023.1070327> BIBTEX
- André, N., & Yvart, F.-X. (2015). Changement de la variabilité de la fréquence cardiaque en réponse à un traitement par la respiration

- profonde chez des patients cardiaques avec troubles anxieux : un protocole exploratoire à cas unique. *Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive*, 25(4), 168–176. <https://doi.org/10.1016/J.JTCC.2015.09.001>
- Bioulac, S., Purper-Ouakil, D., Ros, T., Blasco-Fontecilla, H., Prats, M., Mayaud, L., & Brandeis, D. (2019). Personalized at-home neurofeedback compared with long-acting methylphenidate in an european non-inferiority randomized trial in children with ADHD. *BMC psychiatry*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/S12888-019-2218-0>
- Black-Shinn, J. L., Kinney, G. L., Wise, A. L., Regan, E. A., Make, B., Krantz, M. J., Barr, R. G., Murphy, J. R., Lynch, D., Silverman, E. K., Crapo, J. D., & Hokanson, J. E. (2014). Cardiovascular Disease is Associated with COPD Severity and Reduced Functional Status and Quality of Life. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 11(5), 546–551. <https://doi.org/10.3109/15412555.2014.898029>
- Cardiel, R. (1994). La medición de la calidad de vida. En L. Moreno, Cano-Valle, & H. García-Romero (Eds.), *Epidemiología clínica* (pp. 189–199). Interamericana McGraw-Hill.
- Chang, W.-L., Lee, J.-T., Li, C.-R., Davis, A. H. T., Yang, C.-C., & Chen, Y.-J. (2020). Effects of Heart Rate Variability Biofeedback in Patients With Acute Ischemic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Biological research for nursing*, 22(1), 34–44. <https://doi.org/10.1177/1099800419881210>
- Colzato, L. S., & Steenbergen, L. (2017). High vagally mediated resting-state heart rate variability is associated with superior action cascading. *Neuropsychologia*, 106, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.08.030>
- Cowan, M. J., Kogan, H., Burr, R., Hendershot, S., & Buchanan, L. (1990). Power spectral analysis of heart rate variability after biofeedback training. *Journal of Electrocardiology*, 23, 85–94. [https://doi.org/10.1016/0022-0736\(90\)90081-C](https://doi.org/10.1016/0022-0736(90)90081-C)
- Forte, G., Favieri, F., & Casagrande, M. (2019). Heart Rate Variability and Cognitive Function: A Systematic Review. *Frontiers in neuroscience*, 13, 710. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00710>
- Hernández Simón, P., Lázaro Salvador, M., Alcalá López, J. E., & Maicas Bellido, C. (2017). Cor pulmonale. *Medicine–Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 12(35), 2116–2126. <https://doi.org/10.1016/J.MED.2017.06.004>

- Ingvaldsen, S. H., Tronvik, E., Brenner, E., Winnberg, I., Olsen, A., Gravdahl, G. B., & Stubberud, A. (2021). A Biofeedback App for Migraine: Development and Usability Study. *JMIR formative research*, 5(7). <https://doi.org/10.2196/23229>
- Jester, D. J., Rozek, E. K., & McKelley, R. A. (2019). Heart rate variability biofeedback: implications for cognitive and psychiatric effects in older adults. *Aging & Mental Health*, 23(5), 574–580. <https://doi.org/10.1080/13607863.2018.1432031>
- Kim, S., Zemon, V., Cavallo, M. M., Rath, J. F., McCraty, R., & Foley, F. W. (2013). Heart rate variability biofeedback, executive functioning and chronic brain injury. *Brain Injury*, 27(2), 209–222. <https://doi.org/10.3109/02699052.2012.729292>
- Kwon, P. M., Lawrence, S., Mueller, B. R., Thayer, J. F., Benn, E. K. T., & Robinson-Papp, J. (2022). Interpreting resting heart rate variability in complex populations: the role of autonomic reflexes and comorbidities. *Clinical autonomic research : official journal of the Clinical Autonomic Research Society*, 32(3), 175. <https://doi.org/10.1007/S10286-022-00865-2>
- Lehrer, P. M., Vaschillo, E., & Vaschillo, B. (2000). Resonant Frequency Biofeedback Training to Increase Cardiac Variability: Rationale and Manual for Training. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 25(3), 177–191. <https://doi.org/10.1023/A:1009554825745>
- Masroor, S., Bhati, P., Verma, S., Khan, M., & Hussain, M. E. (2018). Heart Rate Variability following Combined Aerobic and Resistance Training in Sedentary Hypertensive Women: A Randomised Control Trial. *Indian Heart Journal*, 70, S28–S35. <https://doi.org/10.1016/J.IHJ.2018.03.005>
- McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., & Bradley, R. T. (2009). The Coherent Heart Heart-Brain Interactions, Psychophysiological Coherence, and the Emergence of System-Wide Order. En *REVIEW December* (Vol. 5, Número 2). [http://www.integral-review.org/issues/vol\\_5\\_no\\_2\\_mccraty\\_et\\_al\\_the\\_coherent\\_heart.pdf](http://www.integral-review.org/issues/vol_5_no_2_mccraty_et_al_the_coherent_heart.pdf)
- McCraty, R., & Shaffer, F. (2015). Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health Risk. *Global Advances in Health and Medicine*, 4(1), 46–61. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.073>

- Noble, D. J., & Hochman, S. (2019). Hypothesis: Pulmonary Afferent Activity Patterns During Slow, Deep Breathing Contribute to the Neural Induction of Physiological Relaxation. *Frontiers in Physiology*, 10, 1176. [https://doi.org/10.3389/FPHYS.2019.01176/BIBTEX](https://doi.org/10.3389/FPHYS.2019.01176)
- Parsons, P. E., Wiener-Kronish, J. P., & Dixon, A. E. (2013). Chapter 22 – Chronic obstructive pulmonary disease. En *Critical Care Secrets* (pp. 151–156). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-08500-7.00023-0>
- Peláez-Hernández, V., Luna-Rodríguez, G. L., Orea-Tejeda, A., Mora-Gallegos, J., Keirns-Davis, C., & González-Islas, D. (2021). Heart rate variability disturbances and biofeedback treatment in COVID-19 survivors. *e-Journal of Cardiology Practice*, 21(4). <https://www.es-cardio.org/Journals/E-Journal-of-Cardiology-Practice/Volume-21/heart-rate-variability-disturbances-and-biofeedback-treatment-in-covid-19-survivors>
- Rodas, G., Pedret Carballido, C., Ramos, J., Capdevila, L., Activa, M., & Roldas Avda Arístides Maillol, G. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: Concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (I). *Archivos de medicina del deporte*, 25(123), 41–47.
- Schwartz, M. S. (Mark S., & Andrasik, F. (2017). *Biofeedback : a practitioner's guide* (M. S. (Mark S. Schwartz & F. Andrasik, Eds.; 4th ed.). The Guilford Press.
- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, 5, 1040. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040>
- Sielski, R., Rief, W., & Glombiewski, J. A. (2017). Efficacy of Biofeedback in Chronic back Pain: a Meta-Analysis. *International Journal of Behavioral Medicine*, 24(1), 25–41. <https://doi.org/10.1007/S12529-016-9572-9/METRICS>
- Soares-Miranda, L., Sattelmair, J., Chaves, P., Duncan, G. E., Siscovick, D. S., Stein, P. K., & Mozaffarian, D. (2014). Physical Activity and Heart Rate Variability in Older Adults. *Circulation*, 129(21), 2100–2110. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005361>
- Sutarto, A. P., Wahab, M. N. A., & Zin, N. M. (2013). Effect of biofeedback training on operator's cognitive performance. *Work (Reading, Mass.)*, 44(2), 231–243. <https://doi.org/10.3233/WOR-121499>

Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>

# El uso de aplicaciones móviles para el manejo del estrés académico en universitarios

*Gerardo Ruvalcaba Palacios<sup>1</sup>*  
*Claudia Marcela Cantú Sánchez<sup>2</sup>*

## INTRODUCCIÓN

El número de estudiantes universitarios a nivel mundial es muy grande. Según la UNESCO, para el 2021 había más de 220 millones en el mundo, un aumento de 5.7% con respecto al año anterior (UProspect, 2023) y, según cifras de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), los estudiantes universitarios representaron dos terceras partes de todos los jóvenes adultos entre sus países miembros. Preservar la salud mental y física de este amplio sector poblacional es una prioridad mundial muy significativa, que adquiere mayor importancia si se tiene en cuenta que serán ellos los futuros líderes, políticos, gerentes o proveedores profesionales de bienes y servicios que guiarán el desarrollo social (Montagni *et al.*, 2018).

A pesar de la mencionada preocupación y de los recursos que se destinan para su protección, este segmento tiende a reportar una pobre salud física, que se ve agravada por un consumo problemático de alcohol y drogas, sedentarismo y, muy significativamente, por problemas de salud mental, los cuales comúnmente se manifiestan en altos niveles de estrés ansiedad y depresión, relacionados principalmente con la vida académica

<sup>1</sup> Profesor e Investigador, Departamento de Enfermería y Obstetricia, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, Irapuato, Guanajuato, México 36500. <https://orcid.org/0000-0001-9206-4439>

<sup>2</sup> Profesora e Investigadora, Departamento de Enfermería y Obstetricia, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, Irapuato, Guanajuato, México 36500. <https://orcid.org/0000-0003-2677-2570>

propia de su formación profesional, por lo que en su conjunto este estado emocional ha sido denominado estrés académico (EA).

Diferentes estudios han demostrado que las intervenciones basadas en la relajación, la meditación y/o en la respiración, ayudan significativamente a los individuos a aliviar y tratar los efectos del estrés mediante la reducción de la activación psicológica y equilibrando la función autonómica (Azam, Latman & Katz, 2019). En esencia, estas intervenciones logran la integración mente-cuerpo necesaria para lidiar efectivamente con el estrés a un nivel psicofisiológico, pues ayudan a las personas a decrecer su ritmo respiratorio, tomar más oxígeno y reducir el uso de los músculos del cuello, hombros y la parte superior del pecho al respirar, lo que conduce a un mejor balance emocional y una mejor adaptación social (Pizzoli, Marzorati, Mazzoni & Pravettoni, 2020) por lo que estas intervenciones han resultado efectivas para el control del EA. Los estudios sobre el tema han documentado que las intervenciones basadas en el internet o en el uso de aplicaciones móviles producen los mismos efectos sobre el estrés que las intervenciones tradicionales basadas en el contacto directo, cara a cara (Grau-Corral *et al.*, 2020), por lo que han sido propuestas como una intervención segura, adecuada, accesible y eficaz para el tratamiento de dicho estado emocional.

Por otro lado, la misma dinámica educativa condiciona a que este importante segmento poblacional disponga de dispositivos modernos de información, como teléfonos celulares, computadoras y tabletas electrónicas; además, los estudiantes universitarios están ubicados entre los más numerosos usuarios de internet y nuevas tecnologías, no solo como consecuencia de sus actividades formativas, sino también para mantenerse comunicados, recrearse y en general, para aprender. En vista de esto, los estudiantes universitarios representan un importante grupo para las intervenciones en lo que se ha denominado salud digital (Montagni *et al.*, 2018), la cual se define como el uso de las tecnologías de la información o la comunicación (principalmente internet o aplicaciones móviles) para el logro de mejores estados de salud, la cual, como se sabe, está concebida como un estado de completo bienestar físico, mental y social (Hernández-Gamboa & Cañaveral, 2022).

En este capítulo se presenta un panorama general del EA entre los estudiantes universitarios, sus principales efectos a la salud y al desem-

peño escolar. Además, se ofrece una perspectiva de cómo el uso de las aplicaciones móviles puede constituirse como una opción efectiva para el manejo del problema. El capítulo finaliza con una reflexión sobre las principales limitaciones del uso digital de las intervenciones psicológicas y un análisis de las perspectivas futuras de su aplicación para el control emocional de los universitarios.

## ESTRÉS ACADÉMICO COMO PROBLEMA DE SALUD MENTAL EN LAS UNIVERSIDADES

El estrés es una respuesta adaptativa deseable, que ayuda al organismo a superar efectivamente las demandas que el medio ambiente le impone. Así, es una respuesta positiva que permite la sobrevivencia. La Organización Mundial de la Salud (OMS) lo define como el conjunto de reacciones fisiológicas de las que dispone el organismo para enfrentar satisfactoriamente las circunstancias que las originaron. Se le considera como un fenómeno que implica una multitud de respuestas orgánicas y mentales, que resultan de la interacción de la persona y los eventos del medio. Por lo tanto, integra procesos y reacciones neuroendocrinas, inmunológicas, emocionales y conductuales ante situaciones que se perciben como una amenaza para la integridad biológica o psicológica (Jurado-Botina, Montero-Bolaños, Carlosama-Rodríguez & Tabares-Díaz, 2021).

Sin embargo, cuando el estrés se vuelve crónico o desproporcionado, o bien, cuando las respuestas se instalan sin atender a un estímulo específico o real, o cuando las demandas son percibidas como riesgosas o que exigen habilidades de las que se carece, entonces el estrés se transforma en una enfermedad que causa serios problemas a la salud física y mental.

Dada su elevada prevalencia, actualmente se le considera como un importante problema de salud que, a nivel mundial, afecta a una de cada cuatro personas (Jurado-Botina *et al.* 2021). En el medio universitario, se ha documentado que el 86% de los jóvenes ha reportado padecer síntomas y que hasta el 67% de los estudiantes en Latinoamérica refieren padecerlo (Román, Ortiz, & Hernández, 2008). Cuando el origen del estrés está estrechamente relacionado con el proceso de formación de la persona, entonces se le denomina estrés académico (EA).

El EA hace referencia al proceso psicológico que sufre el estudiante cuando se ve sometido a las demandas relacionadas con su desempeño en el entorno escolar, incluido el nuevo rol de universitario, las normas y demandas propias de su formación profesional, y el desempeño que debe exhibir en un ambiente que posee un trasfondo de elevada competitividad. Además, deben incluirse sus expectativas académicas y las de sus familiares (Ramón-Arubés, *et al.*, 2020), así como su contexto psicosocial (Restrepo, Sánchez & Castañeda-Quirama, 2020) y los cambios en el estilo de vida que el joven enfrenta como parte de su formación, como, por ejemplo, alteraciones de horario y la poca oportunidad de mantener vida social.

Los principales estresores que han sido identificados como aquellos a los que comúnmente el universitario se enfrenta son los exámenes, la sobrecarga de tareas y la falta de tiempo; aunque también se han identificado factores relacionados con la personalidad del estudiante y el carácter del docente (Jurado-Botina *et al.*, 2021).

### **AFFECTACIONES ACADÉMICAS Y A LA SALUD DEL ESTUDIANTE**

Los efectos del EA pueden variar en un rango muy amplio, que van desde experimentar una incomodidad difusa que origina mínimas o inexistentes consecuencias y por lo tanto que es de difícil identificación, hasta alteraciones de la salud física y psicológica, que además, casi siempre tienen consecuencias sobre la vida personal, social y académica (Restrepo *et al.*, 2020.).

Las reacciones físicas del estrés más comunes incluyen fatiga crónica, agotamiento, miedo y somnolencia, además de alteración en la conducta alimentaria y de los patrones de sueño, aumento de conductas adictivas e involucrarse en actividades consideradas de alto riesgo. Psicológicamente, es común que se presente inquietud, sentimientos de tristeza, problemas de concentración e incapacidad para relajarse. Generalmente se le asocia con el desarrollo de ansiedad y depresión, así como ideaciones suicidas.

Académicamente, se le ha asociado con deterioros de la atención, la memoria y el aprendizaje, y por lo tanto, con un pobre rendimiento académico, desinterés por la carrera, ausentismo y desmotivación, lo que puede

llover al fracaso y la deserción escolar o bien a plantearse seriamente la idea de darse de baja de la carrera (Silva-Ramos, López-Cocotle, & Meza-Zamora, 2020). Así mismo, los jóvenes afectados también comienzan a desarrollar hábitos tóxicos como tabaquismo, consumo de alcohol y drogas; además de hacer mal uso del tiempo de ocio y recreación, y la adopción de malos hábitos de ejercicio, riesgos en la conducta sexual y un incremento significativo en la participación en incidentes violentos (Matos, Matos, & Muñoz, 2022). En su conjunto, todos estos elementos llevan a los estudiantes a presentar una mala condición de salud, lo que se agrava notablemente debido a que en muchas ocasiones no son conscientes del nivel de estrés que experimentan hasta que estos les resultan perjudiciales. Como consecuencia, el EA también implica para el personal sanitario el tratamiento de condiciones complejas y, para las instituciones de salud, un elevado costo de los servicios implicados en el tratamiento del problema (Jalil *et al.*, 2017; Kramarz *et al.*, 2023).

Sin embargo, los costos del problema no se limitan solamente a lo financiero o al desempeño de los estudiantes durante su formación, pues se ha visto que también afecta su vida futura como profesionistas, y está documentado que las personas que sufrieron dificultades o alteraciones en su salud mental durante su formación son también más proclives a padecer deterioro físico y mental durante su carrera profesional (Riveros, 2018). Esto ha llevado a que diferentes investigadores y autoridades involucradas en el tema, destaquen la importancia y la necesidad de atender la salud mental de los universitarios, por lo que actualmente se asume que aplicar intervenciones para el tratamiento emocional es una obligación social e institucional que debe ser abordada de manera prioritaria dadas las implicaciones académicas, sanitarias, sociales, financieras y legales que puede acarrear.

### **POCO PERSONAL PARA ATENDERLO**

En este sentido, la OMS, dentro de sus planes de prevención, tratamiento y superación de los trastornos mentales, describe que la salud mental es un requisito fundamental para la salud humana, sin embargo, son la primera causa de discapacidad y un importante problema de salud pública a nivel mundial, debido principalmente a la progresión del trastorno, las

dificultades en su manejo terapéutico y el crecimiento de su prevalencia (Ramón-Arubés, *et al.*, 2020).

El estrés, la ansiedad y la depresión son los principales indicadores de salud mental de los individuos. Entre los universitarios dichos factores son predictores de la salud mental que tendrán durante la vida adulta y profesional, por lo que, si no son tratados adecuadamente, pueden conducir a serios problemas en el mediano y largo plazo. Esta población ha sido catalogada como un sector de riesgo para padecer estrés, ansiedad y depresión. Se estima que, a nivel mundial, del 12 al 50% de los estudiantes padece alguna alteración emocional y que la tercera parte de los estudiantes universitarios de nuevo ingreso llega a reportar problemas de salud mental (Bruffaerts *et al.*, 2018), además, diferentes investigaciones (por ejemplo, Ferrari *et al.*, 2022), destacan que durante los estudios universitarios se presenta el pico más elevado de comienzo de numerosos problemas mentales, muchos de ellos relacionados con el propio estilo de vida universitario, como por ejemplo, alteración de los patrones de sueño o de alimentación, la existencia de factores financieros negativos y la nula o escasa disposición de tiempo libre. Así, la OMS ha reportado que hasta uno de cada tres estudiantes experimenta algún problema mental diagnositable, y que los estudiantes con trastornos mentales o alteraciones emocionales presentan hasta un 2.5 más de probabilidad de desertar de los estudios que las personas que no los padecen (Ferrari *et al.*, 2022). Incluso, se cree que pertenecer al sector universitario es un factor de riesgo para padecer alteraciones emocionales o afectaciones importantes a la salud.

En este orden de ideas, se ha destacado la necesidad de diseñar estrategias de intervención que permitan un manejo adecuado del problema y que consideren la máxima clínica de que la atención preventiva y el diagnóstico temprano siempre conducirán a obtener mejores resultados de las intervenciones (Restrepo *et al.*, 2020) lo que permitirá a los estudiantes desenvolverse mejor en su trayectoria formativa.

El aumento sostenido de problemas de salud mental entre los estudiantes ha provocado que los servicios universitarios de consejería o de acompañamiento psicológico se encuentren rebasados e incapaces de atender la creciente demanda (Montagni *et al.*, 2018); a tal grado, que estimaciones recientes documentan que solo el 25 o 30% de los afectados por estrés o que padecen algún problema de salud mental reciben atención (Kirk *et al.*,

2023). A este respecto, la OMS, en una encuesta realizada en el 2016, encontró que solo el 16% de los estudiantes necesitados recibían la atención mínima necesaria y que era muy probable que la falta de atención mental derivaría en problemas de salud más complejos y severos (Auerbach *et al.*, 2016). La carencia de personal capacitado y la insuficiencia de los servicios universitarios para atender los problemas relacionados con la salud mental de los estudiantes, ha desembocado en un llamado importante de la OMS para usar la tecnología digital como coadyuvante en su atención, resaltando la utilidad de las aplicaciones móviles como una alternativa adecuada, cuyos alcances y beneficios deben ser estudiados (Montagni *et al.*, 2018).

En este sentido, debe subrayarse que prácticamente toda la población estudiantil posee un teléfono móvil y que las conexiones a internet son tan accesibles, que están al alcance de la inmensa mayoría, si no es que de la totalidad de los universitarios. Según la OMS (Consejo Ejecutivo, 139, 2016; Global Observatory for eHealth, 2016), se tiene un registro de cinco billones de suscripciones de teléfonos móviles en el mundo, de los cuales el 85% tiene acceso a la red inalámbrica comercial y que el 55.8% son usuarios activos de internet. En países de mediano ingreso como Argentina se ha registrado que hasta el 75.5% de los hogares tienen acceso a internet y que 8 de cada 10 personas poseen y utilizan teléfonos celulares (INDEC, 2018). En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en colaboración con el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), realizó la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH, 2023), para obtener datos sobre la disponibilidad y el uso de las tecnologías de la información y comunicaciones. Los resultados mostraron que, en 2022, el grupo de edad que concentró el mayor porcentaje de personas usuarias de internet fue el de 18 a 24 años (segmento que agrupa a los jóvenes universitarios), con una participación de 95.1 por ciento. Además, se registraron 25.8 millones de hogares con acceso a internet (68.5 % del total nacional), y que el teléfono celular fue una de las tecnologías con mayor uso entre la población, estimando que había 93.8 millones de usuarios, pasando del 74.9 al 79.2 % de la población, lo que representó un incremento de 4.3 puntos porcentuales entre 2019 y 2022. Lo que refleja que la gran mayoría de la población posee y utiliza un teléfono celular.

Debido a la disposición casi total de teléfonos móviles por parte de los estudiantes, se ha propuesto que el uso de aplicaciones móviles es una estrategia pertinente y viable que posee la gran ventaja de ser de fácil acceso, lo que posibilita el desarrollo de conductas encaminadas a la educación y prevención de la salud y a la reducción de los costos sanitarios (Chavira-García & Arredondo-López, 2017). Además, su empleo como intervención para el afrontamiento del EA ha demostrado ser efectivo, y al mismo tiempo, poseer la gran ventaja de promover en los usuarios la adopción de un rol protagónico y activo en relación con el cuidado y mantenimiento de su salud mental (González, & Morales, 2015). De esta forma, el uso de aplicaciones móviles que ayuden al manejo del estrés en los estudiantes universitarios parece una opción factible y adecuada (Grau-Corral *et al.*, 2020).

### **BENEFICIOS DEL USO DE APLICACIONES MÓVILES EN EL ESTRÉS ACADÉMICO DE UNIVERSITARIOS**

En la actualidad, el uso de teléfonos móviles es tan importante que incluso la OMS considera que en un futuro cercano el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) permitirá a las personas tener mayor acceso, conocimientos y un mejor comportamiento en materia de salud. A este respecto, empiezan a emerger nuevos conceptos y definiciones relacionados con el uso de estas tecnologías para favorecer la salud. Por ejemplo, a la aplicación de las TIC en los servicios de salud se les denominó *eHealth*, mientras que a la utilización específicamente de tecnologías y aplicaciones móviles en temas de salud se les denominó *mHealth* (Celleri & Garay, 2021), ambas formas de promover y cuidar la salud están cobrando una gran relevancia y no puede negarse que su uso está en franca expansión y que será una manera muy popular de cuidar la salud, promoverla y atender aquellas condiciones que impidan a las personas la plenitud por lo que en la actualidad su papel protagónico en la sociedad es muy importante y se espera que en el corto plazo adquiera una importancia muy significativa.

Las aplicaciones *mHealth* en salud mental incluye psicoeducación, técnicas o ejercicios de autoayuda o que ofrecen la posibilidad de interactuar con profesionales de la salud mental en tiempo real, por lo que también

permiten ser usadas como un complemento a los programas de tratamiento personal u ofrecidos mediante un sitio web (Celleri & Garay, 2021). Incluyen una variedad de herramientas como el internet, el uso de los teléfonos móviles, computadoras y otros dispositivos electrónicos. Se les ha usado en una gran variedad de trastornos y condiciones que tienen como base el desequilibrio emocional y han demostrado su eficacia en el manejo de la depresión, la ansiedad y el estrés. Las estrategias comúnmente utilizadas incluyen la activación conductual, el mindfulness, la terapia cognitivo conductual (TCC), la psicoeducación y la relajación (Ferrari *et al.*, 2022). El costo de estas aplicaciones puede variar ampliamente, desde unos cuantos miles de pesos hasta decenas de miles, eso dependerá de la complejidad, funcionalidad y plataformas de aplicación. Según Shah (2025), las más básicas pueden costar entre 15 y 30 mil pesos, mientras las más complejas, que incluyen telemedicina, integración con dispositivos portátiles o análisis basados en IA, pueden superar los \$100,000. Las más básicas son muy accesibles y las más complejas tienen una accesibilidad restringida pues normalmente son usadas por profesionales u organizaciones dedicadas al cuidado de la salud.

En resumen, puede decirse que la utilización de aplicaciones móviles para el control del EA se ha constituido en un instrumento valioso que puede ayudar a los universitarios a desarrollar las herramientas básicas para el control, cuidado y prevención de su salud mental. En general, son aplicaciones de fácil acceso que pueden contribuir a que se integren y se concienticen conductas de autocuidado y prevención, lo que puede conducir a reducir los costos sanitarios (Chavira-García & Arredondo-López, 2017).

Además, dentro de este enfoque la participación directa del individuo es muy importante, de tal forma que, el empoderamiento y la responsabilidad por la propia salud es un elemento clave. Esto ha propiciado que el uso de las tecnologías digitales en la salud mental se haya constituido como una innovación muy prometedora, de fácil acceso, ampliamente aceptada y con una gran capacidad de mejora con el paso del tiempo. Otro beneficio del uso de aplicaciones móviles en el cuidado de la salud mental es que ofrecen una excelente relación costo-beneficio que si solamente se utiliza la tradicional intervención cara a cara. Por otro lado, una gran ventaja es que proporcionan a los estudiantes la seguridad de que no

serán señalados o estigmatizados por el uso de los servicios psicológicos institucionales o bien que no tendrán la limitación de tiempo para atender sus necesidades emocionales, pudiendo recurrir al uso de la aplicación cuando y en donde les sea posible (Ferrari *et al.*, 2022).

Otro elemento positivo en favor de las aplicaciones móviles para el tratamiento de la salud mental es su amplia disponibilidad. En el 2017 existían 325,000 aplicaciones relacionadas con la salud ofrecidas principalmente para la plataforma Android (Research2Guidance, 2017), un aumento importante si se considera que para el 2016, en las principales tiendas, se ofrecían 259,000 aplicaciones (Alonso-Arevalo & Mirón-Canelo, 2017). Sin embargo, debe resaltarse que únicamente el 4% de estos desarrollos tiene lugar en América Latina, el 46% en Europa y el 36% en Estados Unidos (Resarch2Guidance, 2017), lo que ofrece una gran área de oportunidad para el desarrollo de aplicaciones en los países de habla hispana y concretamente, para México.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El uso de las aplicaciones móviles para el manejo del EA ofrece muchas ventajas, entre ellas puede decirse que actúan como elementos preventivos de problemas académicos, afectivos y de salud graves, que complicaría el diagnóstico y la intervención con los estudiantes; además, permiten mejorar la accesibilidad de la intervención y garantizar la disponibilidad de recursos psicológicos que faciliten el tratamiento del EA sin la necesidad de la intervención personal o la supervisión cercana de un profesional de la salud mental. Además, es común que actualmente los estudiantes prefieran buscar y obtener ayuda usando el internet o las aplicaciones para resolver sus necesidades y más cuando se trata de salud mental (Harrer *et al.* 2018), por lo que las aplicaciones incluso llegan a sectores de la población que de otra forma no buscarían atención.

Sin embargo, como lo señalan algunos autores (por ejemplo, Celleri & Garay, 2021), se requiere que las aplicaciones no solamente hagan referencia a los beneficios que ofrecen; pues es necesario que su eficacia esté basada en evidencia científica y que incluyan información sobre el modelo teórico que las respalda o acerca de la intervención que están proponiendo. También es importante que los usuarios conozcan las credenciales

científicas, profesionales y/o académicas de los desarrolladores, aspectos que son ignorados en la mayoría de las aplicaciones disponibles.

Por otro lado, es necesario realizar más investigación sobre los resultados y beneficios que ofrecen las aplicaciones móviles para ayudar a afrontar el EA de los jóvenes universitarios. La investigación debe ser amplia y vasta e incluir aspectos que vayan más allá de la efectividad de las intervenciones, el marco teórico que las sustenta o la formación académico-científica de los desarrolladores; e incluir aspectos medulares como la retroalimentación del desempeño del usuario, y correlacionar con el género, la edad, la percepción que tengan de su salud y el uso que pudiera darse a una aplicación determinada, ya sea un uso preventivo o bien, de intervención para estudiantes que hayan sido diagnosticados con algún trastorno emocional.

El uso de las aplicaciones móviles para el tratamiento del EA es un campo en expansión, que ha demostrado su eficacia para el manejo de un problema importante de salud mental a nivel mundial que tiene serias repercusiones sociales, económicas e individuales. Para los psicólogos es un área de oportunidad importante y para los estudiantes, una opción viable para el tratamiento de su salud mental.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso-Arévalo, J., & Mirón-Canelo, J. A. (2017). Aplicaciones móviles en salud: potencial, normativa de seguridad y regulación. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud* (ACIMED), 28(3), 1-13.
- Auerbach, R.P., Mortier, P., Bruffaerts, R., Alonso, J., Benjet, C., ..., WHO WMH-ICS Collaborators. (2018). WHO World Mental Health Surveys International College Student Project: Prevalence and distribution of

- mental disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, 127(7), 623-638. DOI: 10.1037/abn0000362. PMID: 30211576; PMCID: PMC6193834.
- Azam, M.A., Latman, V.V. & Katz, J. (2019). Effects of a 12-minute smart-phone-based mindful breathing task on heart rate variability for students with clinically relevant chronic pain, depression, and anxiety: protocol for a randomized controlled trial. *JMIR Research Protocols*, 8(12), e14119. Doi: 10.2196/14119
- Bruffaerts, R., Mortier, P., Kiekens, G., Auerbach, R. P., Cuijpers, P., Demyttenaere, K., Green, J. G., Nock, M. K., & Kessler, R. C. (2018). Mental health problems in college freshmen: Prevalence and academic functioning. *Journal of Affective Disorders*, 225, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.07.044>
- Celleri, M., & Garay, C. (2021). Aplicaciones móviles para ansiedad: una revisión en Argentina. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 13(1), 17-24. DOI: <https://doi.org/10.32348/1852.4206.v13.n1.23681>
- Chavira-García, J., & Arredondo-López, A. A. (2017). Aplicaciones móviles como herramientas en los servicios de salud. *Horizonte Sanitario*, 16(2), 85-91. ISSN: 2007-7459. <https://doi.org/10.19136/hs.a16n2.1498>
- Consejo Ejecutivo, 139. (2016). *Salud: uso de las tecnologías móviles inalámbricas en la salud pública: Informe de la Secretaría Organización Mundial de la Salud (Documento EB139/8)*. <https://iris.who.int/handle/10665/250908>
- Encuesta Nacional Sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) (2023). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) e Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT). [Comunicado de prensa]. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/ENDUTIH/ENDUTIH\\_23.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/ENDUTIH/ENDUTIH_23.pdf)
- Ferrari, M., Allan, S., Arnold, C., Eleftheriadis, D., Alvarez-Jimenez, M., Gumley, A. & Gleeson, J.F. (2022). Digital Interventions for Psychological Well-being in University Students: Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 24(9), e39686. doi:[10.2196/39686](https://doi.org/10.2196/39686)
- Global Observatory for eHealth (2016). Global diffusion for eHealth: Making universal health coverage achievable. OMS. Documento web recuperado de: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241511780>

- González, J. I. N., & Morales, B. F. (2015). Comunicación, Salud y Tecnología: mHealth. *Revista de Comunicación y Salud: RCyS*, 5(1), 144-153. doi: 10.35669/revistadecomunicacionysalud.2015.5(1).
- Grau-Corral, I., Gascon, P., Grajales, F. J., Kostov, B., & Sisó, A. (2020). Availability of Spanish-Language Medical Apps in Google Play and the App Store: Retrospective Descriptive Analysis Using Google Tools. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(12), e17139. <https://doi.org/10.2196/17139>
- Harrer, M., Adam, S. H., Fleischmann, R. J., Baumeister, H., Auerbach, R., Bruffaerts, R., Cuijpers, P., Kessler, R. C., Berking, M., Lehr, D., & Ebert, D. D. (2018). Effectiveness of an internet- and app-based intervention for college students with elevated stress: Randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*, 20(4), e136. <https://doi.org/10.2196/jmir.9293>
- Hernández Gamboa, L. E., & Cañaveral Pascacio, S. del R. (2022). ¿Qué es salud? Revisión histórica del concepto a partir de la definición de la OMS en 1948. *Revista Anales De Medicina Universitaria*, 1(02), 111-116. <https://doi.org/10.31644/AMU.V01.N02.2022.A11>
- INDEC. (2018). *Acceso y uso de tecnologías de la información y la comunicación EPH [Informe técnico]*. 2(92), Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). [https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensma/mautic\\_05\\_18.pdf](https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensma/mautic_05_18.pdf)
- Jalil, R., Huber, J.W., Sixsmith, J., & Dickens, G.L., (2017). Mental health nurses' emotions, exposure to patient aggression, attitudes to and use of coercive measures: cross sectional questionnaire survey. *International Journal of Nursing Studies*, 75, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2017.07.018>
- Jurado-Botina, L., Montero-Bolaños, C., Carlosama-Rodríguez, D. & Tabares-Díaz, Y. (2021). Estrés académico en estudiantes universitarios de Iberoamérica: una revisión sistemática. *Cuadernos Hispanoamericanos de Psicología*, 21(2), 1-19. ISSN: 1657-3412
- Kirk, U., Staiano, W., Hu, E., Ngnoumen, C., Kunkle, S., Shih, E., Clausel, A., Purvis, C., & Lee, L. (2023). App-based mindfulness for attenuation of subjective and physiological stress reactivity in a population with elevated stress: Randomized controlled trial. *JMIR mHealth and uHealth*, 11, e47371. <https://doi.org/10.2196/47371>

- Kramarz, E., Mok, C.L.M., Westhead, M., & Riches, S., (2023). Staff experience of team case formulation to address challenging behaviour on acute psychiatric wards: a mixedmethods study. *Journal of Mental Health*, 32 (2), 412–423. <https://doi.org/10.1080/09638237.2021.2022611>.
- Matos, L. T., Matos, J. A., & Muñoz, D. (2022). *Mejora de la gestión de estrés de estudiantes universitarios dominicanos: sistema Stressmate* [Trabajo de grado, Ingeniería en Tecnologías de la Información y la Comunicación]. Santo Domingo: Universidad Iberoamericana (UNIBE). Recuperado de: <https://repositorio.unibe.edu.do/jspui/handle/123456789/1358>
- Montagni, I., Cariou, T., Feuillet, T., Langlois, E. & Tzourio, C. (2018). Exploring Digital Health Use and Opinions of University Students: Field Survey Study. *JMIR Mhealth Uhealth*, 6(3), e65. DOI: [10.2196/mhealth.9131](https://doi.org/10.2196/mhealth.9131)
- Pizzoli, S.F.M., Marzorati, C., Mazzoni, D. & Pravettoni, G. (2020). Web-based relaxation intervention for stress during social isolation: Randomized controlled trial, *JMIR Mental Health*, 7(12), e22757. Doi: [10.2196/22757](https://doi.org/10.2196/22757)
- Ramón-Arbués, E., Gea-Caballero, V., Granada-López, J. M., Juárez-Vela, R., Pellicer-García, B., & Antón-Solanas, I. (2020). The Prevalence of Depression, Anxiety and Stress and Their Associated Factors in College Students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7001. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197001>
- Research2Guidance. (2017). mHealth app economics 2017: Current status and future trends in mobile health. Documento web recuperado de: <https://research2guidance.com/product/mhealth-economics-2017-current-status-and-future-trends-in-mobile-health/>.
- Restrepo, J., Sánchez, O. & Castañeda-Quirama, T. (2020) Estrés académico en estudiantes universitarios, *Revista Psicoespacios*, 14(24), 23-47, DOI: [10.25057/21452776.1331](https://doi.org/10.25057/21452776.1331)
- Riveros, R.A (2018). Los estudiantes universitarios: vulnerabilidad, atención e intervención en su desarrollo. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 19(1), DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2018.v19n1.a6>.
- Román, C. A., Ortiz, F., y Hernández, Y. (2008). El estrés académico en estudiantes latinoamericanos de la carrera de Medicina, *Revista*

- Iberoamericana de Educación, 46(7), 1-8. ISSN: 1681-5653. Recuperado de: <https://doi.org/10.35362/rie4671911>
- Shah D. (2025). mHealth app development: A detailed guide for health care providers. *REDOX, Application Development*. Documento web recuperado del sitio: <https://radixweb.com/blog/everything-need-know-about-mhealth-apps>
- Silva-Ramos, M. F., López-Cocotle, J. J., & Meza-Zamora, M. E. C. (2020). Estrés académico en estudiantes universitarios. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(79). <http://dx.doi.org/10.33064/iycuaa2020792960>
- Souto-Gestal, A., Cabanach, G.R. & Franco, T.B. (2019). Sintomatología depresiva y percepción de estresores académicos en estudiantes de fisioterapia. *European Journal of Education and Psychology*, 12(2), 165-174. Doi: 10.30552/ejep.v12i2.281
- UProspect. (2023). Estadísticas globales actuales sobre acceso a la educación superior: desigualdades en la tasa de matriculación, brecha de género y costos. [NewsLetter]. Documento web recuperado de: <https://www.linkedin.com/newsletters/uprospect-7029208113845043200/>

# Uso de chatbots y asistentes virtuales inteligentes en la educación para el autocuidado de la salud

*Laura Sanely Gaytán Lugo<sup>1</sup>*

## INTRODUCCIÓN

La educación en salud desde edades tempranas es esencial para el desarrollo integral de niños y adolescentes, ya que sienta las bases para la adopción de hábitos saludables a lo largo de la vida (Suárez-Villa *et al.*, 2020). La integración de contenidos sobre nutrición, higiene, actividad física y salud mental en los currículos escolares no solo favorece el bienestar físico, sino que también fortalece la autoestima y las habilidades sociales de los estudiantes (Lynch, 2024; MEJOREDU, 2024). Según la UNESCO (2024), existe una relación bidireccional entre la educación y la salud: los niños y jóvenes que reciben una educación de calidad tienen mayores probabilidades de disfrutar de una buena salud, mientras que aquellos con buena salud están en mejores condiciones para aprender y completar su formación académica.

La educación en salud es un proceso continuo que debe adaptarse a cada etapa de la vida, incluyendo la juventud y la adultez. A medida que las personas crecen, enfrentan nuevos desafíos que pueden afectar su bienestar, como el estrés laboral (Cruz *et al.*, 2016; Sieglín *et al.*, 2007), la alimentación inadecuada (Maza Avila *et al.*, 2022) o el sedentarismo (Delgado Villalobos *et al.*, 2022; ISSSTE, 2019). La educación en salud debe ser un proceso continuo, adaptándose a cada etapa de la vida para

<sup>1</sup> Profesora Investigadora de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad de Colima, Coquimatlán, Colima, México. <https://orcid.org/0000-0002-7007-7500>

fortalecer la autonomía en el autocuidado y fomentar una mejor calidad de vida a largo plazo.

En este sentido, el autocuidado se define como la capacidad de las personas para promover y mantener su salud, prevenir enfermedades y afrontar las afecciones con o sin el apoyo de un profesional de la salud (OMS, 2024). Por su parte, Nunes *et al.* (2015) explican que el autocuidado se refiere a la capacidad de los individuos para gestionar los síntomas, tratamientos y cambios en el estilo de vida sin depender completamente del sistema de salud. Además de lo anterior, Richards *et al.* (2010) y Moilanen *et al.* (2023) explican que este autocuidado, además de ser con apoyo de profesionales de la salud, también se puede encontrar en línea. Estos enfoques empoderan a las personas, pues les permite tomar decisiones informadas sobre su bienestar y adoptar hábitos saludables que perduren en el tiempo.

La educación respecto a las buenas prácticas sanitarias ha demostrado ser efectiva en la mejora de la calidad de vida relacionada con la salud. Un estudio realizado en adultos mayores evidenció que la implementación de programas educativos sobre enfermedades no transmisibles resultó en cambios positivos en diversas dimensiones de la calidad de vida, como las actividades sociales y la percepción del estado de salud (Quintero Cruz *et al.*, 2017). En otro estudio, se analizó cómo la educación para el autocuidado, mediante un enfoque dialógico y participativo, puede empoderar a los adultos mayores al promover prácticas de salud positivas (Sanchez Gomez *et al.*, 2015). En ambos casos, se destaca la importancia de transformar los procesos de aprendizaje hacia una capacitación efectiva en el autocuidado.

En las últimas décadas, la tecnología ha adquirido un papel fundamental en la educación para la salud, facilitando el acceso a información y promoviendo la adopción de hábitos saludables a través de plataformas digitales (Baggio *et al.*, 2020; Jimenez-Castro, 2022). Las estrategias de educación sanitaria han evolucionado desde modelos tradicionales hacia enfoques más interactivos y personalizados, donde herramientas como los llamados servicios basados en Internet (Pereira *et al.*, 2015; Tjora Akseland Tran, 2005; Umefjord *et al.*, 2006), aplicaciones móviles (Chandran *et al.*, 2022) y plataformas de telemedicina (Deng & Poole, 2003; Eisenstein *et al.*, 2020; Mcilhenny *et al.*, 2011; Pamela B. DeGuzman & Loureiro, 2022) permiten reforzar el aprendizaje del autocuidado en distintas etapas de

la vida. Estas tecnologías no solo amplían la cobertura de la educación relacionada con temáticas de salud, sino que también fomentan la autonomía de las personas al brindarles información en tiempo real y acceso a recursos personalizados para la toma de decisiones en materia de salud.

Inicialmente, la tecnología educativa en el contexto de salud se enfocó en el uso de dispositivos y medios audiovisuales para complementar el aprendizaje. Sin embargo, a lo largo del tiempo, el concepto se ha ampliado para incluir un enfoque basado en sistemas que considera la tecnología como un elemento importante de enseñanza-aprendizaje (Han *et al.*, 2013).

Ahora que las tecnologías – en general – están más presentes en diversos aspectos de la vida cotidiana. En particular, el uso de aplicaciones y herramientas digitales en este sector ha crecido significativamente debido a sus múltiples beneficios, como su bajo costo de desarrollo, accesibilidad y flexibilidad. Estas tecnologías no solo facilitan la difusión de información y la promoción de hábitos saludables, sino que también, cuando se implementan con un enfoque inclusivo y equitativo, pueden contribuir a reducir las desigualdades en el acceso a la educación sanitaria (Baggio *et al.*, 2020; Jimenez-Castro, 2022; Mcilhenny *et al.*, 2011). Sin embargo, también es importante tomar en consideración que las tecnologías son herramientas de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, que no son sustitutas de los expertos de la enseñanza y que, además, precisan ciertas habilidades digitales de los usuarios (Casasola-Rivera, 2022; Chan & Tsi, 2023, 2024; ONU, 2023).

Las tecnologías de autocuidado tienen el potencial de revolucionar la gestión de enfermedades por parte de los pacientes, permitiéndoles un mayor control y autonomía en su tratamiento (Nunes *et al.*, 2015). Actualmente, soluciones avanzadas como los Asistentes Personales Inteligentes (IPA, por sus siglas en inglés), los videojuegos educativos y las tecnologías de Realidad Extendida (XR, por sus siglas en inglés) están ganando terreno en este ámbito. Además, herramientas como los dispositivos de monitoreo remoto o vestibles con aprendizaje automático, las Interfaces Cerebro-Computadora (BCI, por sus siglas en inglés) y los sistemas de realidad virtual para terapia y rehabilitación están ampliando las posibilidades del autocuidado, facilitando desde la educación en salud hasta la personalización de tratamientos y el apoyo en la toma de decisiones médicas (Gual, 2024; Mayer, 2023).

En los últimos años, los chatbots y asistentes virtuales inteligentes (AVIs) han emergido como herramientas clave en la educación para la salud y el autocuidado de los pacientes. Estas tecnologías, impulsadas por IA, permiten la interacción en lenguaje natural con los usuarios, brindando información personalizada, recordatorios de medicamentos y apoyo en la gestión de enfermedades (Cortés *et al.*, 2025; Grudin & Jacques, 2019). Su implementación en entornos médicos y educativos ha demostrado ser eficaz para mejorar la adherencia a tratamientos, reducir la carga de trabajo de los profesionales de la salud y empoderar a los pacientes al proporcionarles acceso inmediato a información confiable (Baro, & Álvarez Hermida, 2024; IBM, 2025). Además, su capacidad de operar en múltiples plataformas, como aplicaciones móviles, dispositivos inteligentes y sistemas de mensajería, ha facilitado su adopción en diversas poblaciones (Belda-Medina & Kokošková, 2023; Brandtzaeg & Følstad, 2018). En este contexto, el desarrollo y la optimización de chatbots para la educación en salud representan una oportunidad para fortalecer la alfabetización médica y promover hábitos saludables en los usuarios.

Este capítulo tiene como objetivo ofrecer un panorama general sobre el uso de chatbots y AVIs en la educación para el autocuidado de la salud, explorando su impacto, beneficios y desafíos en este ámbito. A través de una revisión de las aplicaciones actuales y casos de uso relevantes, se analizará cómo estas tecnologías están transformando la forma en que los pacientes acceden a información médica, gestionan sus tratamientos y desarrollan hábitos saludables. Asimismo, se discutirán las implicaciones éticas y los retos de implementación, con el fin de proporcionar una visión integral para la orientación en su diseño y aplicación.

## ANTECEDENTES

### *Definición y diferencias entre chatbots y asistentes virtuales inteligentes*

Un chatbot es un *software* diseñado para interactuar con los usuarios a través de texto o voz, generalmente con un enfoque en tareas específicas dentro de un dominio concreto, como la educación o la salud. Suelen estar basados en árboles de decisión, NLP o modelos avanzados de IA Generativa (IA Gen) para responder preguntas o realizar acciones limitadas dentro de su alcance programado (Brandtzaeg & Følstad, 2018). Grudin & Jacques (2019) describen a los chatbots como sistemas de *software* diseñados para interactuar con los usuarios a través del lenguaje natural, proporcionando información o servicios específicos dentro de un dominio determinado.

Por su parte, AVI es un sistema más sofisticado que no solo responde preguntas, sino que también aprende de la interacción con los usuarios, personaliza respuestas y automatiza tareas más complejas. Ejemplos conocidos incluyen Siri, Google Assistant, Alexa y Cortana. Los AVI pueden ayudar en la gestión de medicamentos, brindar información médica basada en evidencia y facilitar la interacción con servicios de atención médica (Grudin & Jacques, 2019).

Si bien los términos chatbot y los AVI todavía se utilizan indistintamente por algunos usuarios, existen diferencias significativas entre ambos términos, en cuanto a su alcance, su complejidad y su capacidad, todas las cuales son mucho mayores en los AVI en comparación con los chatbots. El equipo de HAPTIK (2022) explica que los chatbots pueden simular una experiencia conversacional hasta cierto punto, pero en última instancia son escasos por tener que trabajar con un guión limitado, ya que carecen de la capacidad de aprender con el tiempo y adaptarse al contexto. Los AVI, por otro lado, tienen las capacidades avanzadas para servir realmente como asistentes para los clientes, emulando la interacción humana mientras realizan una amplia variedad de tareas para satisfacer los requisitos de un usuario (Dilmegani, 2024; Noonia *et al.*, 2024).

No obstante, ambos tipos de tecnología han encontrado aplicaciones en la educación para el autocuidado de la salud, facilitando el acceso

a información médica confiable y promoviendo la adherencia a tratamientos (Cortés *et al.*, 2025).

### ***Evolución de estas tecnologías***

El uso de chatbots, así como de AVIs en la educación y el autocuidado de la salud ha crecido exponencialmente en la última década. Inicialmente, los chatbots estaban diseñados para responder preguntas básicas sobre enfermedades y tratamientos, pero con el avance de los modelos de *IA Gen* y *NLP*, han mejorado su capacidad de comprensión y personalización en la enseñanza, incluyendo las prácticas de autocuidado (Belda-Medina & Kokošková, 2023; IBM, 2025; Nunes *et al.*, 2015).

Los chatbots han experimentado una notable evolución desde sus inicios en la década de 1960. El primer chatbot reconocido, *ELIZA*, fue desarrollado en 1966 por Joseph Weizenbaum en el MIT. *ELIZA* simulaba una conversación mediante el uso de patrones de palabras clave para generar respuestas predefinidas, creando la ilusión de comprensión humana. A pesar de sus limitaciones, este avance sentó las bases para futuros desarrollos en la interacción hombre-máquina. Posteriormente, en 1972, *PARRY* representó un avance al incorporar un modelo de simulación de personalidad. Posteriormente, en 1995, se desarrolló *ALICE*, un chatbot que utilizaba Artificial Intelligence Markup Language (AIML) y ganó el premio Loebner en varias ocasiones. *ALICE* fue el primer chatbot en ser reconocido como el “computador más humano”, aunque seguía dependiendo de la coincidencia de patrones y no poseía una verdadera inteligencia artificial (Adamopoulou & Moussiades, 2020; Grudin & Jacques, 2019).

El desarrollo de los chatbots se aceleró en el siglo XXI con la llegada de *SmarterChild* en 2001, el cual fue implementado en aplicaciones de mensajería instantánea, ofreciendo respuestas automatizadas a consultas generales. La siguiente gran revolución vino con la aparición de los asistentes virtuales como *Apple Siri* (2011), *Microsoft Cortana* (2014), *Amazon Alexa* (2014), *Google Assistant* (2016) e *IBM Watson*. Estos asistentes marcaron un cambio significativo, pues dejaron de depender exclusivamente de reglas predefinidas y comenzaron a utilizar técnicas avanzadas de aprendizaje automático y *NLP*. Hoy en día, los chatbots modernos no solo interactúan con los usuarios, sino que pueden aprender de sus interacciones, adaptarse a distintos contextos

y mejorar continuamente su desempeño (Adamopoulou & Moussiades, 2020; Grudin & Jacques, 2019)

Con el avance de la tecnología y la IA, estas tecnologías han progresado hacia sistemas más sofisticados. La introducción de modelos de lenguaje de gran escala (LLMs), como los Transformers, ha permitido a los chatbots comprender y generar lenguaje de manera más coherente y contextual. Un hito significativo en esta evolución es *ChatGPT*, desarrollado por *OpenAI*, que utiliza técnicas avanzadas de aprendizaje profundo para entablar conversaciones más naturales y fluidas con los usuarios. Este progreso ha ampliado las aplicaciones de los chatbots, desde simples respuestas automatizadas hasta asistentes virtuales inteligentes capaces de realizar tareas complejas y proporcionar soporte en tiempo real en diversos sectores de la sociedad (Adamopoulou & Moussiades, 2020; IBM, 2024; Pareja Arredondo *et al.*, 2024)

### ***Ejemplos de chatbots y asistentes virtuales en el contexto del autocuidado de la salud***

Actualmente, los chatbots y los AVI en salud se han convertido en herramientas clave para promover el autocuidado, proporcionando información accesible y confiable ayudando a los usuarios a gestionar enfermedades crónicas y fomentando hábitos saludables. Algunas de sus principales aplicaciones incluyen recordatorios de medicación y monitoreo de síntomas, prácticas o promoción de educación en salud, orientación médica básica y primeros auxilios, entre otras. En este sentido, se mencionan algunos trabajos realizados en los últimos años, en donde se emplean este tipo de tecnologías para el apoyo en el autocuidado de los pacientes o usuarios.

#### **Chatbots para enseñar sobre hábitos saludables**

Los chatbots han sido implementados como herramientas de apoyo en la promoción de hábitos saludables, particularmente en áreas como la salud mental, la actividad física y la nutrición. Estas aplicaciones permiten a los usuarios recibir información personalizada, acceder a estrategias de bienestar y fomentar la autogestión de su salud a través de la interacción con un agente virtual. Además, se ha observado que estos chatbots pueden contribuir a la reducción de la ansiedad y el es-

trés al proporcionar técnicas de relajación, seguimiento del estado de ánimo y estrategias de afrontamiento.

En el trabajo de artículo de Ahmed *et al.* (2021) realizaron una evaluación de la calidad y características de las aplicaciones móviles de chatbot diseñadas para la ansiedad y la depresión. Para ello, los autores efectuaron una revisión sistemática siguiendo la metodología PRISMA y empleando los principios de calidad del *HONcode*. De un total de 1000 aplicaciones inicialmente identificadas, solo 11 cumplieron con los criterios de inclusión, lo que resalta la escasez de chatbots con un enfoque terapéutico serio. Se observó que muchas de estas aplicaciones son populares, con altas tasas de descarga, lo que sugiere un creciente interés en este tipo de herramientas para la salud mental.

A pesar de que fue un número significativamente bajo respecto a las aplicaciones que chatbot que cumplieron con los criterios predefinidos por los autores, los hallazgos principales indican que los chatbots pueden ser una alternativa viable para mejorar el autocuidado en salud mental, especialmente en contextos donde hay una escasez de profesionales de la salud. También se encontró que los enfoques de intervención más comunes en esta revisión se encuentran la terapia cognitivo-conductual, el mindfulness y el seguimiento del estado de ánimo. Sin embargo, se detectó que muchas de las aplicaciones no detallan la base científica de sus métodos, lo que plantea preocupaciones sobre su eficacia. De las 11 aplicaciones revisadas, solo tres mencionaron explícitamente el uso de IA como parte de su diseño. Además, seis aplicaciones afirmaron contar con la participación de expertos en salud mental en su desarrollo, lo que aumenta su credibilidad. Finalmente, aunque algunas de las herramientas analizadas ofrecen herramientas para la autogestión de la ansiedad y la depresión, se enfatiza la necesidad de desarrollar chatbots con fundamentos científicos más sólidos y mayor transparencia en su metodología de intervención para que puedan ser recomendados con confianza por profesionales de la salud.

En otro estudio realizado por Moilanen *et al.* (2023) que tuvo como propósito explorar el uso de chatbots como herramientas para el descubrimiento de métodos de autocuidado en salud mental. Los investigadores llevaron a cabo un estudio experimental con 80 estudiantes universitarios quienes utilizaron diversos formatos, entre los que se encontraba un

chatbot. Uno de los hallazgos clave del estudio es que los chatbots pueden desempeñar un papel valioso en la promoción del autocuidado en salud mental al facilitar el acceso a recomendaciones personalizadas. El sistema desarrollado permitió a los participantes descubrir métodos de autocuidado a partir de una base de datos colaborativa, que incluía estrategias como meditación, ejercicio físico, interacción social y voluntariado. Sin embargo, los resultados también indicaron que la confianza en el chatbot se vio afectada por la percepción de falta de transparencia y control sobre los datos ingresados. A pesar de esto, varios participantes expresaron su preferencia por el chatbot debido a su naturaleza interactiva y la sensación de acompañamiento que proporcionaba, lo que sugiere que mejoras en la seguridad y transparencia podrían potenciar su aceptación.

Por otra parte, Suazo Galdames (2023) en su investigación analiza el papel de los chatbots como herramientas innovadoras para fomentar hábitos saludables y fortalecer la educación médica. Su objetivo principal es examinar cómo estos sistemas pueden brindar asesoramiento personalizado, mejorar la gestión de enfermedades crónicas y aumentar la calidad de la atención médica. Además, se destaca su uso en contextos de salud pública, como la pandemia de COVID-19, donde se emplearon para difundir información confiable y accesible sobre medidas preventivas y vacunas.

Los hallazgos del estudio indican que los chatbots han demostrado ser efectivos en el apoyo a la salud mental, la promoción de la actividad física y la mejora de la adherencia a tratamientos médicos. También se ha identificado su potencial en la educación médica, donde pueden facilitar el aprendizaje de conceptos complejos, mejorar la comunicación con los pacientes y proporcionar intervenciones conductuales personalizadas. Sin embargo, el estudio subraya que aún se requieren más investigaciones para evaluar su efectividad y mejorar la experiencia del usuario. A través de interacciones empáticas y personalizadas, estos asistentes virtuales pueden guiar a las personas en la adopción de mejores prácticas de salud, como la alimentación balanceada y el ejercicio regular.

Otro trabajo interesante, especialmente porque se aplica en un grupo distinto de pacientes es el de Chang *et al.* (2024) que presenta el desarrollo y evaluación de un chatbot educativo diseñado para promover el autocuidado oral en niños en edad escolar en Taiwán. Su objetivo principal fue

mejorar las prácticas de higiene bucal en esta población mediante el uso de un chatbot interactivo basado en el *Behavior Change Wheel* (BCW) y el modelo COM-B, que considera la capacidad, oportunidad y motivación como factores clave para modificar conductas. La investigación identificó barreras en el autocuidado oral de los niños y diseñó funciones de intervención que integran gamificación para incentivar el aprendizaje y la participación.

El chatbot, denominado COSC, fue desarrollado con la colaboración de profesionales dentales e implementado en la plataforma *LINE*, que de acuerdo con los autores es ampliamente utilizada en Taiwán. La interfaz se diseñó para ser intuitiva y accesible para los niños, utilizando videos educativos, instrucciones visuales, recordatorios y cuestionarios gamificados. En un estudio piloto con 30 niños y sus padres, COSC obtuvo una puntuación de usabilidad apropiada y una buena aceptación por parte de los usuarios. Se destacó especialmente la efectividad de los recordatorios para el cepillado y la sección de desafíos y cuestionarios para reforzar conocimientos. Los hallazgos del estudio sugieren que los chatbots pueden ser herramientas efectivas para fomentar el autocuidado oral en niños, combinando educación basada en evidencia con estrategias de motivación y aprendizaje interactivo. No obstante, los autores resaltan la necesidad de realizar estudios a mayor escala para evaluar el impacto del chatbot en el cambio de comportamiento a largo plazo y explorar su adaptación a otras poblaciones e idiomas. También advierten sobre el riesgo de uso excesivo de pantallas en niños debido a la gamificación y enfatizan la importancia de desarrollar estrategias equilibradas para maximizar los beneficios educativos sin fomentar dependencia digital.

### ***Chatbots para pacientes con enfermedades crónicas***

Las enfermedades crónicas requieren un manejo continuo, lo que puede ser un desafío para los pacientes en su vida diaria. En este contexto, los chatbots han surgido como herramientas de apoyo que ayudan a mejorar la adherencia a tratamientos, el monitoreo de síntomas y la educación sobre la enfermedad. Estas aplicaciones permiten un acompañamiento constante, reduciendo la dependencia exclusiva de consultas médicas presenciales y fomentando la autonomía del paciente en su autocuidado.

El trabajo realizado por Buinhas *et al.* (2019) tuvo como objetivo desarrollar y evaluar un asistente virtual diseñado para mejorar el autocuidado en personas mayores con diabetes tipo 2 (T2D). Este asistente, llamado Vitória, tiene como propósito complementar las consultas médicas tradicionales mediante un enfoque centrado en la adherencia a la medicación, la actividad física y la dieta. Basado en el Behavior Change Wheel, el asistente busca generar cambios sostenibles en el comportamiento de los pacientes, promoviendo hábitos saludables de manera accesible y atractiva. Entre los hallazgos preliminares del estudio, se indica que la aplicación ha sido bien recibida por profesionales de la salud, quienes participaron en pruebas iniciales para evaluar su contenido y usabilidad. Además, los participantes destacaron la facilidad de uso y la utilidad del asistente para monitorear y reforzar la adherencia a los tratamientos. Sin embargo, también se identificaron áreas de mejora, como la necesidad de hacer más natural la voz del asistente y mejorar la visualización de datos de actividad física y monitoreo de glucosa.

Este estudio resalta el papel clave del autocuidado en la gestión de la diabetes tipo 2 y cómo la tecnología puede facilitar este proceso en poblaciones vulnerables. Al ofrecer acceso a información relevante sin depender exclusivamente de la disponibilidad de profesionales de la salud, Vitória puede mejorar la autonomía de los pacientes en la gestión de su enfermedad. La combinación de un enfoque educativo con interacciones personalizadas sugiere que los asistentes virtuales pueden convertirse en herramientas valiosas para fomentar hábitos saludables y mejorar la calidad de vida en personas mayores con enfermedades crónicas.

En el trabajo de Ariga (2021) se evaluó el uso de una aplicación de chatbot para la teleevaluación de pacientes y el fomento del autocuidado durante la pandemia de COVID-19. La investigación se llevó a cabo en Indonesia, con 107 participantes que usaron un chatbot integrado en la aplicación Telegram para evaluar sus condiciones de salud, identificar signos de peligro y tomar decisiones sobre la búsqueda de atención médica. En este caso, los hallazgos indicaron que el 68% de los participantes pudieron realizar la autoevaluación de manera independiente, mientras que el 32% tuvo dificultades debido a su falta de familiaridad con la tecnología, problemas de conexión a Internet o bajo nivel educativo. Los usuarios que

lograron interactuar con el chatbot reportaron que la herramienta facilitó la identificación de síntomas y la toma de decisiones sobre el uso de servicios de salud. Sin embargo, algunos participantes expresaron dificultades en la comprensión de las respuestas del chatbot, lo que resalta la necesidad de mejorar la accesibilidad y la claridad del lenguaje utilizado en la aplicación. Los autores destacan el papel de los chatbots como herramientas de autocuidado, especialmente en contextos de emergencia sanitaria, donde el acceso a la atención médica presencial puede ser limitado, que fue el caso de la pandemia.

A medida que el uso de chatbots en el sector salud se expande, diversos estudios han evaluado su efectividad en distintos escenarios clínicos. En particular, los ensayos controlados han permitido analizar el impacto de estas herramientas en la mejora de la adherencia a tratamientos y la reducción de síntomas físicos y psicológicos en pacientes con condiciones de salud específicas.

En este sentido, resulta interesante el producto de Tawfik *et al.* (2023) donde se evalúa la efectividad de un chatbot, *ChemoFreeBot*, en comparación con la educación dirigida por enfermeras y la atención de rutina, en el manejo de los efectos secundarios de la quimioterapia y el fomento de comportamientos de autocuidado en mujeres con cáncer de mama. Se llevó a cabo un ensayo controlado aleatorizado con 150 mujeres divididas en tres grupos: aquellas que interactuaron con el chatbot, las que recibieron sesiones educativas dirigidas por enfermeras y las que solo tuvieron acceso a la información estándar en su tratamiento. El estudio midió la frecuencia, severidad y malestar causado por los síntomas físicos y psicológicos de la quimioterapia, así como la efectividad de los comportamientos de autocuidado antes y después de la intervención. Los hallazgos revelaron que las mujeres en el grupo que utilizó *ChemoFreeBot* mostraron una reducción significativa en la frecuencia, severidad y angustia de los síntomas físicos y psicológicos en comparación con los otros dos grupos. Además, su capacidad para aplicar comportamientos efectivos de autocuidado mejoró significativamente. En contraste, aunque la educación dirigida por enfermeras también tuvo un impacto positivo, fue menos efectiva que el chatbot en la retención de información y la implementación de estrategias de autocuidado. Las participantes del grupo de atención de rutina mostraron la menor mejora, lo que sugiere que la

educación estructurada, ya sea a través de chatbots o personal de salud, es clave para mejorar el bienestar de las pacientes en tratamiento oncológico.

Aunado a lo anterior, los autores también resaltan la importancia del autocuidado como un aspecto esencial en la gestión de los efectos secundarios, y precisa que el chatbot propuesto es una herramienta accesible y eficaz para proporcionar educación personalizada en tiempo real; puesto que, al permitir a las pacientes acceder a información basada en evidencia en cualquier momento y adaptar las respuestas a sus necesidades específicas, el chatbot facilitó un enfoque centrado en la paciente y mejoró su sentido de autonomía en la gestión de su salud. Con estos resultados, los autores deducen que los chatbots pueden ser un recurso valioso para complementar la labor de los profesionales de salud, proporcionando educación continua y accesible sin reemplazar el papel fundamental del personal médico en el proceso de atención oncológica.

### *Beneficios y retos en el diseño de los chatbots y asistentes virtuales inteligentes*

El uso de chatbots y asistentes virtuales inteligentes en el ámbito de la educación en salud ha crecido significativamente en los últimos años, facilitando el acceso a información confiable, mejorando la adherencia a tratamientos y promoviendo la autonomía de los usuarios. Sin embargo, su diseño presenta desafíos importantes que deben abordarse para garantizar su efectividad y aceptación. Para la siguiente subsección, el análisis tomó como marco de referencia el trabajo de Nunes *et al.* (2015), el cual aporta una perspectiva clave para comprender las tensiones en el diseño de tecnologías de autocuidado dentro de la Interacción Humano-Computadora (HCI, por sus siglas en inglés).

### *Empoderamiento del usuario y autonomía en el autocuidado*

Nunes *et al.* (2015) destacan que las tecnologías de autocuidado deben fomentar la independencia de los usuarios, ayudándolos a gestionar sus condiciones sin depender exclusivamente del sistema de salud. Chatbots como *Vitória*, estudiado por Buinhas *et al.* (2019), han mostrado que pueden apoyar a pacientes con enfermedades crónicas en la gestión de su tratamiento, aumentando su autonomía. Respecto al contexto de la salud mental, la revisión sistemática de Ahmed *et al.* (2021) identificó apli-

ciones como *Wysa* y *Youper*, que utilizan IA para ofrecer estrategias de autocuidado, como terapia cognitivo-conductual y mindfulness, permitiendo que los usuarios regulen sus emociones sin intervención directa de un terapeuta.

### ***Accesibilidad y disponibilidad continua***

Un gran beneficio de los chatbots es su disponibilidad en cualquier horario. Ariga (2021) demostró que un chatbot en Telegram permitió a pacientes realizar autoevaluaciones médicas en cualquier momento, facilitando la toma de decisiones sobre su salud. Además, en contextos donde el acceso a profesionales de salud es limitado, los chatbots pueden ser una solución viable para brindar educación y asistencia básica (Tawfik *et al.*, 2023).

*Facilitación del aprendizaje y cambio de comportamiento.* Nunes *et al.* (2015) enfatizan que la tecnología no solo debe proporcionar información, sino también facilitar la apropiación del conocimiento y promover cambios en los hábitos de los usuarios. Moilanen *et al.* (2023) demostraron que los chatbots pueden ser efectivos en el descubrimiento de estrategias de autocuidado en salud mental, ayudando a los usuarios a explorar nuevas prácticas de bienestar. Así también, en enfermedades crónicas, los asistentes virtuales han sido utilizados para reforzar comportamientos saludables, como el monitoreo de la glucosa en pacientes con diabetes (Buinhas *et al.*, 2019) o la educación sobre nutrición a través de juegos interactivos (Glasmann *et al.*, 2010).

### ***Autonomía vs. Control Clínico***

Nunes *et al.* (2015) identifican que las tecnologías de autocuidado deben equilibrar la autonomía del usuario con la supervisión médica. Sin embargo, Ahmed *et al.* (2021) encontraron que muchas aplicaciones de salud mental no detallan la base científica de sus recomendaciones, lo que puede generar desconfianza en los usuarios y en los profesionales de la salud. En el estudio de Tawfik *et al.* (2023), aunque el chatbot ChemoFreeBot mostró mejores resultados en retención de información sobre el autocuidado en comparación con sesiones educativas dirigidas por enfermeras, aún se requiere evaluar su seguridad en el largo plazo para saber si hay significancia, y si los usuarios siguen aceptando dicha tecnología.

### ***Falta de personalización y adaptabilidad***

Nunes *et al.* (2015) argumentan que la personalización es clave para la efectividad de las tecnologías de autocuidado, ya que los usuarios tienen necesidades y contextos distintos. Sin embargo, Moilanen *et al.* (2023) encontraron que algunos usuarios percibieron la interacción con chatbots como impersonales o poco flexibles, lo que limitó su confianza en la tecnología. En el caso de pacientes con enfermedades crónicas, la falta de adaptabilidad del asistente *Vitória* (Buinhas *et al.*, 2019) se identificó como una barrera para mejorar la adherencia al tratamiento, sugiriendo la necesidad de sistemas más dinámicos que se ajusten a los cambios en la condición del paciente.

### ***Transparencia y confianza en la IA***

La revisión de Nunes *et al.* (2015) resalta que una de las tensiones clave en el diseño de tecnologías de autocuidado es la falta de transparencia en la recopilación y procesamiento de datos. Moilanen *et al.* (2023) evidenció que algunos usuarios se mostraron escépticos sobre la seguridad de sus datos personales al interactuar con chatbots. Esto puede llevar también a situaciones complejas en el contexto de la ética y la responsabilidad en el uso de los datos. Por su parte, Ahmed *et al.* (2021) también encontraron que solo seis de las 11 aplicaciones revisadas mencionaron haber sido desarrolladas con la participación de expertos en salud mental, lo que plantea preocupaciones sobre la credibilidad de muchas herramientas de IA en salud.

### ***Falta de integración con la vida cotidiana de los usuarios***

Nunes *et al.* (2015) advierten que muchas tecnologías de autocuidado han sido diseñadas desde una perspectiva médica sin considerar cómo los usuarios realmente integran estas herramientas en su vida diaria. En el caso del chatbot de teleevaluación de Ariga (2021), se identificó que el 32% de los participantes tuvo dificultades para interactuar con la aplicación debido a la falta de familiaridad con la tecnología o problemas de conectividad. Esto indica la necesidad de diseñar chatbots con interfaces más intuitivas, accesibles para personas con diferentes niveles de alfabetización digital y considerando la variabilidad de los entornos en los que se usarán.

### ***Privacidad y seguridad de los datos en chatbots de salud***

Uno de los desafíos más críticos en el diseño de chatbots para la salud es la protección de la privacidad de los usuarios y la seguridad de sus datos. Dado que estas aplicaciones recopilan información sensible, como síntomas, estados emocionales o historial médico, es fundamental implementar medidas robustas de seguridad. Ahmed *et al.* (2021) señalaron que muchas aplicaciones de salud mental no indican si los datos del usuario eran compartidos con terceros o utilizados para mejorar los modelos de IA. Esto plantea riesgos éticos, ya que la explotación indebida de estos datos podría comprometer la confidencialidad del paciente. Por su parte, Nunes *et al.* (2015) destacan que una de las principales tensiones en la tecnología de autocuidado es el equilibrio entre autonomía y control, lo que en términos de privacidad implica permitir que los usuarios gestionen sus propios datos de manera clara y transparente.

### ***Inclusión y accesibilidad para personas con discapacidad o en comunidades vulnerables***

Si bien los chatbots de salud pueden mejorar el acceso a información médica, no todas las personas pueden interactuar con los chatbots de la misma manera. Es esencial considerar diseños inclusivos y accesibles, especialmente para personas con discapacidad o en comunidades con barreras tecnológicas. Nunes *et al.* (2015) enfatizan que las tecnologías de autocuidado deben evitar enfoques “universales” y, en su lugar, diseñar soluciones flexibles que se adapten a las necesidades específicas de los usuarios. Buinhas *et al.* (2019) identificaron que el chatbot *Vitória*, diseñado para ayudar a personas mayores con diabetes tipo 2, presentaba desafíos en términos de interacción con la voz y usabilidad, lo que sugiere la necesidad de mejorar la accesibilidad en términos de diseño de interfaces conversacionales.

Si bien los retos mencionados anteriormente pueden ser abordados mediante mejoras de diseño y enfoques participativos, también es importante reconocer ciertas limitaciones estructurales de estas tecnologías. Por ejemplo, los chatbots y asistentes virtuales no cuentan con juicio clínico, por lo que no deben utilizarse como sustitutos del personal médico capacitado. Incluso los sistemas más avanzados pueden ofrecer respuestas incorrectas o imprecisas si no están actualizados

con información médica confiable. Además, las interacciones pueden resultar superficiales o frustrantes para usuarios que esperan empatía o contención emocional, lo cual limita su efectividad en contextos sensibles o de alta carga psicológica. Por estas razones, los AVIs deben ser concebidos como herramientas complementarias, no sustitutivas, de la atención sanitaria profesional, y su uso debe estar siempre supervisado por especialistas del área de la salud.

Como se observa, en esta subsección se muestra que estas herramientas tecnológicas tienen un gran potencial para mejorar la accesibilidad a la educación sanitaria y fomentar hábitos saludables. Sin embargo, persisten desafíos importantes, como la falta de personalización, la transparencia en la IA, y la integración efectiva en la vida cotidiana de los usuarios. Para que estas tecnologías alcancen su máximo potencial, es necesario adoptar enfoques más centrados en el usuario, garantizando que las soluciones diseñadas no solo brinden información, sino que realmente fomenten la autonomía y el autocuidado de manera sostenible y confiable.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los chatbots y asistentes virtuales inteligentes están transformando la educación en salud y el autocuidado, proporcionando acceso inmediato a información confiable, monitoreo de síntomas y apoyo en la gestión de enfermedades. Su evolución ha permitido que pasen de ser herramientas rudimentarias a sistemas inteligentes con capacidades de personalización y adaptación. A medida que la tecnología continúa avanzando, se espera que estas soluciones desempeñen un papel cada vez más relevante en la prevención y tratamiento de enfermedades, contribuyendo a la reducción de la carga en los sistemas de salud y mejorando la calidad de vida de los pacientes.

Sin embargo, a pesar de su potencial, existen desafíos claves que deben abordarse para garantizar su efectividad y aceptación. Como lo señalan distintos autores que se expusieron en este trabajo, gran parte de las investigaciones sobre tecnología para el autocuidado han priorizado una perspectiva médica y han pasado por alto cómo los pacientes y cuidadores integran realmente estas herramientas en su vida cotidiana. Por ello, es fundamental adoptar enfoques centrados en el usuario y participativos,

que involucren a todas las partes interesadas en el diseño, desarrollo e implementación de estas tecnologías. Además, para que los chatbots y asistentes virtuales sean efectivos en la promoción del autocuidado, no basta con su simple existencia: su éxito depende de la motivación y compromiso de los usuarios. La tecnología, por sí sola, no resuelve los problemas de salud; es necesario que los pacientes asuman un rol activo en su autocuidado y utilicen estas herramientas de manera constante y significativa.

Por otro lado, en México, el impacto de los chatbots y asistentes virtuales en el área de la salud aún es incipiente. No obstante, se han generado iniciativas que muestran el potencial sin tener que contar con tecnologías que pudieran resultar costosas. Durante la pandemia, la Secretaría de Salud lanzó el chatbot *Susana Distancia*<sup>1</sup> para ofrecer información verificada sobre COVID-19, demostrando el valor de estos sistemas para la educación sanitaria masiva y de bajo costo. A nivel institucional, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) puso en operación *Mi Chat ONCOIMSS*<sup>2</sup>, un asistente virtual que atiende las necesidades de pacientes pediátricos oncológicos y sus familias, desde la búsqueda de medicamentos hasta la gestión de citas, agilizando trámites y reduciendo desplazamientos. Así también, existen numerosos prototipos de estas tecnologías en el contexto académico del país (p. ej. Marban Castrejón, 2021; Hernández-Morales *et al.*, 2023; López-García *et al.*, 2025), lo que indica que es una de las tecnologías de interés. Sin embargo, es importante mencionar que el país encara retos significativos: la brecha digital persiste en zonas rurales y entre grupos vulnerables; muchos centros de salud carecen de infraestructura robusta para integrar estas herramientas; y hace falta un marco normativo claro que regule la privacidad de los datos y la responsabilidad médica cuando se usan sistemas basados en IA.

En este sentido, la accesibilidad económica sigue siendo una barrera importante en la adopción de estas tecnologías. Aunque los chatbots y asistentes virtuales pueden ampliar el acceso a información y servicios de salud, no todas las poblaciones tienen las mismas oportunidades para beneficiarse de ellos. Es crucial diseñar soluciones de bajo costo y

<sup>1</sup> <https://www.eluniversal.com.mx/techbit/susana-distancia-ya-es-una-inteligencia-artificial/>

<sup>2</sup> <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/pdf/guarderias/Chat-oncoIMSS.pdf>

accesibles, optimizadas para dispositivos móviles con especificaciones limitadas y redes de baja velocidad, especialmente en comunidades con menos recursos o en regiones con infraestructura tecnológica deficiente. Para lograrlo, los desarrolladores deben considerar la implementación de interfaces simples, opciones de acceso *offline* y modelos de negocio que no dependan exclusivamente de suscripciones o costos elevados para el usuario final.

Mirando hacia el futuro, es crucial explorar cómo las tecnologías emergentes pueden potenciar aún más el impacto de los chatbots en la educación sanitaria. En particular, las tecnologías de Realidad Extendida (XR), que incluyen Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV), presentan atributos únicos que pueden mejorar los resultados de aprendizaje en comparación con los métodos tradicionales. La integración de XR con chatbots y asistentes virtuales podría representar un cambio de paradigma, permitiendo experiencias de aprendizaje más inmersivas, interactivas y efectivas para pacientes y profesionales de la salud.

Además, el desarrollo de *IA Gen como ChatGPT, Gemini, Copilot* y otras, está marcando una nueva tendencia en el diseño de asistentes virtuales inteligentes. Estas herramientas pueden mejorar significativamente la personalización de las respuestas, el análisis de datos de salud y la generación de recomendaciones. Sin embargo, su uso en contextos de salud también plantea desafíos, como la necesidad de garantizar la precisión de la información proporcionada, evitar sesgos en las respuestas y asegurar que los usuarios comprendan que estos sistemas no sustituyen la orientación profesional. En el futuro, se espera que las IAG se integren más estrechamente con dispositivos de monitoreo de salud y registros médicos electrónicos, permitiendo una interacción más sofisticada y basada en datos reales del paciente.

Finalmente, un área particularmente prometedora en el uso de la tecnología en salud es la gamificación, la cual ha demostrado ser atractiva, especialmente en poblaciones infantiles. Gracias al uso de mecánicas de juego, desafíos y recompensas es posible incentivar la participación y el aprendizaje activo. Sin embargo, para que este tipo de estrategias sean efectivas y seguras, es fundamental que los niños siempre estén acompañados por padres, madres o tutores, quienes pueden guiar el proceso y asegurarse de que la tecnología se utilice de manera equilibrada. Un uso

excesivo o sin supervisión podría generar dependencia digital o distraer a los niños del objetivo principal de la herramienta. Por lo tanto, el diseño de chatbots gamificados debe considerar no solo la experiencia del niño, sino también estrategias para involucrar a los cuidadores y fomentar hábitos saludables sostenibles.

### CONFLICTO DE INTERÉS

La autora declara que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

### REFERENCIAS

- Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). An Overview of Chatbot Technology. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology: Vol. 584 IFIP*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49186-4\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49186-4_31)
- Ahmed, A., Ali, N., Aziz, S., Abd-alrazaq, A. A., Hassan, A., Khalifa, M., Elhusein, B., Ahmed, M., Ahmed, M. A. S., & Househ, M. (2021). A review of mobile chatbot apps for anxiety and depression and their self-care features. *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2021.100012>
- Ariga, R. A. (2021). Self care nursing: Teleassessment nursing with chatbot application the coronavirus disease-19 pandemic period in north sumatra. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 9, 306–310. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2021.7172>
- Baggio, É., Valim, M. D., Barbosa, S. de F. F., Dal Sasso, G. T. M., & Lacey, G. (2020). Localization of the SureWash Pocket® mobile health app to Brazilian Portuguese. *Revista Gaucha de Enfermagem*, 41. <https://doi.org/10.1590/1983-1447.2020.20190462>
- Baro, M. A., & Álvarez Hermida, Á. B. (2024). ¿Qué papel tiene o jugará la inteligencia artificial en la educación terapéutica en diabetes? *Ciencia al Día*, 87. <https://www.revistadiabetes.org/wp-content/uploads/¿Que-papel-tiene-o-jugara-la-inteligencia-artificial-en-la-e.pdf>

- Belda-Medina, J., & Kokošková, V. (2023). Integrating chatbots in education: insights from the Chatbot-Human Interaction Satisfaction Model (CHISM). *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00432-3>
- Brandtzaeg, P. B., & Følstad, A. (2018). Chatbots: User changing needs and motivations. *Interactions*, 25(5), 38–43. <https://doi.org/10.1145/3236669>
- Buinhas, S., Cláudio, A. P., Carmo, M. B., Balsa, J., Cavaco, A., Mendes, A., Félix, I., Pimenta, N., & Guerreiro, M. P. (2019). Virtual assistant to improve self-care of older people with type 2 diabetes: First prototype. *Communications in Computer and Information Science*, 1016, 236–248. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16028-9\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16028-9_21)
- Casasola-Rivera, W. (2022). La enseñanza universitaria en tiempos de pandemia: el uso inapropiado de diapositivas y su impacto en la salud mental y el aprendizaje en estudiantes universitarios. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i5.5981>
- Marbán-Castrejón, A. G. (2021). Chatbot para consultas sobre la preventión, identificación, tratamiento y complicaciones en pacientes con COVID-19. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Chan, C. K. Y., & Tsi, L. H. Y. (2023). *The AI Revolution in Education: Will AI Replace or Assist Teachers in Higher Education?* <http://arxiv.org/abs/2305.01185>
- Chan, C. K. Y., & Tsi, L. H. Y. (2024). Will generative AI replace teachers in higher education? A study of teacher and student perceptions. *Studies in Educational Evaluation*, 83, 101395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2024.101395>
- Chandran, V. P., Balakrishnan, A., Rashid, M., Kulyadi, G. P., Khan, S., Devi, E. S., Nair, S., & Thunga, G. (2022). Mobile applications in medical education: A systematic review and meta-analysis. In *PLoS ONE* (Vol. 17, Issue 3 March). Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265927>
- Chang, W. J., Chang, P. C., & Chang, Y. H. (2024). The gamification and development of a chatbot to promote oral self-care by adopting behavior change wheels for Taiwanese children. *Digital Health*, 10. <https://doi.org/10.1177/20552076241256750>
- Cortés, J., Saldaña, C., Mendoza, J., & Perdomo, J. (2025). The Chatbot Applied to Health: A Bibliometric Review. *Revista de Comunicación*

- y Salud: RCyS, 15(1), 1–18. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9893400>
- Cruz, M., López, E., Cruz, R., & Llanillo, E. (2016). El estrés laboral en México. In *La Micro y Pequeña Empresa: Un análisis desde la perspectiva económico administrativa*. ECOFARN. [https://www.ecorfan.org/actas/A\\_1/32.pdf](https://www.ecorfan.org/actas/A_1/32.pdf)
- Delgado Villalobos, S., Huang Qiu, C., González Cordero, L., & Castro Sibaja, M. (2022). Impacto del sedentarismo en la salud mental. *Revista Ciencia y Salud Integrando Conocimientos*, 6(1). <https://doi.org/10.34192/cienciaysalud.v6i1.404>
- Deng, L., & Poole, M. S. (2003). Learning through telemedicine networks. *36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2003. Proceedings of The*, 8 pp.-. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2003.1174377>
- Dilmegani, C. (2024). *Chatbot vs Intelligent Virtual Assistant: Comparison in 2025*. <https://research.aimultiple.com/chatbot-vs-intelligent-virtual-assistant/>
- Eisenstein, E., Kopacek, C., Cavalcante, S. S., Neves, A. C., Fraga, G. P., & Messina, L. A. (2020). Telemedicine: a Bridge Over Knowledge Gaps in Healthcare. In *Current Pediatrics Reports* (Vol. 8, Issue 3, pp. 93–98). Springer Science and Business Media, LLC. <https://doi.org/10.1007/s40124-020-00221-w>
- González-Beltrán, B. A., Vázquez-García, M. A., Reyes-Ortíz, J. A., & García-Ruiz, R. (2022). Una revisión de chatbots en la salud. *Res. Comput. Sci.*, 151(8), 113-126.
- Grudin, J., & Jacques, R. (2019). Chatbots, humbots, and the quest for artificial general intelligence. *Conference on Human Factors in Computing Systems—Proceedings*, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300439>
- Gual, A. (2024). *La inteligencia artificial y la educación médica (II): el bienestar del paciente*. 27(Ii), 171–178. <https://doi.org/10.33588/fem.275.1356>.
- Han, H., Resch, D. S., & Kovach, R. A. (2013). Educational Technology in Medical Education. In *Teaching and Learning in Medicine* (Vol. 25, Issue SUPPL.1). <https://doi.org/10.1080/10401334.2013.842914>
- HAPTIK. (2022). *Chatbots vs Intelligent Virtual Assistants*. <https://www.haptik.ai/blog/chatbot-vs-intelligent-virtual-assistant/>
- IBM. (2024). ¿Qué es un chatbot? <https://www.ibm.com/es-es/topics/chatbots>

- IBM. (2025). ¿Qué es la inteligencia artificial en la medicina? <https://www.ibm.com/mx-es/topics/artificial-intelligence-medicine#:~:text=La%20IA%20puede%20ayudar%20a%20proporcionar%20asistencia%20las%2024%20horas,%20su%20proveedor%20no%20est%C3%A1%20abierto>
- ISSSTE. (2019). *Sedentarismo afecta al 58.3 por ciento de los mexicanos mayores de 18 años*. 2019. <https://www.gob.mx/issste/prensa/sedentarismo-afecta-al-58-3-por-ciento-de-los-mexicanos-mayores-de-18-anos>
- Jimenez-Castro, M. (2022). Traducción y localización de tecnologías de la información y comunicación en el ámbito sanitario para la inclusión de población migrante. In *El camino hacia las sociedades inclusivas*. Dykinson.
- López García, N. Y., Romero Gómez, R., González Sánchez, A., & Franco Ortiz, G. (2025). Chatbot para la Rehabilitación de Lesiones Deportivas. *Economía Social y Solidaria: Diseño y Desarrollo de Apps para Fortalecer la Economía Local*, 177. <https://www.mentestem.mx/portfolio/pdf/2025/2025-enero-mayo-num1.pdf>
- Lynch, T. (2024). *Physical Education and Wellbeing*. Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-72874-7>
- Mayer, M. A. (2023). Artificial intelligence in primary care: A scenario of opportunities and challenges. *Atencion Primaria*, 55(11). <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2023.102744>
- Maza Avila, F. J., Caneda-Bermejo, M. C., & Vivas-Castillo, A. C. (2022). Hábitos alimenticios y sus efectos en la salud de los estudiantes universitarios. Una revisión sistemática de la literatura. *Psicogente*, 25(47), 1–31. <https://doi.org/10.17081/psico.25.47.4861>
- Mcilhenny, C. V., Guzic, B. L., Knee, D. R., Demuth, B. R., & Roberts, J. B. (2011). Using technology to deliver healthcare education to rural patients. *Rural and Remote Health*, 11, 2011. <https://doi.org/10.3316/informit.328257073282161>
- MEJOREDU. (2024). *La educación para la salud y el bienestar en escuelas primarias. Experiencias y percepciones desde las comunidades educativas*.
- Moilanen, J., van Berkel, N., Visuri, A., Gadiraju, U., van der Maden, W., & Hosio, S. (2023). Supporting mental health self-care discovery through a chatbot. *Frontiers in Digital Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1034724>

- Noonia, A., Beg, R., Patidar, A., Bawaskar, B., Sharma, S., & Rawat, H. (2024). Chatbot vs Intelligent Virtual Assistance (IVA). In *Conversational Artificial Intelligence* (pp. 655–673). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781394200801.ch36>
- Nunes, F., Verdezoto, N., Fitzpatrick, G., Kyng, M., Grönvall, E., & Storni, C. (2015). Self-care technologies in HCI: Trends, tensions, and opportunities. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 22(6). <https://doi.org/10.1145/2803173>
- OMS. (2024, May 1). *Autocuidado para la salud y el bienestar*. <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/self-care-for-health-and-well-being>
- ONU. (2023, July 23). *La tecnología nunca debe reemplazar la enseñanza presencial dirigida por maestros*. <https://news.un.org/es/story/2023/07/1522972>
- Pamela B. DeGuzman, N. J., & Loureiro, C. G. (2022). Public Libraries as Partners in Telemedicine Delivery: A Review and Research Agenda. *Public Library Quarterly*, 41(3), 294–304. <https://doi.org/10.1080/01616846.2021.1877080>
- Pareja Arredondo, F. C., Carrasco Taipe, J. I., & Aquino Cruz, M. (2024). Revisión sistemática de la evolución de los asistentes virtuales: desde los primeros Chatbots hasta la IA conversacional. *Micaela Revista de Investigación-UNAMBA*, 5(2), 33–39. <https://doi.org/10.57166/micaela.v5.n2.2024.154>
- Pereira, K., Phillips, B., Johnson, C., & Vorderstrasse, A. (2015). Internet Delivered Diabetes Self-Management Education: A Review. *Diabetes Technology & Therapeutics*, 17(1), 55–63. <https://doi.org/10.1089/dia.2014.0155>
- Quintero Cruz, M., Figueroa Solano, N., García Puello, F., & Suárez Villa, M. (2017). *GEROKOMOS* (Vol. 28, Issue 1).
- Richards, K. C., Campenni, C. E., & Muse-Burke, J. L. (2010). Self-care and Well-being in Mental Health Professionals: The Mediating Effects of Self-awareness and Mindfulness. *Journal of Mental Health Counseling*, 32(3), 247–264. <https://doi.org/10.17744/mehc.32.3.0n31v88304423806>
- Sanchez Gomez, S., Medina Moya, J. L., Mendoza Pérez De Mendiguren, B., Ugarte Arena, A. I., & Martínez De Albéniz Arriaran, M. (2015). Participatory action research; Self-care education for the mature adult,

- a dialogic and empowered process. *Atencion Primaria*, 47(9), 573–580. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2014.12.008>
- Sieglín, V., Elena, M., & Tovar, R. (2007). Estrés laboral y depresión entre maestros del área metropolitana de Monterrey. In *Revista Mexicana de Sociología* (Vol. 69).
- Suárez-Villa, M., Borré-Ortiz, Y. M., Expósito, M. Y., & Almagro, M. D. C. P. (2020). Educational practices in health: Fundamental axis in the development of early childhood in integral development centers. *Salud Uninorte*, 36(1), 325–341. <https://doi.org/10.14482/sun.36.1.155.412>

# APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA A LAS NEUROCIENCIAS Y NEUROPSICOLOGÍA

# **Inteligencia artificial en neurociencias: programas y aplicaciones para el análisis de la conducta**

*Alejandro Aguilar Moreno*<sup>1</sup>  
*Alexis Romero Landin*<sup>2</sup>  
*Verónica López Virgen*<sup>3</sup>

## **INTRODUCCIÓN**

El avance del conocimiento en las neurociencias siempre ha ido de la mano con la tecnología. Desde la observación de neuronas a través de los microscopios, realizadas por el médico español Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) permitieron conocer por primera vez las estructura y arreglo de las neuronas en el cerebro, esto le concedió ganar el premio Nobel en 1906; a partir de entonces, el avance del conocimiento en neurociencias ha estado ligado al avance de la tecnología, como sucedió con el avance en la capacidad de procesamiento de las computadoras, ha permitido recrear, primero un representación de dos dimensiones de la estructura del cerebro (Hawkes *et al.*, 1980; Holland *et al.*, 1980a, 1980b), hasta calcular de forma precisa las características de sus fibras axonales y regiones de activación en tiempo real con el uso de la Resonancia magnética, usando un modelo matemático de Tensor de Difusión (Basser, 1995) y con rastreo los niveles de oxigenación de la sangre (señal BOLD, por sus siglas en inglés) (Ogawa, Lee, Kay, & Tank, 1990). Estos son algunos ejemplos de cómo las neurociencias se han beneficiado de los progresos de la tecnología.

<sup>1</sup> Estudiante Laboratorio de Neurociencias, Facultad de Psicología de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040. <https://orcid.org/0000-0001-5202-2576>

<sup>2</sup> Estudiante de la Licenciatura en Psicología de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040. <https://orcid.org/0009-0001-3126-8865>

<sup>3</sup> Profesora de la Facultad de Psicología de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040. <https://orcid.org/0000-0003-1673-3842>

Otro tipo de tecnología que ha sido de gran ayuda para las neurociencias, especialmente en las enfocadas a encontrar la relación entre la conducta y la función del cerebro, son los programas para el análisis de la conducta (Noldus, Spink, & Tegelenbosch, 2001). Pero no siempre se ha tratado de programas, pues en sus inicios, el análisis de la conducta se ha realizado en vivo, generalmente haciendo un registro manual por parte de un experto (Noldus *et al.*, 2001); después fue posible grabar las sesiones o ensayos conductuales, permitiendo una revisión más minuciosa de la conducta a observar o simplemente tener el material para futuras comparaciones; la creación de programas que, con los criterios y parámetros asignados por el observador, obtienen de forma casi automática (en las primeras versiones de estos programas), y ahora automática, información que podría tomar una gran cantidad de expertos y horas de trabajo de estos para obtener. Otra de las ventajas de utilizar programas para el análisis de la conducta es que se reduce el riesgo de errores humanos (Noldus *et al.*, 2001), desde calificar o catalogar de forma errónea una conducta, como el evitar el sesgo, voluntario o no, del observador, y que este sesgo modifique los resultados, siendo estos diferentes a lo que en realidad sucedió.

En este capítulo se abordarán en detalle los programas de código abierto, herramientas esenciales que se utilizan para analizar la información conductual en el campo de las neurociencias. Estos programas, gracias a su naturaleza de código abierto, permiten a los investigadores acceder, modificar y adaptar las herramientas según sus necesidades específicas (Isik & Unal, 2023). Sin embargo, antes de profundizar en el funcionamiento y las aplicaciones de estos programas, es fundamental comprender las pruebas conductuales que se analizan en los estudios de neurociencias. Las pruebas conductuales que se estudian en este ámbito son diversas y miden desde comportamientos simples, como los reflejos y las respuestas motoras básicas, hasta conductas más complejas, como la memoria, el aprendizaje, la interacción social y las emociones.

### LABERINTO ACUÁTICO DE MORRIS

En las neurociencias existen distintos paradigmas conductuales para evaluar diferentes conductas de interés (ansiedad, aprendizaje, memoria, etc.). Una prueba conductual muy empleada para estudiar el aprendizaje y

memoria espacial en animales de el laberinto acuático de Morris (MWM), creada por Richard G.M Morris, Morris presentó por primera vez el laberinto acuático en 1979 ante la sociedad de psicología experimental de Gran Bretaña (Fernandez, Hurtado, Gutierrez, Gonzalez- Fraguera, & Fernandez, 2024). Pero sería hasta el año 1984 que compartiría los procedimientos básicos para su realización (Vorhees & Williams, 2006).

El MWM consta de una piscina con forma circular y color negro, cuyo diámetro y altura varían según el modelo experimental: entre 100 y 180 cm de diámetro para ratones y entre 150 y 200 cm para ratas, con alturas entre 28 a 57 cm para ratones y de 56 a 75 cm para ratas, en la piscina está oculta una plataforma sumergida a 0.5 o 1 cm bajo el agua, con un diámetro de 6 cm para ratones y entre 10 y 15 cm para ratas, que puede ser redonda o cuadrada (Fernandez *et al.*, 2024), la tarea del animal consiste en encontrar esta plataforma de escape.

Para realizar el MWM, se divide la piscina en cuatro cuadrantes imaginarios (norte, sur, este y oeste). La plataforma se coloca en el centro de uno de los cuadrantes, y para que el animal pueda localizarla, se utilizan claves espaciales externas, como figuras geométricas de diferentes formas y colores en las paredes del laberinto o del recinto de prueba (Fernandez *et al.*, 2024).

El desarrollo del experimento varía según el diseño metodológico específico. Sin embargo, generalmente los periodos son de cinco días, divididos en dos grandes fases: cuatro días de adquisición de memoria y un día de retención de memoria. Durante la fase de adquisición, se realizan cuatro ensayos al día por animal, en cada ensayo, el animal es liberado desde uno de los tres cuadrantes sin plataforma (por ejemplo, si la plataforma está en el cuadrante este, solo se consideran los otros tres cuadrantes para la selección de salida). Se permite que el animal nade hasta encontrar la plataforma o hasta que transcurra un minuto. Se considera que encontró la plataforma si dura 10 segundos sobre ella, pero si en los sesenta segundos no sube a la plataforma se considera no encontrada. Si no la encuentra, se le guía hasta la plataforma, donde debe permanecer entre 30 y 60 segundos antes de ser trasladado a una caja de secado al final de cada ensayo.

La fase de retención inicia después de veinticuatro horas del último ensayo de la fase de adquisición de memoria, la plataforma es retirada y se

realiza un solo ensayo por animal, todos los animales salen del cuadrante opuesto a donde se ubicaba la plataforma. Se le permite nadar durante 60 segundos antes de ser retirado de la piscina y colocado en una caja de secado (Othman, Hassan, & Has, 2022). La evaluación de las fases de adquisición y retención se utilizan distintos criterios. En la fase de adquisición, se evalúa el aprendizaje espacial a partir de la latencia de escape (tiempo que tarda el animal en localizar la plataforma, el cual se espera que disminuya conforme avanzan los ensayos), la distancia recorrida, la velocidad y la tigmotaxia (tiempo en las paredes o periferias). Por otro lado, en la fase de retención se analizan: el tiempo en el cuadrante objetivo (tiempo de permanencia en el cuadrante donde anteriormente estaba la plataforma), así como en los otros cuadrantes, la distancia o longitud recorrida en dicho cuadrante, latencia de entrada al cuadrante objetivo y el número de cruces por el sitio de la plataforma (Fernandez *et al.*, 2024).

### LABERINTO DE BARNES

Otra prueba en neurociencias que también sirve para evaluar el aprendizaje espacial y la memoria de trabajo, referencia, a corto y largo plazo es el laberinto de Barnes (Navarrete *et al.*, 2008). Esta prueba fue desarrollada por la doctora Carol Barnes en 1979 en la universidad de Arizona (Morales, 2017), que consiste en un laberinto seco, es decir un campo abierto circular (tiene un diámetro de 1.22 m y una altura de 90 cm) expuesto a iluminación lo suficientemente brillante (150 w) para molestar a los roedores y en algunas pruebas un sonido fuerte (superior a 80 dB), con 18 o 20 agujeros (con un diámetro de entre 5 y 9 cm y separados por 20 grados de arco) alrededor de la misma, utiliza la aversión natural del roedor a este tipo de entornos para que memorice la ubicación de una caja oscura (de 24 cm de largo x 10 cm de alto x 8.5 cm de ancho) oculta en uno de los agujeros que se encuentran alrededor del perímetro del campo donde puede ingresar (Morales, 2017).

Para el experimento se coloca la caja de escape en un agujero aleatorio, donde se mantendrá fija durante todas las pruebas, este comienza con un entrenamiento en el que el roedor es colocado en la caja de escape por un minuto. Después de este tiempo, se espera un minuto más antes de iniciar los ensayos de exploración. Estos comienzan cuando el animal es coloca-

do en el centro del laberinto dentro de una cámara de inicio de 10 cm de altura. Pasados 10 segundos, la cámara se retira y se activan los estímulos aversivos. El ensayo finaliza cuando el animal llega al túnel de escape o tras cinco minutos. Si no encuentra el túnel, se le orienta manualmente. Una vez en el túnel de escape, los estímulos aversivos cesan y el animal permanece un minuto en oscuridad antes de ser devuelto a su jaula. Para evaluar la memoria y el aprendizaje espacial se mide el tiempo que invierte el animal en encontrar la caja de escape y el número de errores antes de encontrarlo, se considera error el intento de introducirse a un agujero que no es correcto. Múltiples intentos en el mismo agujero se consideran el mismo error (Navarrete *et al.*, 2008).

### CAMPO ABIERTO

La prueba de campo abierto es un paradigma conductual creado por Calvin S. Hall, para evaluar la actividad locomotora exploratoria, la ansiedad y la emocionalidad (Fernandez *et al.*, 2024). Consiste en una caja abierta (circular, cuadrada o rectangular) de color negro, blanco o una combinación de paredes blancas y piso verde. El tamaño cambia según la especie: en ratas 100 x 100 cm, 90 x 90 cm o 160 x 60 x 95 cm, mientras que para ratones suele ser de 25 x 25 cm. El piso de la caja se divide virtualmente mediante un programa, en cuadrantes de 8 x 8 cm o 10 x 10 cm, además de dividirse en cuadrantes centrales y periféricos (Fernandez *et al.*, 2024). Es importante que la caja experimental sea significativamente más grande que la caja de estancia del roedor.

El protocolo consiste en soltar al sujeto experimental en el centro de la caja, al roedor se le deja adentro durante 5 minutos, al término del tiempo el roedor es retirado, se limpia la caja cuidadosamente entre cada sujeto experimental para evitar rastros de olores, y se evalúan variables como la locomoción horizontal (número de cruces de la línea del piso), la frecuencia de la actividad vertical y el aseo (Belovicova, Bogi, Csatlosova, & Dubovicky, 2017). Otras variables son: el número de cuadrantes visitados (cuando el roedor cruza la línea que divide dos cuadrantes con sus extremidades anteriores o cuando coloca las cuatro extremidades en un nuevo cuadrante), distancia total recorrida, tiempo en las zonas centrales y periféricas, distancia recorrida en cada zona, tiempo de inmovilidad,

velocidad media y máxima, tiempo de exploración en posición vertical, defecación, saltos e intentos de escape (Fernandez *et al.*, 2024). La ansiedad se mide de acuerdo con la exploración y locomoción del animal, así como entradas al área central, ya que se espera que un animal menos ansioso pase más tiempo en el área central y disminuye la exploración y locomoción a lo largo de la prueba (Gallegos & Castillo, 2014).

### LABERINTO ELEVADO EN CRUZ

El laberinto elevado en cruz es otro modelo experimental de ansiedad, fue descrito por Handley y Mithani en modelos murinos (Conde, Nieto, & Orozco, 2008). Consiste en una plataforma con forma de cruz elevada a 50 cm del piso, con cuatro brazos de 12 cm de ancho y 50 cm de largo y una zona central de 12 x 12 cm. Dos brazos son abiertos y dos cerrados con paredes de 40 cm de altura (Celis, Martínez, & Conde, 2010).

La prueba consiste en un solo ensayo de cinco minutos, donde el sujeto experimental es ubicado en la zona central con la cabeza orientada hacia uno de los brazos cerrados. Se deja que explore libremente y pasados los 5 minutos se retira de la plataforma, entre cada sujeto se debe limpiar cuidadosamente con alcohol para disminuir pistas odoríferas para los siguientes animales (Celis *et al.*, 2010).

Para la evaluación, se consideran distintas variables, pero las más convencionales son: número de entradas a los brazos abiertos, a los brazos cerrados y en el centro, en valores absolutos y porcentuales; tiempo en los brazos abiertos en los brazos cerrados y centro cruzamientos y distancia deambulada (Conde *et al.*, 2008). En este laberinto se ha verificado que generalmente los roedores realizan más entradas y que permanecen mayor tiempo en los brazos cerrados en comparación a los brazos abiertos (Conde *et al.*, 2008). Por lo que se consideran conductas ansiosas a las entradas y a la alta permanencia en brazos cerrados, como la poca o nula exploración en brazos abiertos.

### EVALUACIÓN DE LA CONDUCTA

Una vez conociendo algunas de las pruebas conductuales que se utilizan, es necesario señalar que la evaluación de la conducta requiere diversos

elementos: la muestra (el o los sujetos a evaluar), el observador (evaluador) y los criterios que el evaluador utilizará para catalogar la conducta.

La muestra puede encontrarse en su ambiente natural, semi-natural, en un ambiente controlado (laboratorio), o en su propia caja/habitación. La muestra puede o no ser sujeto a manipulaciones físicas (procedimientos quirúrgicos, modificación de una función normal), químicas, que modifiquen su conducta, la respuesta emocional a los estímulos presentados, así como modificar procesos cognitivos (aprendizaje, memoria). Estas manipulaciones estarán determinadas por el protocolo previamente aprobado por un comité de Bioética, así como por la literatura.

Una vez cumplidas las condiciones necesarias, el observador tiene la labor de apegarse a los criterios establecidos para evaluar la conducta. El tiempo de la sesión conductual puede ser determinado bajo dos condiciones: el cumplimiento de un periodo específico (segundos, minutos, horas); o el cumplimiento de condiciones particulares, como que la muestra despliegue algún tipo de conducta específica, como escapar del laberinto acuático, dar un número determinado de palanqueos, etc.

El registro de los resultados conductuales es parte vital para la evaluación conductual. El registro manual, donde se contabilizan los eventos de interés, se lleva a cabo cuando el objetivo es conocer la frecuencia, etapas o niveles de estos eventos. Por ejemplo, en pruebas de conducta sexual se registra los niveles de lordosis que realiza la hembra, así como el número de montas, intromisiones y eyaculaciones realizadas por el macho.

Como se mencionó previamente, la videograbación de la prueba conductual es una forma común que actualmente se utiliza al realizar pruebas conductuales. Algunas de las razones son: permite conservar los eventos en la prueba, haciendo útil el corroborar si existen dudas sobre los resultados; ayuda en el proceso de entrenamiento para observadores nuevos, estableciendo un video como base de aprendizaje, donde se presentan las conductas de interés y de esta manera evaluar si el observador cumple con los criterios para evaluar; dependiendo del tipo de prueba, puede que sucedan muchos eventos al mismo tiempo o que estos sucedan rápido, haciendo imposible un registro en vivo adecuado. Las especificaciones técnicas del video (calidad de imagen, definición, imágenes por segundo, duración, etc.) serán determinadas por el observador y la información que desee obtener de la grabación.

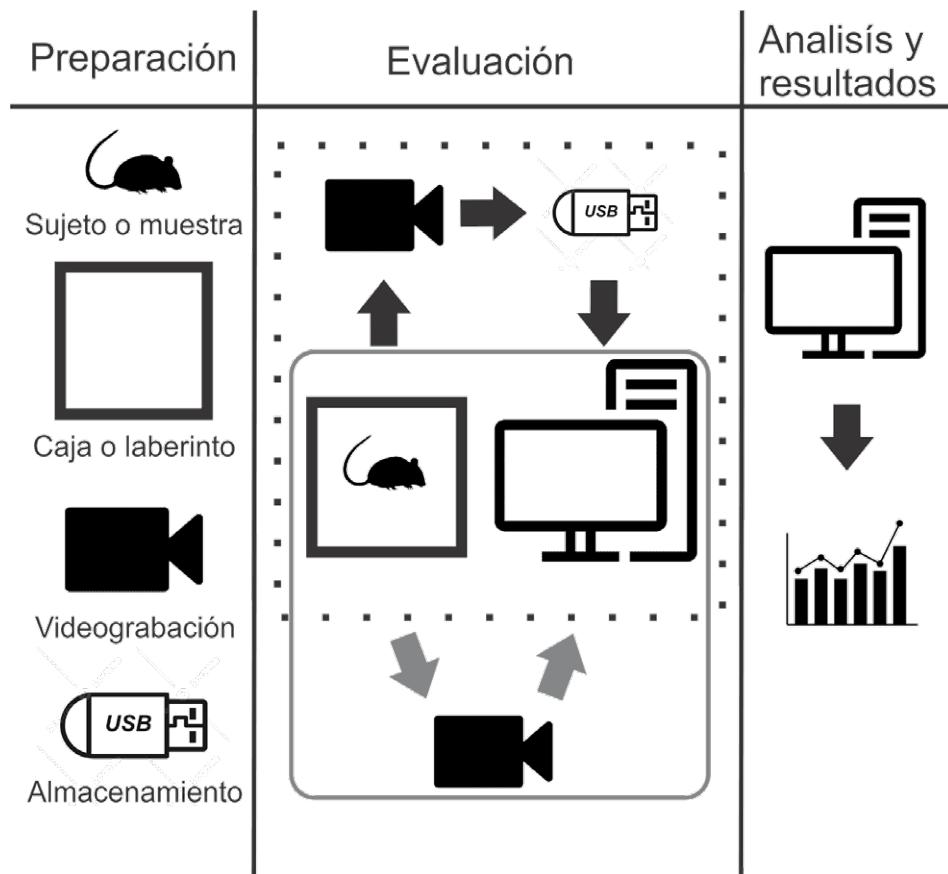
Una vez obtenidos los datos, de una sesión en vivo o de una videografía, se hace el análisis de los datos. Este análisis tiene como objetivo sintetizar y agrupar los eventos relevantes para el observador, en tablas, gráficas, o la forma que sea relevante para dar a conocer los resultados, así como las comparaciones estadísticas de estos mismos. Concluido el análisis, el observador discutirá los resultados obtenidos, siguiendo dos líneas principales: ¿Qué es lo que sucedió y cómo se relaciona con lo descrito en la literatura?, y ¿Cuáles son los aportes de esta nueva información a este tema?

En caso de que existan discrepancias entre los resultados y lo que se esperaba de acuerdo con la literatura, el trabajo del observador es analizar si esta discrepancia es por errores en su sustento teórico o por errores al momento de aplicar, evaluar o analizar los resultados de la prueba conductual.

### PROCESAMIENTO DE VIDEO

Con el avance de la tecnología es posible obtener videogramas de buena calidad sin que se requiera el uso de un equipo profesional, pero diferentes situaciones pueden influir en la obtención de un video de baja calidad. Para estos casos, o simplemente para obtener un video de alta calidad, se realiza el preprocesamiento del material. Se habla de preprocesamiento ya que es un proceso que no está dirigido a la obtención de datos *per se*, sino que se refiere a una “preparación” previa al procesamiento, con el objetivo de mejorar la calidad del video. Las características de los videos que usualmente se modifican son:

- *Longitud de los videos.* Cuando las condiciones técnicas y experimentales lo permiten, es posible hacer la grabación continua de diferentes muestras conductuales, lo que resulta en videos que contienen múltiples ensayos, por lo que es necesario recortar los videos al tiempo que tomo cada ensayo. Cabe mencionar que siempre existe el riesgo de fallas al momento de la videogramación (cortes de luz, falla en la batería del dispositivo, etc.) que ponen en riesgo la sesión cuando se integran múltiples muestras en un solo video.

**Figura 1. Fases del proceso de análisis de la conducta.**

Nota. En la fase de preparación se determina los insumos que servirán para el análisis de la conducta: cuál será la muestra; las condiciones experimentales en que será evaluada la muestra, ya sea un laberinto o paradigma específico; la grabación, si esto será procesado en vivo o se guardará para futuro análisis; y la forma de almacenamiento. La evaluación puede ejecutarse de dos maneras: la grabación de la conducta, el almacenamiento del archivo para su posterior procesamiento (líneas punteadas), o la grabación directa al procesamiento. Es importante tener en cuenta el proceso que se seguirá, pues esto determina el tipo de programa que se puede utilizar para el análisis posterior. Finalmente se hace el análisis de los videos, de los cuales se obtienen los resultados de la evaluación conductual. Figura de creación propia.

- *Mejorar la definición de la imagen.* Con nuevos programas de procesamiento de video es posible incrementar la calidad y definición de la imagen, lo que ayuda a identificar con mayor facilidad la o las conductas de interés.
- *Identificar errores al momento de la grabación.* Enfocar mal el lente, posicionamiento erróneo de la toma, o que el sujeto salga de la toma son algunos de los errores más comunes al momento de videografiar una sesión de conducta y que puede afectar los resultados, por lo que se busca eliminarlo para evitar ruido al momento del análisis.
- *Eliminar la imagen de fondo, o background del video.* Es una técnica aísla la señal de interés, lo que permite eliminar ruido y limitar la información de entrada, facilitando la identificación de la conducta.

Estas modificaciones al archivo no implican la manipulación de los datos ni alterar los resultados, es facilitar la identificación de las conductas de interés por parte del programa que se va a utilizar. Una vez que el video tiene las características necesarias, el siguiente paso es el análisis.

### PROGRAMAS DE ANÁLISIS CONDUCTUAL

El uso de programas para analizar conducta, como *Alpha tracker*, *behavior atlas*, *B-SOiD*, *Deep action*, *deepCaT-z*, *DepLabcut*, *ezTrack*, *LabGym*, *Live Mouse Tracker*, *Mars*, *VAME* y *VSAMBR*, ha permitido que el procesamiento de información en el área experimental sea más rápido y eficiente. Además, reducen el riesgo de errores humanos y el sesgo, lo que da mayor credibilidad a los resultados obtenidos. Para propósitos de este capítulo no hablaremos extensamente de los programas tradicionales, pues nos enfocaremos en los programas de código abierto.

### CREAR TU PROPIO CÓDIGO

Otro de los cambios que han sucedido es el uso de los programas de análisis conductual, ya que anteriormente solo podías hacer los análisis limitados a las capacidades del programa, pero actualmente los programas

de código abierto permiten hacer modificaciones al código del programa, agregando, eliminando o modificando las características propias del programa, dando la libertad al usuario de tener una experiencia personalizada a sus necesidades.

La ventaja de poder modificar el código original es adaptar las funciones del programa al proceso de análisis que se va a llevar a cabo, con especificaciones que tienen como límite la habilidad del usuario para la programación, así como la correcta adaptación de los cambios efectuados al código ya existente. Pues, como lo puede estar imaginando, estas alteraciones conllevan el riesgo de modificar funcionamiento apropiado del programa, donde las nuevas funciones y orden de procesos entren en conflicto con los ya existentes, por lo que se recomienda hacer los cambios de forma gradual, asegurando que cada modificación no altere la función del programa.

Dicho lo anterior, es importante reafirmar que son más los beneficios que los perjuicios en cuestión de hacer modificaciones a los programas de análisis conductual. Otra de las formas de asegurar un resultado positivo es integrar códigos ya disponibles que, que faciliten la integración a las funciones del programa. El uso de la inteligencia artificial, mediante el uso de algoritmos como el Machine Learning (ML) y el Deep Learning (DL).

## INTELIGENCIA ARTIFICIAL: MACHINE LEARNING O DEEP LEARNING

El desarrollo de la inteligencia artificial se ha abordado desde diferentes perspectivas. Para propósitos de este capítulo hablaremos de forma general de las dos formas más prevalecientes: *Machine learning* y *Deep learning*. Mientras que la primera utiliza un sistema estructurado y jerárquico para llegar a una respuesta, por ejemplo en el análisis de la conducta, ML crea módulos, donde categoriza la conducta de la muestra, y la compara con los cambios en la imagen a través del tiempo; la segunda contrapone toda la información y los datos para tener una conclusión utilizando redes neuronales artificiales, que en el caso de la conducta, DL puede ser más preciso al momento de identificar patrones conductuales gracias al desarrollo de estas redes neuronales.

Para este momento, se podría considerar que DL es una mejor opción para el proceso de análisis conductual, pero esta eficiencia también tiene un costo. DL requiere el entrenamiento de estas redes neuronales para poder funcionar de la forma esperada, por lo que es necesario “alimentarlo” con mucha información para que logre su desempeño óptimo. Esto puede resultar contraproducente si se quiere usar DL para un análisis conductual cuando la información que se tiene de la conducta de interés es limitada. Con esta información podemos decir que ML y DL procesan la información de forma diferente y el uso de estas dependerá de las necesidades del usuario.

### **SUPERVISADO O NO SUPERVISADO**

Una de las características que se presenta con el uso de algoritmos, es si estos tienen aprendizaje supervisado o no supervisado. Cuando se habla de aprendizaje supervisado se refiere a la introducción de datos etiquetados, que, en caso del análisis conductual, es “alimentar” al algoritmo con imágenes de la muestra con las etiquetas necesarias para la identificación y clasificación de la conducta. Con este método, el usuario es responsable de dar la información adecuada al logaritmo para que este sea capaz de diferenciar una conducta de otra. El método no supervisado se caracteriza por que el logaritmo “aprende solo”, categorizando la conducta de acuerdo con los patrones de repetición de esta. Este método, a pesar de ser más automático, pues no requiere una acción directa del usuario, si requiere mucha información para perfeccionar el proceso de categorización. Conociendo estas características de los algoritmos, se podrá identificar que existen ventajas y desventajas, no solo en el desempeño al momento del análisis, sino que también estas características van ligadas a los requerimientos en hardware y *software*, que dependiendo las capacidades que cada laboratorio podría resultar en una limitante de uso.

Una vez establecida la base conceptual sobre las pruebas conductuales estudiadas en neurociencias, el capítulo se centrará en los programas de código abierto que facilitan el análisis de estos datos conductuales. Entre estos programas se encuentran herramientas como *DeepLabCut*, *ezTrack* entre otros, que permiten la codificación y el análisis automa-

tizado de patrones de comportamiento en modelos no humanos a partir de sesiones en vivo o grabaciones de video.

Una de las características clave al usar algoritmos es si se emplea el aprendizaje supervisado o no supervisado. Esto es fundamental en neurociencias, ya que define como la inteligencia artificial elabora el análisis de la conducta.

El aprendizaje supervisado se basa en la introducción de datos etiquetados. En el contexto del análisis conductual en neurociencias, esto significa “alimentar” al algoritmo con imágenes o secuencias de video de la muestra experimental que ya tienen las etiquetas necesarias para identificar y clasificar conductas específicas. Por ejemplo, al hacer un estudio de comportamiento animal, el investigador puede seleccionar manualmente fotogramas indicando cuándo el animal está explorando, acicalándose o inmóvil. Con esta información el algoritmo tecnológico aprende a diferenciar una conducta de otra, construyendo un modelo predictivo. Esta aplicación es importante en las neurociencias pues es útil para automatizar la cuantificación de comportamientos complejos que pueden llevar horas de observación humana para su análisis.

Por otro lado, el método no supervisado se caracteriza porque el algoritmo “aprende solo”, identificando patrones y categorizando la conducta sin intervención humana inicial en el etiquetado. En neurociencias, esto podría aplicarse al análisis de grandes conjuntos de datos conductuales o neuronales para descubrir patrones o grupos de comportamiento que no son tan obvios a simple vista. por ejemplo, los diferentes tipos de acicalamiento, basándose en las similitudes de los datos.

### ***Alpha tracker***

El programa es capaz de dar seguimiento a múltiples animales e identificar diferentes conductas sociales. En la creación del programa, este fue comparado con *DeepLabCut*, donde se hicieron ajustes por parte de revisores, ayudando a categorizar las conductas de interés (Chen *et al.*, 2023). Dentro de las capacidades del programa, los autores identificaron dos limitaciones: fue desarrollado para el seguimiento de ratones desde una vista superior, por lo adaptarlo a otro análisis conductual es necesario ajustes extras; la segunda limitación es la necesidad de GPU para

el entrenamiento del modelado, por lo que ajustes técnicos también son necesarios.

#### *Behavior atlas*

Los autores del programa mencionan dos principales ventajas en la estructura de trabajo: la capacidad de seguimiento de diferentes partes del cuerpo y que el sistema múltiple de captura de movimiento evita problemas de perder datos por bloqueo de la imagen por otro animal (Huang *et al.*, 2021). Así mismo, los autores también informan sobre posibles desventajas en el programa: cuando se usa el programa para análisis de conducta social, como conducta sexual, jerarquía social, conductas defensivas, etc., es posible que se presenten errores de identificación.

#### *B-SOiD*

El programa captura los movimientos dinámicos de los miembros del animal, identificando los patrones que conforman la conducta (Hsu & Yttri, 2021). Los autores mencionan que resolvieron el problema de los cambios cinemáticos de los miembros mientras el animal se acicala, rasca o se camina. Además, mencionan la ventaja que, al ser de código abierto, permite el acceso a la plataforma a biólogos sin conocimiento de programación, ayudando a entender el funcionamiento del programa para agregar mejoras con posibilidad de errores mínimos.

#### *Deep action*

Este programa clasifica la conducta con gran precisión, teniendo un buen desempeño en el cambio de conducta (Harris, Finn, Kieseler, Maechler, & Tse, 2023). Los autores mencionan que la principal ventaja de este programa es extraer y clasificar la conducta de imágenes de video sin pre-procesar. Esto facilita el procesamiento del video, ya que elimina la necesidad de hacer manualmente la clasificación de las conductas. Otra de las ventajas que mencionan es la adaptabilidad, con la facilidad de integrar nuevas líneas de código para la mejora del desempeño del programa.

#### *DeepCat-z*

Para la creación del programa, usaron redes neuronales capaces de registrar y clasificar conductas que son cortas en duración, de rápida

transición y a veces, casi imperceptibles para el ser humano (Gerós, Cruz, de Chaumont, Cardoso, & Aguiar, 2022). Una de las desventajas del programa es que clasifica conductas “simples”, en un solo sujeto, pero puede que la eficiencia del programa decrementa, en la clasificación de las conductas, así como en el desempeño del poder computacional cuando se use en un ambiente con múltiples sujetos y se busque clasificar conductas más complejas. Por esta razón los autores mencionan que es necesario adaptar nuevas líneas de código para hacer el procesamiento de eventos más complejos.

### *DeepLabCut*

Usando modelos basados en DL, desarrollaron la adaptación de modelos pre-entrenados a una nueva tarea reduciendo el entrenamiento en la nueva tarea, fenómeno conocido como transferencia de aprendizaje (Mathis *et al.*, 2018). Al momento de desarrollar el programa, los creadores tomaron en cuenta las condiciones visualmente dinámicas que suceden durante una evaluación conductual, donde se pueden hacer grabaciones con diferente fondo, iluminación o con reflejos de luz. Algunas de las características que presenta este programa son: extracción de cuadros para el etiquetado de videos, generar datos entrenados basados en las etiquetas, entrenamiento de redes para las conductas de interés y obtener información de información no etiquetada.

### *ezTrack*

Este programa es descrito como una herramienta flexible para el análisis conductual, demostrando resultados precisos en diferentes condiciones de tareas conductuales, así como condiciones experimentales (Pennington *et al.*, 2019). A pesar de ser desarrollado y probado para el análisis de ratones, este programa puede ser usado en diferentes especies animales, debido a que el análisis se basa en la posición del cuerpo del animal. Una de las ventajas que mencionan es que puede ser usado en combinación con monitoreos electrofisiológicos *in vivo*, óptico o cualquier tipo de técnica de monitoreo/manipulación. Y a su vez tiene la desventaja que solo puede llevar el monitoreo de un animal a la vez.

### **LabGym**

Este programa puede ser usado en múltiples especies, desde la larva de la mosca, ratas y ratones, además de ofrecer análisis conductual personalizable automático sin los costos de los productos comerciales (Hu *et al.*, 2023). Una de las ventajas del programa es que utiliza un “patrón de imagen”, que utiliza este patrón como representación acertada del cuerpo completo o de uno de los miembros; otra de las ventajas es que tiene integrado un substractor del fondo de la imagen, facilitando el procesamiento de los videos; además permite la personalización de las redes neurales, haciéndolas tan complejas como el usuario lo requiera. Una de las desventajas es que el substractor de fondo de la imagen funciona adecuadamente cuando el nivel de iluminación es estable, y que el sujeto se mueva por todo el laberinto para que el programa lo pueda distinguir del fondo.

### **LiveMouse Tracker**

Este programa puede hacer el registro conductual en tiempo real por días o semanas, en ratones macho y hembra, siendo capaz de diferenciar entre uno u otro (de Chaumont *et al.*, 2019). El seguimiento de la conducta por períodos prolongados permite identificar las variaciones conductuales resultado del ritmo circadiano del ratón. Además, elimina el ruido que puede generar cuando el animal es transportado a un laberinto o espacio ajeno a su casa-habitación, haciendo que las respuestas conductuales sucedan de forma natural. Finalmente, los autores mencionan que el número de animales que puede rastrear simultáneamente el programa está limitado por el poder computacional con el que se dispone.

### **MARS**

El MARS es un programa basado en Python para detectar y clasificar conducta en video (Segalin *et al.*, 2021). Este programa funciona sin necesidad del uso de múltiples cámaras o equipo sofisticado, donde su poder reside en usar, tanto DL como ML, en el procesamiento de los videos, clasificación de conductas usando redes neuronales y la paquetería TensorFlow, permitiendo la correcta predicción de la posición de diferentes partes del cuerpo del ratón. Finalmente, para facilitar el proceso de entrenamiento de redes neurales para una nueva conducta, MARS ofrece un sistema

con una librería pre-entrenada, reduciendo la cantidad de información necesaria para su funcionamiento óptimo.

### VAME

Este programa fue creado por la necesidad de cuantificación conductual en neurociencias, donde sea posible capturar completamente la dinámica espacio-temporal de la conducta, para poder relacionarlo con la actividad cerebral (Luxem *et al.*, 2022). De la misma manera que otros programas mencionados, MARS se limita al análisis de un animal a la vez. Los autores mencionan que, a pesar de que MARS tiene un desempeño superior a otros sistemas no supervisados, cuando se trata de obtener un repertorio completo de conductas, es mejor usar un sistema supervisado.

### VSAMBR

Este programa es capaz de capturar la conducta de un solo ratón en su caja-habitación (Jhuang *et al.*, 2010). Los autores mostraron que es un sistema que se adapta fácilmente a las complejidades ambientales y conductuales que se presentan cuando hay otros objetos presentes en la caja-habitación del ratón. Además de esta adaptabilidad, el ser un programa de código abierto permite la modificación y personalización de las funciones del programa.

**Tabla 1. Programas de código abierto para evaluar diferentes conductas**

Programa	Conducta	Algoritmo	Supervisado	Grabado	Tiempo real	SO
AlphaTracker	Interacción social	DL	No	Si	Si	Linux, MacOS, Windows
Behavior atlas	Acicalamiento	ML	No	Si	No	Linux, MacOS, Windows
B-SOiD	Acicalamiento, locomotricidad	ML	No	Si	No	Linux, MacOS, Windows
Deep action	Monitoreo en caja-habitación	DL	NE	Si	No	Linux, MacOS, Windows
DeepCatT-z	Acicalamiento, locomotricidad	DL	Si	No	Si	MacOS, Windows

Programa	Conducta	Algoritmo	Supervisado	Grabado	Tiempo real	SO
DeepLabCut	OFT, EPM, MWM	DL	NE	Si	Si	Linux, MacOS, Windows
ezTrack	OFT, EPM, FST, condicionamiento al miedo	NE	NE	Si	Si	Linux, MacOS, Windows
LabGym	Locomotricidad	DL	No	No	Si	Linux, MacOS, Windows
LiveMouse Tracker	Acicalamiento, movimiento de cabeza	ML	NE	No	Si	Windows
MARS	Interacción social	DL, ML	Si	Si	No	Linux, MacOS, Windows
VAME	Acicalamiento, OFT, locomotricidad	DL, ML	No	Si	No	Linux, MacOS, Windows
VSAMBR	Monitoreo de caja-habitación	ML	No	Si	No	Linux, MacOS, Windows

Nota. Las siglas empleadas en la tabla corresponden a: DL, Deep learning; ML, Machine learning; NE, No específica; SO, Sistema operativo.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El análisis conductual en las neurociencias ha experimentado una gran transformación gracias a los avances tecnológicos y el desarrollo de programas de código abierto. Estas herramientas han permitido a los investigadores estudiar comportamientos complejos con mayor precisión y eficiencia, lo que ha impulsado el conocimiento sobre la relación entre el cerebro y la conducta. En la actualidad, los programas de análisis conductual han automatizado procesos que antes requerían horas de trabajo manual, reduciendo errores humanos y sesgos, y mejorando la confiabilidad de los resultados. La integración de técnicas de *Machine Learning* y *Deep Learning* ha permitido identificar patrones conductuales complejos que antes eran difíciles de capturar. Además, los programas de código abierto han democratizado el acceso a herramientas avanzadas, permitiendo que laboratorios con recursos limitados puedan realizar análisis de alta calidad. La naturaleza colaborativa de estos programas fomenta

la mejora continua, ya que los investigadores pueden modificar y adaptar el código según sus necesidades.

El análisis conductual se ha integrado con otras áreas, como la electrofisiología y la optogenética, permitiendo estudios más completos sobre cómo los circuitos neuronales generan comportamientos específicos. Los programas actuales permiten a los usuarios personalizar algoritmos y parámetros para adaptarse a diferentes especies, comportamientos y condiciones experimentales, lo que amplía su aplicabilidad. No obstante, el futuro del análisis conductual en neurociencias es aún más prometedor, con avances tecnológicos que continuarán transformando la forma en que estudiamos el comportamiento.

El uso de IA, especialmente *Deep Learning*, seguirá evolucionando, permitiendo la identificación de comportamientos más sutiles y complejos. Esto incluirá la detección de emociones, interacciones sociales y cambios conductuales a largo plazo. Se espera que los algoritmos sean más eficientes, requiriendo menos datos para el entrenamiento y reduciendo la dependencia de hardware costoso. Futuros desarrollos podrían permitir el análisis conductual en tiempo real, lo que sería invaluable para estudios que requieren respuestas inmediatas, como la manipulación optogenética o la estimulación cerebral. Esto también podría aplicarse en entornos clínicos, como la monitorización de pacientes con trastornos neurológicos o psiquiátricos.

Además, la combinación de análisis conductual con grandes volúmenes de datos (*Big Data*) facilitará identificar patrones globales y predictivos en el comportamiento, lo que podría ser útil para el diagnóstico temprano de enfermedades. Los programas de análisis conductual además podrán adaptarse para estudiar una gama más amplia de especies, lo que permitirá comparaciones evolutivas y el estudio de comportamientos únicos. Además, estos programas serán más intuitivos y requerirán menos conocimientos técnicos, lo que ampliará su uso a investigadores sin experiencia en programación.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos,

financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Basser, P. J. (1995). Inferring microstructural features and the physiological state of tissues from diffusion-weighted images. *NMR in Biomedicine*, \*8\*(7-8), 333–344. <https://doi.org/10.1002/nbm.1940080707>
- Belovicova, K., Bogi, E., Csatlosova, K., & Dubovicky, M. (2017). Animal tests for anxiety-like and depression-like behavior in rats. *Interdisciplinary Toxicology*, \*10\*(1), 40–43. <https://doi.org/10.1515/intox-2017-0006>
- Celis, C. A., Martínez, D. P., & Conde, C. A. (2010). La primera entrada en el laberinto en cruz elevado como predictor del nivel de ansiedad. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, \*42\*(3), 220–228.
- Conde, C., Nieto, J., & Orozco, L. C. (2008). Análisis comportamental de ratas expuestas al laberinto en cruz elevado bajo dos horarios de alimentación. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, \*40\*(2), 83–91.
- Chen, Z., Zhang, R., Fang, H. S., Zhang, Y. E., Bal, A., Zhou, H., . . . Lu, C. (2023). AlphaTracker: A multi-animal tracking and behavioral analysis tool. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, \*17\*, 1111908. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1111908>
- de Chaumont, F., Ey, E., Torquet, N., Lagache, T., Dallongeville, S., Imbert, A., . . . Olivo-Marin, J. C. (2019). Real-time analysis of the behaviour of groups of mice via a depth-sensing camera and machine learning. *Nature Biomedical Engineering*, \*3\*(11), 930–942. <https://doi.org/10.1038/s41551-019-0396-1>
- Fernandez, C., Hurtado, Y., Gutierrez, I., Gonzalez-Fraguela, M., & Fernández, J. (2024). Laberinto Acuático de Morris. En C. Médicas (Ed.), *Evaluación conductual: Trabajo con modelos experimentales en neurociencia* (pp. 66–79). La Habana.
- Gallegos, A. M., & Castillo, S. S. (2014). Modelos animales de miedo y ansiedad: Descripciones neuro-conductuales. *Actualidades en Psicología*, \*28\*(117), 1–12. <https://doi.org/10.15517/ap.v28i117.13934>

- Gerós, A., Cruz, R., de Chaumont, F., Cardoso, J. S., & Aguiar, P. (2022). Deep learning-based system for real-time behavior recognition and closed-loop control of behavioral mazes using depth sensing. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2022.02.22.481410>
- Harris, C., Finn, K. R., Kieseler, M. L., Maechler, M. R., & Tse, P. U. (2023). DeepAction: A MATLAB toolbox for automated classification of animal behavior in video. *Scientific Reports*, \*13\*(1), 2688. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29574-0>
- Hawkes, R. C., Holland, G. N., Moore, W. S., & Worthington, B. S. (1980). Nuclear magnetic resonance (NMR) tomography of the brain: A preliminary clinical assessment with demonstration of pathology. *Journal of Computer Assisted Tomography*, \*4\*(5), 577–586. <https://doi.org/10.1097/00004728-198010000-00001>
- Holland, G. N., Hawkes, R. C., & Moore, W. S. (1980). Nuclear magnetic resonance (NMR) tomography of the brain: Coronal and sagittal sections. *Journal of Computer Assisted Tomography*, \*4\*(4), 429–433. <https://doi.org/10.1097/00004728-198008000-00002>
- Holland, G. N., Moore, W. S., & Hawkes, R. C. (1980). Nuclear magnetic resonance tomography of the brain. *Journal of Computer Assisted Tomography*, \*4\*(1), 1–3. <https://doi.org/10.1097/00004728-198002000-00001>
- Hsu, A. I., & Yttri, E. A. (2021). B-SOiD, an open-source unsupervised algorithm for identification and fast prediction of behaviors. *Nature Communications*, \*12\*(1), 5188. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25420-x>
- Hu, Y., Ferrario, C. R., Maitland, A. D., Ionides, R. B., Ghimire, A., Watson, B., . . . Ye, B. (2023). LabGym: Quantification of user-defined animal behaviors using learning-based holistic assessment. *Cell Reports Methods*, \*3\*(3), 100415. <https://doi.org/10.1016/j.crmeth.2023.100415>
- Huang, K., Han, Y., Chen, K., Pan, H., Zhao, G., Yi, W., . . . Wang, L. (2021). A hierarchical 3D-motion learning framework for animal spontaneous behavior mapping. *Nature Communications*, \*12\*(1), 2784. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22970-y>
- Isik, S., & Unal, G. (2023). Open-source software for automated rodent behavioral analysis. *Frontiers in Neuroscience*, \*17\*, 1149027. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1149027>

- Jhuang, H., Garrote, E., Mutch, J., Yu, X., Khilnani, V., Poggio, T., . . . Serre, T. (2010). Automated home-cage behavioural phenotyping of mice. *Nature Communications*, \*1\*, 68. <https://doi.org/10.1038/ncomms1064>
- Luxem, K., Mocellin, P., Fuhrmann, F., Kursch, J., Miller, S. R., Palop, J. J., . . . Bauer, P. (2022). Identifying behavioral structure from deep variational embeddings of animal motion. *Communications Biology*, \*5\*(1), 1267. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-04080-7>
- 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>
- Morales, C. A. P. (2017). Sistema de control en laberinto circular de Barnes (LCB). *Visión Electrónica*, \*11\*(1), 6–11.
- Navarrete, F., Pérez-Ortiz, J., Femenía, T., García-Gutiérrez, M., García-Payá, M., Leiva-Santana, C., & Manzanares, J. (2008). Methods to evaluate cognitive disorders in animal models. *Revista de Neurología*, \*47\*(3), 137–145.

# Realidad virtual en la neuropsicología: Evaluación y futuro de la evaluación y la neurorrehabilitación

*Minerva Ortiz Valladares<sup>1</sup>*  
*Christian Peregrino Ramírez<sup>2</sup>*  
*Montserrat Reyes Montes<sup>3</sup>*

## INTRODUCCIÓN

La neuropsicología es un campo interdisciplinario dentro de las neurociencias que se nutre de diversas áreas del conocimiento, como la anatomía, la biología, la biofísica, la neurología y la psicología. Su propósito principal es investigar cómo se relacionan los procesos mentales complejos con la actividad cerebral. A través del estudio de los circuitos neuroanatómicos implicados en la regulación del comportamiento, esta disciplina permite comprender la estructura y el funcionamiento del sistema nervioso tanto en personas sin alteraciones neurológicas como en aquellas que presentan trastornos del neurodesarrollo o han sufrido lesiones cerebrales adquiridas (Ardila & Rosselli, 2007; Reyes & López, 2023).

En los últimos años, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de nuevas herramientas para el estudio y la intervención en neuropsicología, ampliando las posibilidades de evaluación y tratamiento de diversas alteraciones cognitivas y conductuales. Dentro de estas innovaciones, las tecnologías inmersivas han cobrado un papel relevante al pro-

<sup>1</sup> Profesora de la Facultad de Psicología de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040; Neuropsicóloga de la Clínica de Atención Neuropsicológica Sinergia, Colima, Colima, México, 28030. <https://orcid.org/0000-0002-1367-8596>

<sup>2</sup> Estudiante de la Maestría en Ciencias Médicas, Facultad de Medicina de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040. <https://orcid.org/0009-0009-8278-186X>

<sup>3</sup> Estudiante de la Licenciatura en Psicología, Facultad de Psicología de la Universidad de Colima, Colima, México, 28040. <https://orcid.org/0009-0004-1548-1473>

porcionar entornos interactivos que facilitan la simulación de situaciones del mundo real en condiciones controladas. Entre estas herramientas, la *Realidad Virtual* (RV) se ha consolidado como una de las más prometedoras, al permitir la creación de escenarios dinámicos que favorecen tanto la investigación neurocientífica como la aplicación clínica en pacientes con diferentes condiciones neurológicas y neuropsiquiátricas (Neguț *et al.*, 2016; Reyes & López, 2023).

La RV se define como un entorno digital tridimensional generado por computadora, en el que los usuarios pueden interactuar en tiempo real mediante dispositivos especializados, como cascos de realidad virtual (Head-Mounted Displays, HMDs), sensores de movimiento, controladores hápticos y guantes de realidad virtual. Estos sistemas permiten la manipulación de objetos, la navegación por escenarios simulados y la interacción con elementos dinámicos que replican aspectos del mundo real (Neguț *et al.*, 2016; Parsons *et al.*, 2017).

Desde sus inicios en la década de 1960, la RV ha evolucionado significativamente. En sus primeras aplicaciones, se utilizó en la formación de pilotos y en simulaciones militares. Con el avance de la tecnología y la miniaturización de los dispositivos, la RV ha encontrado aplicaciones en diversas disciplinas, incluyendo la medicina, la rehabilitación y, más recientemente, la neuropsicología. La RV permite recrear situaciones del mundo real con un alto nivel de detalle y control, proporcionando una evaluación más representativa del desempeño del paciente en actividades cotidianas como hacer compras, planificar una jornada laboral, cocinar o realizar tareas domésticas (Schultheis *et al.*, 2002). Esta capacidad de simulación resulta particularmente útil para evaluar procesos como la memoria prospectiva y las funciones ejecutivas en condiciones que imitan los desafíos reales que enfrentan los pacientes en su entorno diario (Neguț *et al.*, 2016).

A diferencia de las pruebas tradicionales, donde los estímulos son estáticos, los escenarios virtuales pueden modificarse dinámicamente según el desempeño del paciente. Esto permite aumentar progresivamente la complejidad de las tareas, incluir distractores ambientales o introducir eventos inesperados para evaluar la flexibilidad cognitiva, la capacidad de atención y la respuesta ante cambios en el entorno (Díaz-Orueta *et al.*, 2012).

La RV ha emergido como una herramienta innovadora en el campo de la neuropsicología, proporcionando un entorno tridimensional interactivo que permite la simulación controlada de diversas situaciones del mundo real. Gracias a sus aplicaciones en la evaluación y rehabilitación de funciones cognitivas, la RV ha demostrado ser una alternativa eficaz y complementaria a los métodos neuropsicológicos tradicionales.

### APLICACIONES DE LA RV EN LA INTERVENCIÓN NEUROPSICOLÓGICA

El campo de la neuropsicología implica el desarrollo de estrategias complejas, individualizadas en las necesidades de los pacientes con el fin de mejorar su calidad de vida. Para ello es imprescindible desarrollar intervenciones bien estructuradas que inician con la evaluación profunda y precisa de las diferentes funciones cognitivas y ejecutivas, junto con su manifestación conductual. La evaluación neuropsicológica ha sido tradicionalmente un pilar fundamental para la comprensión de las funciones cognitivas en diversas poblaciones clínicas y no clínicas. Durante décadas, los neuropsicólogos han utilizado pruebas estandarizadas en papel y lápiz, así como versiones digitalizadas de las mismas, para medir habilidades como la memoria, la atención y las funciones ejecutivas (Ardila & Rosselli, 2007). Sin embargo, estas metodologías presentan limitaciones significativas, entre ellas, una escasa validez ecológica y una baja capacidad para replicar situaciones de la vida cotidiana (Neguț *et al.*, 2016; Pieri *et al.*, 2023; Reyes & López, 2023).

En este contexto, RV ha emergido como una herramienta innovadora capaz de superar muchas de estas barreras. Al permitir la inmersión en entornos tridimensionales interactivos y controlados, la RV proporciona una experiencia de evaluación más cercana a las demandas cognitivas y funcionales del mundo real. En los últimos años, diversos estudios han explorado el potencial de la RV en la evaluación neuropsicológica, revelando ventajas importantes en términos de precisión diagnóstica, aceptabilidad por parte de los pacientes y sensibilidad a déficits sutiles en la cognición.

## EVALUACIÓN NEUROPSICOLÓGICA TRADICIONAL FRENTE LA EVALUACIÓN CON RV

Las pruebas neuropsicológicas convencionales han sido ampliamente validadas y continúan siendo herramientas esenciales para la evaluación clínica. No obstante, presentan ciertas limitaciones, entre las que destacan:

**Falta de validez ecológica:** La mayoría de las pruebas miden funciones cognitivas de manera aislada y en un entorno altamente controlado, lo que no siempre permite extrapolar los resultados a la vida cotidiana. Por ejemplo, una persona puede obtener un puntaje dentro del rango normativo en una prueba de memoria episódica en el laboratorio, pero presentar dificultades significativas para recordar citas médicas, realizar compras o seguir instrucciones en el mundo real. Esto ocurre porque las pruebas tradicionales tienden a simplificar los procesos cognitivos y a eliminar variables contextuales que podrían influir en el desempeño. En contraste, la vida diaria requiere la integración de múltiples funciones cognitivas en entornos cambiantes y con demandas simultáneas. Así, una prueba de memoria que simplemente evalúa la capacidad de recordar una lista de palabras no representa con precisión la complejidad de recordar eventos importantes en un contexto dinámico y socialmente relevante.

**Interacción limitada:** Las pruebas convencionales suelen ser administradas en formatos rígidos, como tareas de papel y lápiz o *software* computarizado con interacciones restringidas. Aunque estos formatos han demostrado ser eficaces para medir ciertos aspectos cognitivos, no permiten evaluar con precisión habilidades más complejas que dependen de la interacción con el entorno. Por ejemplo, la planificación y la toma de decisiones en la vida cotidiana requieren que el individuo evalúe múltiples opciones, anticepce consecuencias y ajuste su comportamiento según la retroalimentación del ambiente. En una prueba tradicional, estas funciones suelen evaluarse mediante tareas abstractas, como la Torre de Hanoi o el Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin. Si bien estas pruebas proporcionan información valiosa sobre la función ejecutiva, no reflejan la dinámica de la resolución de problemas en situaciones reales, donde los individuos deben tomar decisiones en entornos sociales y físicos más complejos. Otra limitación importante es que las pruebas tradicionales no capturan adecuadamente las diferencias individuales en la estrategia de resolución de tareas. En la vida real, las personas pueden abordar pro-

blemas de diversas maneras, mientras que, en una prueba estandarizada, las opciones de respuesta suelen estar restringidas, limitando la capacidad del evaluado para demostrar su verdadero potencial cognitivo.

Baja capacidad para evaluar la integración multisensorial: El procesamiento de la información en la vida cotidiana es un fenómeno multisensorial. En cualquier tarea cotidiana, como cruzar la calle, cocinar o participar en una conversación, se requiere la integración simultánea de estímulos visuales, auditivos, táctiles y motores. Sin embargo, las pruebas neuropsicológicas tradicionales suelen centrarse en un solo canal sensorial a la vez, lo que reduce su capacidad para evaluar cómo los individuos procesan e integran múltiples fuentes de información en tiempo real. Por ejemplo, muchas pruebas de atención evalúan la capacidad del individuo para responder a estímulos visuales o auditivos de forma aislada, pero no miden cómo se desempeña cuando estos estímulos se presentan de manera combinada, como ocurre en el mundo real. De manera similar, las pruebas de memoria suelen utilizar listas de palabras o pares de imágenes, pero rara vez simulan situaciones donde el individuo deba recordar información relevante en un contexto multisensorial, como recordar la ubicación de un objeto mientras escucha instrucciones verbales y se mueve dentro de un entorno.

Otras limitaciones relevantes incluyen el sesgo cultural y lingüístico, la mayoría de las pruebas han sido desarrolladas en contextos occidentales y pueden no ser aplicables a poblaciones con diferentes antecedentes culturales y lingüísticos, aun cuando hay la exigencia de la adecuación y estandarización de estas. Las cualidades del contexto cultural influyen en la forma en que las conductas se manifiestan y evidentemente, permean en los procesos cognitivos (Ardila, 1995, 2007; Olson & Jacobson, 2015). Además, las barreras en la comprensión de las instrucciones pueden afectar el desempeño del evaluado sin que esto refleje un déficit cognitivo real (de Mattos Pimenta Parente & Lecours, 1988). A su vez, es importante considerar que el ambiente de la evaluación puede generar estrés o ansiedad en los evaluados, lo que puede afectar el rendimiento cognitivo. La ansiedad ante la prueba puede afectar especialmente a personas con trastornos del estado de ánimo o ansiedad, comprometiendo la precisión de la evaluación (Dorenkamp & Vik, 2018; Leininger & Skeel, 2012). Por último, también es importante considerar que, en la vida cotidiana, las

funciones cognitivas no operan de forma estática, sino que se ajustan continuamente a los cambios en el entorno. Las pruebas convencionales no siempre permiten evaluar esta flexibilidad cognitiva de manera efectiva.

## FUTURO DE LA RV EN LA EVALUACIÓN NEUROPSICOLÓGICA

La creciente evidencia científica respalda el potencial de la RV no solo para superar las limitaciones de las pruebas tradicionales, sino también para ofrecer mediciones más precisas y representativas del desempeño cognitivo en la vida real (Brooks & Rose, 2003). Sin embargo, la implementación generalizada de la RV en la práctica clínica y de investigación neuropsicológica dependerá de la superación de diversos desafíos metodológicos, tecnológicos y éticos.

Investigaciones recientes han demostrado que la RV puede ser utilizada para diseñar pruebas que se ajusten a las capacidades y dificultades individuales de los pacientes. Por ejemplo, el Virtual Reality Cognitive Performance Assessment Test (VRCPAT) permite modificar las tareas en tiempo real en función del desempeño del usuario, asegurando que se capturen mejor los déficits cognitivos en condiciones más representativas de la vida diaria (Rizzo *et al.*, 2020). De esta manera, la RV facilita la evaluación de procesos cognitivos en un espectro más amplio de poblaciones, incluyendo pacientes con trastornos del neurodesarrollo, deterioro cognitivo leve y enfermedades neurodegenerativas (Brooks & Rose, 2003).

De igual forma, el uso de sistemas de inteligencia artificial (IA) dentro de los entornos de RV permitirá desarrollar sistemas de evaluación cognitiva que aprendan del comportamiento del paciente y ajusten las pruebas para obtener mediciones más precisas. Esto podría traducirse en protocolos de diagnóstico más eficaces y en una mejor identificación de patrones de deterioro o preservación cognitiva a lo largo del tiempo (Rizzo *et al.*, 2020).

Otro punto importante podría ser la combinación de la RV con técnicas de neuroimagen y biomarcadores. Herramientas como la resonancia magnética funcional (fMRI), la espectroscopía funcional del infrarrojo cercano (fNIRS) y la electroencefalografía (EEG) pueden integrarse con entornos de RV para analizar la activación cerebral en tiempo real mien-

tras el paciente realiza tareas cognitivas, permitiendo una evaluación neuropsicológica más detallada y objetiva (Arcuri *et al.*, 2021; Campbell *et al.*, 2009; Rizzo *et al.*, 2020; Wen *et al.*, 2018). Estudios recientes han utilizado fNIRS para evaluar la actividad prefrontal durante tareas de memoria prospectiva en entornos virtuales, demostrando que la activación de la corteza prefrontal medial es un predictor clave del desempeño en estas pruebas (Rizzo *et al.*, 2020). De manera similar, la RV ha permitido la identificación de patrones específicos de conectividad funcional en pacientes con deterioro cognitivo leve, lo que podría mejorar la precisión en el diagnóstico temprano de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Krohn *et al.*, 2020).

En un estudio se utilizó fMRI para comparar la activación cerebral durante la realización de la tarea de la Torre de Londres con una tarea de navegación en un entorno de RV. Los resultados mostraron una activación significativa en la corteza prefrontal dorsolateral, el cíngulo anterior y el hipocampo, con diferencias en la magnitud de la activación entre ambas tareas, lo que sugiere que la RV puede captar aspectos de planificación y toma de decisiones con mayor validez ecológica (Campbell *et al.*, 2009). Por otro lado, estudios han mostrado que el uso de fNIRS en combinación con RV permite evaluar la actividad de la corteza prefrontal durante tareas de memoria prospectiva. En particular, Rizzo *et al.*, (2020), encontraron que la activación en la corteza prefrontal medial es un predictor clave del desempeño en tareas de memoria prospectiva en RV, lo que refuerza su utilidad como herramienta de evaluación neuropsicológica avanzada. En general, la evidencia sugiere que la aplicación de estas tecnologías puede contribuir a la identificación temprana de enfermedades neurodegenerativas y a la optimización de tratamientos personalizados. Sin embargo, se requieren más investigaciones para estandarizar estos protocolos y ampliar su aplicación en la práctica clínica.

Otro avance crucial en el uso de la RV para la evaluación neuropsicológica es su aplicación en contextos de telemedicina. Con el desarrollo de dispositivos de RV accesibles y la mejora en la conectividad de Internet, se prevé que las evaluaciones neuropsicológicas puedan realizarse de manera remota con un alto grado de precisión y control experimental (Rizzo *et al.*, 2020).

La evaluación a distancia permite la evaluación de pacientes que viven en áreas alejadas o que tienen dificultades para desplazarse a centros de salud. De igual forma, la obtención de información desde medios más globales facilita la implementación de pruebas neuropsicológicas con un mayor grado de control, reduciendo la variabilidad introducida por los evaluadores humanos que puedan sesgar los resultados de la evaluación. A su vez, la posibilidad de un monitoreo longitudinal posibilita el seguimiento continuo de la función cognitiva de los sujetos, por ejemplo, en pacientes con enfermedades neurodegenerativas, lo que podría mejorar la detección de cambios patológicos y elegir mejores estrategias de intervención en etapas tempranas (Arcuri *et al.*, 2021; Comani *et al.*, 2015; Krohn *et al.*, 2020).

En conclusión, la combinación de RV con técnicas de neuroimagen y biomarcadores representa un avance significativo en la evaluación y rehabilitación neuropsicológica. Estudios han demostrado que esta integración permite una medición más precisa de la actividad cerebral en tiempo real, mejorando tanto la evaluación como la intervención en pacientes con deterioro cognitivo y trastornos ejecutivos. La evidencia sugiere que la aplicación de estas tecnologías puede contribuir a la identificación temprana de enfermedades neurodegenerativas y a la optimización de tratamientos personalizados. Sin embargo, se requieren más investigaciones para estandarizar estos protocolos y ampliar su aplicación en la práctica clínica.

## USO DE LA RV EN LA REHABILITACIÓN NEUROPSICOLÓGICA

La aplicación de la RV en la neurorrehabilitación ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas, consolidándose como una herramienta innovadora para la recuperación de funciones motoras, cognitivas y sensoriales en pacientes con patologías neurológicas (Nieto-Escamez *et al.*, 2023).

La RV en la neurorrehabilitación ha demostrado ser efectiva en la recuperación de funciones tanto motoras como cognitivas. Su impacto en la neuroplasticidad se debe a la estimulación de diferentes regiones corticales a través de tareas específicas diseñadas para mejorar el con-

trol motor, la percepción sensorial y las funciones cognitivas superiores (Georgiev *et al.*, 2021). En el lóbulo frontal, por ejemplo, la RV favorece el control motor y la memoria de trabajo mediante simulaciones de tareas motoras como manipulación de objetos, juegos interactivos que requieren planificación y ejercicios que desafían la atención ejecutiva (Bisconti *et al.*, 2012; Denmark *et al.*, 2019; Feitosa *et al.*, 2022). En el lóbulo temporal, la RV fortalece el procesamiento del lenguaje y la memoria episódica con simulaciones de interacción social, ambientes inmersivos que estimulan la memoria y ejercicios de reconocimiento de sonidos y palabras (Fasilis *et al.*, 2023). En el lóbulo parietal, las tareas de RV mejoran la percepción espacial y la coordinación sensoriomotora a través de juegos de navegación tridimensional y ejercicios de coordinación visomotora (Prochnow *et al.*, 2013; Tong, 2016). En el lóbulo occipital, la RV potencia el procesamiento visual y la atención selectiva con simulaciones de identificación de patrones, seguimiento visual y juegos de velocidad (Georgiev *et al.*, 2021). Finalmente, en el sistema límbico, la RV contribuye a la regulación emocional y la motivación mediante ambientes relajantes, terapias de exposición y simulaciones de interacción social para mejorar la empatía y el reconocimiento emocional (Colombo *et al.*, 2021; Macey *et al.*, 2022; Yuan & Ip, 2018).

La sistematización de la RV ha llevado a casos exitosos incluyen el uso de RV para la rehabilitación de pacientes con accidentes cerebrovasculares (ACV), donde sistemas como el RehabMaster™ han demostrado mejoras significativas en la recuperación de la movilidad del brazo y la mano (Massetti *et al.*, 2018). El sistema RehabMaster™ fue diseñado para proporcionar un entrenamiento basado en tareas específicas, optimizando la repetición y la motivación del paciente a través de una experiencia inmersiva y controlada. Integra sensores de profundidad que capturan los movimientos del usuario en tiempo real sin necesidad de dispositivos portátiles o controles físicos, lo que lo hace especialmente útil para pacientes con limitaciones motoras severas (Shin *et al.*, 2014). De igual forma, un desarrollo clave en el futuro de la RV en la neurorrehabilitación es su integración con IA e interfaces cerebro-computadora (BCI). La IA permite ajustar en tiempo real la dificultad de las tareas de rehabilitación y personalizar el tratamiento según los progresos del paciente (Voinescu *et al.*, 2021). Las BCI, por su parte, han permitido que pacientes con lesio-

nes medulares interactúen con entornos virtuales mediante la actividad cerebral, facilitando la rehabilitación de funciones motoras y cognitivas (Georgiev *et al.*, 2021).

A pesar de sus avances, la implementación de la RV en la neurorrehabilitación enfrenta diversos desafíos. La necesidad de estandarizar protocolos, garantizar la seguridad del paciente y evaluar los efectos a largo plazo son aspectos críticos para considerar (Massetti *et al.*, 2018). Asimismo, es fundamental abordar cuestiones éticas, como la privacidad de los datos y la equidad en el acceso a estas tecnologías. La inclusión de poblaciones vulnerables en los programas de rehabilitación basados en RV es un reto que debe ser prioritario en futuras investigaciones (Perez-Marcos, 2018).

## INTERVENCIONES TERAPÉUTICAS BASADAS EN RV DISEÑADOS PARA NEURORREHABILITACIÓN

### *Rehabilitación motora*

Las afecciones neurológicas son trastornos que afectan al sistema nervioso, el cual incluye el cerebro, la médula espinal y los nervios periféricos. Las causas de estas afecciones pueden variar, así como la gravedad y los síntomas, que pueden afectar tanto a las funciones motoras como a las sensoriales y cognitivas (Feigin *et al.*, 2020). Entre las afecciones neurológicas más comunes se encuentran los ACV, que ocurren cuando el flujo sanguíneo al cerebro se interrumpe, causando daño a las células cerebrales. Un ACV puede ser isquémico (por obstrucción de una arteria) o hemorrágico (por la ruptura de un vaso sanguíneo). Los síntomas más comunes incluyen la pérdida de movimiento o debilidad de un lado del cuerpo, dificultad para hablar, pérdida de visión y problemas cognitivos. Otra afección neurológica frecuente son las lesiones medulares, que se producen cuando la médula espinal se ve dañada, generalmente por un trauma físico o enfermedades (Moon & Han, 2022; Vázquez Martínez *et al.*, 2023).

En este contexto, los programas de RV han emergido como una herramienta efectiva en la rehabilitación motora de pacientes con afecciones neurológicas, lo que permite a los usuarios experimentar una sensación similar de los objetos y eventos del mundo real. Mediante el uso de la RV,

los pacientes pueden participar en programas de rehabilitación dentro de un entorno seguro y controlado, lo que favorece la plasticidad cerebral y la recuperación funcional (Asadzadeh *et al.*, 2021; Hernández, 2023). Al realizar ejercicios repetitivos en un entorno virtual, se estimulan áreas cerebrales involucradas en el movimiento, favoreciendo la recuperación funcional tras un ACV o cualquier otra afección neurológica. Los ejercicios pueden ajustarse a las necesidades específicas de cada paciente, adaptándose al nivel de daño neurológico y al progreso durante el tratamiento (Alfieri *et al.*, 2022; Hernández, 2023; Moon & Han, 2022).

### *Rehabilitación cognitiva*

Las afecciones neurológicas abarcan un amplio espectro de trastornos, entre los cuales se incluyen la Esclerosis Múltiple (EM), la Enfermedad de Alzheimer (EA), la epilepsia, la ataxia, entre otros. Las personas que padecen estas afecciones a menudo experimentan alteraciones en el funcionamiento cognitivo, lo que afecta significativamente su capacidad para llevar una vida independiente. Las lesiones cerebrales suelen generar déficits en procesos cognitivos como la atención, la memoria y las funciones ejecutivas, que son fundamentales para el aprendizaje, la toma de decisiones, la planificación, y el control de impulsos (Vance *et al.*, 2013). La rehabilitación cognitiva es un enfoque terapéutico que agrupa diversas intervenciones con el objetivo de mejorar estas funciones deterioradas. A través de este tratamiento, se busca minimizar las consecuencias funcionales de una lesión del sistema nervioso, enfocándose especialmente en la mejora de la memoria, la atención y las funciones ejecutivas (Dams-O'Connor & Gordon, 2010).

Si bien el entrenamiento cognitivo tradicional es una técnica preventiva que busca desacelerar el deterioro cognitivo, tiene ciertas limitaciones que la RV intenta corregir, como lo es la retroalimentación en tiempo real, adaptación de manera dinámica de las actividades a los objetivos del paciente, así como el ajuste la dificultad de los ejercicios en función de las necesidades individuales de cada paciente. La RV ha mostrado una mejora significativa en la memoria verbal y en la memoria visual, así como beneficios notables en la perseveración, la planificación y flexibilidad cognitiva en pacientes con afecciones neurológicas. Sin embargo, en pacientes con lesiones cerebrales traumáticas, no se observaron diferencias en aspectos

como cognitivos como la memoria de trabajo y la velocidad de procesamiento (Tieri *et al.*, 2018)

### ***Tratamiento de trastornos del movimiento***

La enfermedad de Parkinson es un trastorno neurodegenerativo que afecta el control de los movimientos. Se caracteriza por la degeneración de las neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra, lo que reduce la dopamina disponible en el estriado, una estructura cerebral clave en la regulación del movimiento y la coordinación. Los síntomas característicos incluyen temblores, rigidez muscular, lentitud de movimientos y problemas de equilibrio (Aramaki *et al.*, 2019; Laver *et al.*, 2017).

Mediante simulaciones de la vida diaria, los pacientes pueden mejorar habilidades como caminar, agarrar objetos, subir escaleras o realizar movimientos finos. Programas como VRehab o sistemas con exoesqueletos robóticos, permiten simular tareas cotidianas ayudando a restaurar la función motora. VRehab está diseñado para mejorar tanto la función motora como la cognitiva en pacientes con afecciones neurológicas. Se utiliza en entornos clínicos para facilitar la rehabilitación, ayudando a recuperar habilidades motoras, coordinación y movilidad mediante ejercicios interactivos en un entorno virtual inmersivo. Utilizando dispositivos de entrada como guantes, gafas o sistemas de seguimiento de movimiento, el paciente puede realizar actividades cotidianas, favoreciendo la recuperación dentro de un entorno seguro. Además, VRehab incorpora elementos de gamificación, presentando la rehabilitación como un juego o desafío, lo que mejora la adherencia al tratamiento. Un aspecto clave es la evaluación objetiva y registro de avance del usuario, que permite ajustar el plan de tratamiento y realizar intervenciones más efectivas (Asadzadeh *et al.*, 2021; Laver *et al.*, 2017).

## BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RV EN NEURORREHABILITACIÓN

### *Optimización de la motivación y adherencia terapéutica en neurorrehabilitación mediante RV*

La RV ofrece un entorno inmersivo que facilita la realización de ejercicios repetitivos y personalizados, estimulando las áreas cerebrales asociadas con el movimiento. Esta estimulación es clave para la recuperación motora después de un ACV o cualquier otra afección neurológica. Además, los programas de rehabilitación basados en RV suelen incorporar un enfoque gamificado, lo que aumenta la motivación del paciente y convierte el proceso de rehabilitación en una experiencia más dinámica y entretenida. Gracias a esta gamificación, los pacientes no solo se sienten más comprometidos con el tratamiento, sino que también experimentan una mayor sensación de progreso y logro debido a la retroalimentación en tiempo real del mismo. La tecnología semi-inmersiva, que combina el protocolo de rehabilitación con el uso de tecnologías como robótica, interfaces cerebro-computadora y prótesis cerebrales ha demostrado ser una solución óptima para la rehabilitación, ya que permite la inmersión en un entorno virtual interactivo, lo que genera que el usuario responda al entorno de una manera más efectiva. La inmersión se logra mediante diversas tecnologías que actualizan la información visual en tiempo real, según los movimientos de la cabeza y el cuerpo del usuario. Cuanto más sofisticada sea la tecnología de RV utilizada y mayor sea el grado de inmersión, mayor será la sensación de presencia en el entorno virtual (Alfieri *et al.*, 2022; Cano-de-la-Cuerda *et al.*, 2024; Tieri *et al.*, 2018).

### ***Personalización de terapias en neurorrehabilitación: El Papel de la RV en la optimización del tratamiento***

Una de las principales ventajas de los programas de RV es su capacidad para ajustarse a las necesidades individuales de cada paciente. Los ejercicios pueden modificarse en tiempo real, teniendo en cuenta el daño neurológico y los avances observados durante el tratamiento, lo que permite personalizar la rehabilitación y optimizar los resultados. Factores como la intensidad, duración y tipo de interacción en RV, junto con la integración de terapias convencionales (TC) y la retroalimentación inmediata, son esenciales para lograr avances significativos (Nieto-Escamez *et al.*, 2023). Esta capacidad de personalización también facilita una evaluación más precisa de los dominios cognitivos, considerando variables como la edad, el nivel educativo, el estado emocional y los déficits específicos de cada paciente (Kourtesis & MacPherson, 2021).

Investigaciones recientes han mostrado que los entornos virtuales adaptados pueden mejorar la neuroplasticidad y facilitar la recuperación funcional en personas con parálisis cerebral (Nieto-Escamez *et al.*, 2023). En pacientes que han sufrido un ACV, se han registrado mejoras en la memoria y habilidades visoespaciales, mientras que, en pacientes con lesiones cerebrales traumáticas, los avances han sido más notables en funciones ejecutivas, atención y habilidades visoespaciales. Además, los pacientes con deterioro cognitivo leve han mostrado mejoras en funciones ejecutivas (Asadzadeh *et al.*, 2021; Riva *et al.*, 2020; Tieri *et al.*, 2018).

Estos resultados subrayan el potencial de la RV para crear entornos controlados y ecológicos que simulan situaciones de la vida diaria de manera personalizada. Es importante destacar que la RV no reemplaza a los terapeutas, sino que los complementa al proporcionar herramientas que permiten diseñar intervenciones personalizadas y ajustables en tiempo real según las necesidades y avances del paciente. Aunado a ello, la flexibilidad de diseñar actividades adaptadas a cada paciente mejora la efectividad de las intervenciones (Kim *et al.*, 2020). Así mismo, la inclusión de un componente lúdico incrementa el compromiso de los usuarios, clave para asegurar el éxito del tratamiento (Cherniack, 2011; Jahn *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2020; Tieri *et al.*, 2018).

Esta flexibilidad convierte a la RV en una herramienta eficaz para abordar las variaciones individuales en la rehabilitación motora y cognitiva,

lo que contribuye a mejorar la calidad de vida de los pacientes y acelerar su recuperación. Así, la RV no solo proporciona un enfoque flexible, sino también profundamente contextualizado y adaptado a las necesidades específicas de cada caso.

### **LIMITACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS EN LA APLICACIÓN DE LA RV EN NEURORREHABILITACIÓN**

A pesar de los avances significativos en el uso de la RV para rehabilitación motora y cognitiva en pacientes con afecciones neurológicas, su implementación en clínicas de neurorrehabilitación presenta varios desafíos, tanto técnicos como económicos. La RV requiere de equipos avanzados, como cascos y sensores, que deben ser compatibles con el sistema operativo para garantizar una experiencia precisa y eficaz en la rehabilitación de los movimientos y las capacidades cognitivas. El elevado costo de estos equipos, la necesidad de capacitación especializada para los profesionales de la salud, así como del mantenimiento y actualización de los sistemas, representan obstáculos clave para las clínicas neuropsicológicas dedicadas a rehabilitar pacientes con afecciones neurológicas.

Entre los aspectos económicos más relevantes en la implementación de estas tecnologías destacan la minimización de gastos, la rentabilidad, la relación utilidad-costo y en el análisis del costo-beneficios en comparación con la rehabilitación tradicional y en comparación con las diversas gamas de la RV (Quintana *et al.*, 2023; Saposhnik *et al.*, 2016). En una revisión realizada por Cano-de-la-Cuerda *et al.*, (2024), se señala que la implementación de la RV asistida por robots es eficaz en la recuperación funcional de pacientes con afecciones neurológicas. Además, las intervenciones con RV semi-inmersiva podrían representar una opción viable y accesible frente a las de alta gama, ofreciendo mejores resultados que la rehabilitación convencional, con un adecuado costo-beneficio tanto para las clínicas como para los usuarios en relación con los resultados que se han obtenido en diferentes investigaciones.

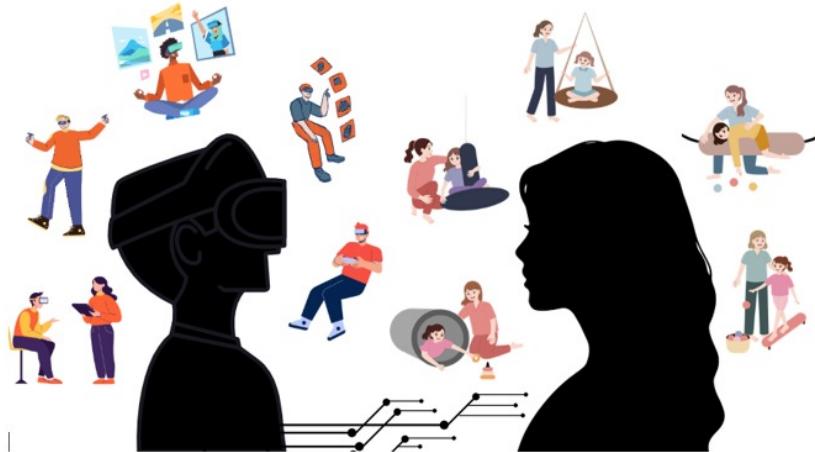
## EFICACIA Y DESAFÍOS DE LA RV EN LA NEURORREHABILITACIÓN

Los avances recientes de la tecnología generan nuevos métodos y estrategias para distintos escenarios, especialmente para la neurorrehabilitación. Las intervenciones con RV están ganando terreno como aplicaciones populares para varias condiciones neurológicas; mostrando ventajas significativas en comparación con las TC. En términos de eficacia, varios estudios han demostrado que la RV puede superar a las TC en la mejora de funciones motoras y cognitivas, particularmente en pacientes con ACV y EM (Negu *et al.*, 2016; Shin *et al.*, 2014). Esto no quiere decir que, la RV sustituye por completo a las terapias tradicionales, sino que funciona mejor como un complemento, ya que su efectividad varía según el tipo de paciente y la intensidad de la intervención (Voinescu *et al.*, 2021). Además, la RV activa múltiples áreas cerebrales, promoviendo la neuroplasticidad y la reorganización cortical (Prochnow *et al.*, 2013), aunque no todos los pacientes responden de la misma manera, y algunos pueden experimentar ciber-enfermedad (mareo por inmersión), especialmente adultos mayores (Rizzo *et al.*, 2020).

En términos de participación en el tratamiento, la RV ofrece una experiencia más atractiva, lo que favorece la continuidad del tratamiento en comparación con las TC (De Luca *et al.*, 2022; Hoffman *et al.*, 2020). No obstante, el acceso a la tecnología de RV puede ser limitado debido a su precio y disponibilidad (Voinescu *et al.*, 2021). fobia por volarento de fobias y trastornos emocionales, la RV permite una exposición controlada y gradual a entornos fóbicos (Negu *et al.*, 2016), lo que ha demostrado ser efectivo en casos de ansiedad social y fobia a volar (Bell *et al.*, 2020, 2024). Sin embargo, aún se necesitan estudios a largo plazo para evaluar la generalización de estos beneficios en la vida cotidiana (Delgado Reyes & Sánchez López, 2023).

A pesar de sus limitaciones, como el realismo imperfecto de los entornos inmersivos, que no siempre replican fielmente el mundo real, la RV ofrece ventajas notables, como mayor realismo ecológico, control experimental y estimulación sensorial (Rizzo *et al.*, 2020). Hay que destacar también que su capacidad para medir múltiples procesos cognitivos simultáneamente lo que la convierte en una herramienta valiosa para la rehabilitación cognitiva. A pesar de estas limitaciones que se pueda

**Figura 1. Comparación entre la neurorrehabilitación basada en Realidad Virtual (RV) y la neurorrehabilitación convencional**



Nota. La RV ofrece un enfoque innovador y atractivo que complementa las terapias tradicionales, promoviendo la neuroplasticidad y la recuperación de funciones motoras y cognitivas. Fuente: Elaboración propia.

llegar a tener, los profesionales en neuropsicología deben de ampliar sus horizontes e incluir herramientas tecnológicas como la RV que permite la evaluación y el tratamiento, especialmente cuando se combina con otras tecnologías y se tienen en cuenta los posibles problemas éticos y de seguridad.

La efectividad de la RV en la neurorrehabilitación está influenciada por diversos factores relacionados con el paciente, la intervención y las características tecnológicas y los resultados de las investigaciones son diversos y evaluar su efectividad puede dificultarse por las diferenciaciones entre los tipos de pacientes, la variabilidad de tecnologías y diseños experimentales. No obstante, aunque estas tecnologías muestran resultados prometedores, se requiere más investigación para establecer protocolos estandarizados y garantizar su seguridad y eficacia.

Evaluar la funcionalidad del impacto puede resultar complejo debido a la heterogeneidad de los pacientes, la diversidad de tecnologías empleadas y la variabilidad en los diseños experimentales. Estas diferencias

dificultan la comparación directa entre estudios y la generalización de resultados. Para consolidar su uso clínico, es necesario profundizar en la investigación que permita establecer protocolos estandarizados y rigurosidad metodológica, garantizar la seguridad de los usuarios y optimizar su eficacia en diferentes contextos y poblaciones. Los factores del paciente, aspectos como las características clínicas, el interés, el disfrute y las capacidades individuales juegan un papel crucial en el éxito del tratamiento (Bell *et al.*, 2024; Di Tella *et al.*, 2021). Además, la gravedad de las secuelas debe ser considerada para evitar sesgos en los resultados (Moreno Verdú *et al.*, 2019).

Desde el punto de vista tecnológico, el nivel de inmersión y la sensación de “presencia” son fundamentales para que los usuarios se comporten en la RV como lo harían en la vida real, lo que facilita la transferencia de habilidades entrenadas. Las características de la plataforma, como la personalización de entornos, la interactividad y la adaptación de estímulos sensoriales (visuales, auditivos y táctiles), potencian la efectividad de las intervenciones. La usabilidad y la seguridad también son aspectos críticos, especialmente en poblaciones vulnerables, donde deben minimizarse los efectos adversos, como la ciber-enfermedad. En conjunto, estos factores resaltan la importancia de un enfoque integral y personalizado para maximizar los beneficios de la RV en la neurorrehabilitación.

Para finalizar, la RV se presenta como una herramienta innovadora que busca optimizar la eficiencia de la intervención neuropsicológica. En lugar de plantear una dicotomía entre lo tradicional y lo nuevo, se propone una combinación de la RC con la RV, aprovechando lo más beneficioso de ambas aproximaciones. Esta integración permitiría maximizar los resultados terapéuticos al complementar las fortalezas de cada enfoque. Sin embargo, es importante destacar que la mayoría de los estudios que implementan terapias basadas en RV se realizan después de los seis meses de recuperación, una vez que el cuadro clínico del paciente se ha estabilizado. Esto plantea una oportunidad para futuras investigaciones que exploren la aplicación de la RV en etapas más tempranas, como el primer mes de recuperación, lo que podría ampliar su impacto y beneficios, también como estudios con mayores tamaños muestrales. Además, se alienta la necesidad de establecer protocolos estandarizados que definan parámetros clave, como la frecuencia, intensidad y forma de administración

de la RV, con el fin de garantizar su seguridad, eficacia y replicabilidad en diferentes contextos clínicos. La RV, en conjunto con la RC, representa un camino prometedor hacia una neurorrehabilitación más personalizada, efectiva y accesible.

### TENDENCIAS EMERGENTES EN EL USO DE LA RV PARA LA NEURORREHABILITACIÓN

En la actualidad, la RV se ha convertido en un aliado en la neuropsicología. Más allá del entretenimiento, la RV comenzó una revolución en la forma en la que tradicionalmente se venía dando terapia neuropsicológica, donde estos mundos virtuales pudieran usarse no para escapar de la realidad, sino para reconectarnos con ella. Pensemos en todas las personas que han sufrido un daño cerebral y luchan para poder recuperar su vida como antes del accidente; en lugar de trabajar con ejercicios repetitivos y mecánicos, ahora pueden trabajar en escenarios simulados para reconstruir su capacidad de planificación, organización y toma de decisiones. Por lo que desafía a la persona de una forma controlada y segura. Lo que parece un simple juego es, en realidad, una terapia diseñada.

En personas que han perdido la movilidad en un brazo tras un accidente cerebrovascular; el uso de un guante háptico ha permitido sentir un objeto virtual mientras lo levanta. Un laberinto en 3D lo desafía a mover su brazo con precisión, y cada éxito es celebrado con una retroalimentación que lo impulsa a seguir adelante y convertir estos movimientos en reales. La RV entrena al cuerpo, así como al cerebro, ayudándole a reconectar neuronas y recuperar habilidades que creía perdidas. Estos sistemas virtuales guían a los pacientes a través de ejercicios donde pueden ver su progreso de forma tangible, lo que le genera mayor satisfacción y, por consiguiente, mayor compromiso al tratamiento; también permite que la terapia no se limite a un consultorio, sino que los pacientes puedan asistir a ella desde su casa (Skip *et al.*, 2005; Tacchino *et al.*, 2023).

Uno de los mayores avances de esta combinación tecnológica es la capacidad de individualizar los tratamientos. La RV permite crear entornos virtuales que se ajustan a las necesidades específicas de cada paciente, ya sea por su trastorno neurológico, su edad o estilo de vida. Por ejemplo, si una persona de la tercera edad necesita mejorar su capacidad de pla-

nificación, se puede crear una cocina virtual donde tenga que organizar los ingredientes y seguir recetas. Estos escenarios, aparte de realistas, se pueden acoplar en tiempo real gracias a la IA, que analiza el progreso del paciente y ajusta la terapia para maximizar su eficacia en la evolución del paciente. Los algoritmos inteligentes de la IA recopilan y analizan datos cada sesión, identificando patrones y ajustando los protocolos de rehabilitación de manera precisa. Esto optimiza los resultados, así como reduce el tiempo de recuperación. Además, permiten crear planes apropiados a las necesidades clínicas del paciente y a sus preferencias personales (Débora *et al.*, 2023).

Por otro lado, la robótica ha llevado la precisión en las terapias, ya que dispositivos como brazos mecánicos o guantes hápticos pueden proporcionar retroalimentación en tiempo real sobre la postura y el movimiento del paciente. Estos dispositivos corrigen errores sutiles y facilitan el aprendizaje motor. La combinación de robótica con RV y IA permite la coordinación entre los estímulos visuales, táctiles y kinestésicos, permitiendo que el paciente realice movimientos con mayor exactitud, maximizando y facilitando la recuperación más natural de las funciones afectadas (Comani *et al.*, 2015).

Uno de los mayores retos en la rehabilitación es mantener a los pacientes comprometidos y, por consiguiente, con una continuidad en el tratamiento. Aquí es donde tanto la RV como la robótica destacan. Los entornos virtuales convierten cada sesión en una experiencia envolvente y estimulante, fomentando la autonomía y confianza en los pacientes y en el proceso terapéutico. Gracias a la adaptabilidad de las habilidades y preferencias de cada usuario, la terapia termina siendo menos intimidante, ya que permite que asistan a sesiones de terapia física y ocupacional desde casa mediante programas de telerehabilitación (Skip *et al.*, 2005; Tacchino *et al.*, 2023), sin necesidad de desplazarse, ya sea porque su condición no lo permite o por las distancias.

La RV se ha convertido en una herramienta clave en la rehabilitación de funciones ejecutivas y motoras en personas con daño cerebral adquirido y en aquellas con trastornos neurológicos del desarrollo. Su uso en el hogar permite mejorar el rango articular, la fuerza muscular y reducir el dolor en los pacientes. Además, estudios han demostrado su efectividad en el tratamiento de heminegligencia visoespacial, ayudando a los pacientes a

recuperar habilidades perdidas tras un evento neurológico. Sabemos que, en la RV, la persona se sumerge en un entorno completamente digital; sin embargo, esto no se detiene ahí. La realidad aumentada (RA) y la realidad mixta (RM) representan una evolución de la RV. Se diferencian porque la primera incorpora y muestra simultáneamente objetos del mundo virtual y real, aumentando la percepción de la realidad, aunque estos dos mundos no interactúan directamente, simplemente se superponen. Mientras que la RM sí permite que los elementos físicos y digitales se conecten entre sí, de forma que los usuarios pueden manipularlos (Georgiev *et al.*, 2021).

La RA y RM en las terapias son útiles en el campo de la rehabilitación motora, ya que estas tecnologías permiten superponer instrucciones virtuales en objetos reales, facilitando la práctica y corrección de movimientos. Para la rehabilitación cognitiva, crean juegos y simulaciones interactivas que estimulan directamente las funciones cognitivas afectadas. Además, son ideales para simular actividades de la vida diaria, lo que mejora el rendimiento y la independencia de los pacientes. Por ejemplo, un juego de RA que superpone tareas virtuales en el mundo real puede hacer que la terapia sea más divertida y atractiva.

También se pueden encontrar más aplicaciones específicas, entre ellas se incluyen: rehabilitación de adicciones, manejo del dolor crónico, entrenamiento de habilidades sociales, evaluación y tratamiento de trastornos psicóticos y psiquiátricos (Bell *et al.*, 2020).

Por su parte, la terapia ocupacional ha incorporado la RV como herramienta, para generar cambios en el desempeño global, así como para entrenar habilidades motoras específicas. La RA y la RM permiten que los pacientes practiquen y prueben habilidades en entornos simulados que integran elementos reales y virtuales, reduciendo el riesgo de daños y aumentando la eficacia. Por ejemplo, un paciente puede practicar habilidades de cocina en una cocina real con instrucciones virtuales, lo que le permite aprender en un entorno seguro y controlado.

La integración adecuada genera que el comportamiento en la RV sea de manera similar a la vida real, contribuyendo al éxito de las habilidades entrenadas (Hoffman *et al.*, 2020). Sin embargo, en el tratamiento de fobias, la RA o RV puede ser menos efectiva, ya que no existe una desconexión total del mundo real. En estos casos, la exposición in vivo sigue siendo la opción preferida, sin embargo, la RV puede superar estas

limitaciones creando escenarios exagerados o ficticios que amplifiquen el efecto terapéutico (Bell *et al.*, 2024). A su vez, hay que tener en cuenta que la evidencia sobre la eficacia de la RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva aún es limitada, y se necesitan más estudios con metodologías sólidas para validar su uso. A pesar de esto, su potencial es innegable, y su integración en la práctica clínica promete transformar la forma en que abordamos la rehabilitación neurológica.

### AMPLIACIÓN DEL USO CLÍNICO DE LA RV EN NEURORREHABILITACIÓN: IMPLICACIONES Y RETOS

Los avances tecnológicos están facilitando una mayor integración de la RV y sus complementos mencionados anteriormente, en hospitales y centros de rehabilitación. Para la implementación de la RV, primeramente, se debe de considerar factores como el gasto de los dispositivos, así como del *software*, ya que aún no puede ser accesible para muchos (Bell *et al.*, 2020), desarrollar estrategias para la privacidad de datos, también destacar la supervisión por profesionales para asegurar la eficacia y seguridad del tratamiento, más estudios longitudinales sobre la seguridad y los efectos a largo plazo de las tecnologías (Diago Alfes III *et al.*, 2024). Tener en cuenta las limitaciones del para analizar ciertos factores individuales del paciente que influyen en su tratamiento.

El desarrollo de protocolos clínicos para el uso de la RV en neuropsicología es crucial para estandarizar su aplicación y garantizar su eficacia y seguridad. Los aspectos por considerar para desarrollar estos protocolos deben abordar cuestiones de seguridad, eficacia, privacidad y ética, y deben basarse en la evidencia científica más actualizada. Al hacerlo, se puede garantizar que la RV se utilice de manera responsable y efectiva para mejorar la calidad de vida de las personas con trastornos neurológicos y psicológicos. Remarcar la importancia de primero evaluar los casos, considerando las consecuencias negativas, especialmente para personas donde la distorsión de la realidad ya sea un problema (Bell *et al.*, 2020). Agregar que los protocolos deben de incorporar tareas diseñadas para ajustarse a la dificultad de cada usuario y del nivel de desafío cognitivo requerido, analizar las estrategias de aprendizaje del paciente y ofrecer un entorno seguro para pruebas y entrenamiento (Selzer *et al.*, 2006).

Finalmente debe asegurar que los entrenamientos en la RV se traduzcan en mejoras correspondientes en el mundo físico.

La formación de profesionales en el uso de la RV como herramienta complementaria en neuropsicología es esencial para integrarla eficazmente en la rehabilitación y el tratamiento. Esto implica unificar criterios sobre los conocimientos fundamentales de la neurorrehabilitación, que incluyen la plasticidad cerebral, principios de aprendizaje, modelos de déficits cognitivos, la evaluación neuropsicológica, diseño de intervención, monitoreo de progreso, entre otras cosas (Selzer *et al.*, 2006). De igual forma, se debe tener conocimiento técnico de la RV, donde destacan los tipos de sistemas de RV, los instrumentos, el desarrollo de escenarios y, por último, pero no menos importante, las consideraciones éticas y de seguridad (Cameirão *et al.*, 2010).

La investigación científica debe centrarse en las necesidades actuales de las personas y en las herramientas que se proponen para solucionar, esto nos permite tener datos actualizados y específicos, con los cuales podemos diseñar intervenciones y planes que respondan a situaciones concretas, adaptados al contexto cultural y social de cada comunidad. Con esto no solo mejora la efectividad de las estrategias de intervención, sino que también permite generar un plan de intervención basado en evidencia, por lo que se usa enfoques que sean efectivos, económicos y poco evasivos.

La RV ha sido estudiada como un nuevo recurso en la neurorrehabilitación, mostrando mayores beneficios con respecto a la rehabilitación convencional (Arcuri *et al.*, 2021; Georgiev *et al.*, 2021; Shin *et al.*, 2014) lo que la convierte en una técnica prometedora en la neurorrehabilitación. Estos estudios han explorado la eficacia y efectividad de este reciente procedimiento, con la finalidad de evaluar su potencial como herramienta terapéutica, encontrando la mejora recuperación de funciones motora (Corbetta *et al.*, 2015; da Silva Ribeiro *et al.*, 2015; Domínguez-Téllez *et al.*, 2019; Moreno Verdú *et al.*, 2019) como la velocidad al caminar (Prochnow *et al.*, 2013), el equilibrio (Domínguez-Téllez *et al.*, 2019; Prochnow *et al.*, 2013) y movimiento independiente de los dedos (Thielbar *et al.*, 2014).

También se ha encontrado estudios que respalden el uso de la RV como herramienta efectiva para mejorar las funciones cognitivas como la memoria (Georgiev *et al.*, 2021; Rizzo *et al.*, 2020), funciones ejecu-

tivas (Wen *et al.*, 2018), habilidades visuoespaciales (Negu *et al.*, 2016), atención (Delgado Reyes & Sánchez López, 2023; Georgiev *et al.*, 2021) y resolución de problemas (Georgiev *et al.*, 2021) en diversos trastornos neurológicos.

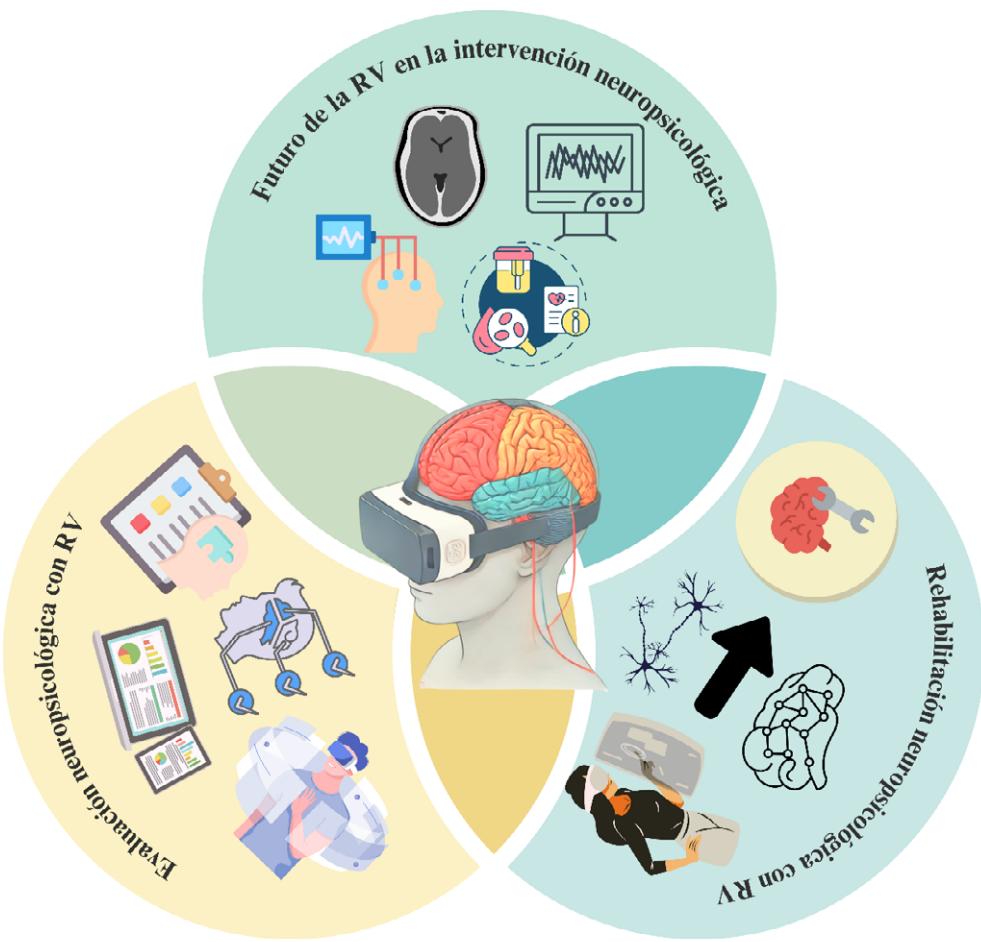
Además, ha demostrado ser una plataforma efectiva en la rehabilitación emocional en distintos contextos clínicos. Los programas implementados con RV han encontrado una reducción significativa de la ansiedad, los síntomas depresivos (Ioannou *et al.*, 2020) y la apatía, así como una disminución del estrés (Voinescu *et al.*, 2021). Sin embargo, además de estos beneficios, se ha recomendado combinar la RV con el ejercicio físico, ya que esta combinación puede potenciar la salud emocional, social y psicológica de los pacientes.

En el ámbito de la rehabilitación emocional, se ha observado una mejora en la iniciativa social y la comunicación en pacientes con daño cerebral (De Luca *et al.*, 2022). Este estudio destacó que la RV no solo reduce los síntomas emocionales negativos, sino que también fomenta la interacción social en los pacientes. En el caso de niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA), la RV ha mostrado resultados prometedores, mejorando la expresión y reconocimiento emocional, la regulación de emociones y la interacción social, lo que facilita una mejor adaptación social (Yuan & Ip, 2018).

Por su parte, Rizzo *et al.* (2020) destaca que la RV, al proporcionar entornos sensorialmente enriquecidos, puede estimular respuestas emocionales positivas en personas con deterioro cognitivo, mejorando su bienestar durante los tratamientos. Además, la RV ha demostrado ser una herramienta analgésica efectiva, reduciendo el dolor a través de la distracción atencional (Hoffman *et al.*, 2020; Ioannou *et al.*, 2020). Este enfoque no solo alivia el dolor físico, sino que también contribuye a mejorar el estado emocional de los pacientes, lo que refuerza su adherencia a los tratamientos de rehabilitación.

También, el entrenamiento en RV aprovecha los efectos positivos de la estimulación ambiental que activa los procesos neuronales de recuperación, como lo son la neuroplasticidad y neurogénesis en el hipocampo (Berdugo-Vega *et al.*, 2020; Prochnow *et al.*, 2013; Wen *et al.*, 2018) y así ayudar a reparar el daño en los circuitos cerebrales (Subramanian & Prasanna, 2018; Yang *et al.*, 2017). Por esto mismo, el

**Figura 2. Principales aplicaciones de la Realidad Virtual (RV) en la neuropsicología**



Nota. Se destacan tres áreas clave: (1) Evaluación neuropsicológica con RV, que permite medir funciones cognitivas mediante entornos simulados con mayor validez ecológica; (2) Rehabilitación neuropsicológica con RV, utilizada para mejorar funciones cognitivas, motoras y emocionales a través de experiencias inmersivas y controladas; y (3) Futuro de la RV en la intervención neuropsicológica, donde se prevé su integración con biomarcadores, inteligencia artificial y neuroimagen para optimizar diagnósticos y tratamientos. Fuente: Elaboración propia.

uso de RV para la rehabilitación cognitiva en patologías psiquiátricas (Jahn *et al.*, 2021) y neurodegenerativas (Cherniack, 2011).

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La RV ha demostrado ser una herramienta útil y complementaria para la evaluación y rehabilitación neuropsicológica. Sus principales ventajas incluyen la posibilidad de simular entornos reales, adaptar las tareas al desempeño del paciente y aumentar la motivación y adherencia al tratamiento. La evidencia actual respalda su efectividad para mejorar funciones cognitivas, motoras emocionales en diferentes poblaciones clínicas. Además, su integración con inteligencia artificial, neuroimagen y robótica amplía su potencial terapéutico. Sin embargo, su aplicación clínica aún enfrenta desafíos: falta de protocolos estandarizados, costos elevados, necesidad de formación profesional y consideraciones éticas y de seguridad. La mayoría de los estudios se han realizado en etapas tardías de recuperación, por lo que se requieren investigaciones que evalúen su impacto en fases más tempranas. La RV no reemplaza a las intervenciones tradicionales, pero las potencia. Su implementación adecuada puede mejorar la calidad de vida de los pacientes, siempre que se integre en planes personalizados, con criterios científicos claros y bajo supervisión profesional especializada.

El uso de la realidad virtual en neuropsicología seguirá creciendo con la integración de tecnologías como inteligencia artificial, neuroimagen y robótica. Para consolidar su aplicación clínica, es necesario desarrollar protocolos estandarizados, garantizar la formación de profesionales y facilitar el acceso a equipos asequibles. Se recomienda enfocar futuras investigaciones en evaluar la eficacia de la RV en etapas tempranas de la rehabilitación, en poblaciones diversas y en contextos reales. Además, se debe priorizar la seguridad, la privacidad de los datos y la adaptabilidad cultural de las intervenciones. La RV tiene el potencial de transformar la práctica neuropsicológica al ofrecer tratamientos más personalizados, accesibles y basados en evidencia.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfieri, F. M., da Silva Dias, C., de Oliveira, N. C., & Battistella, L. R. (2022). Gamification in Musculoskeletal Rehabilitation. In *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine* (Vol. 15, Issue 6, pp. 629–636). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12178-022-09797-w>
- Aramaki, A. L., Sampaio, R. F., Reis, A. C. S., Cavalcanti, A., & E Dutra, F. C. M. S. (2019). Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review. In *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* (Vol. 77, Issue 4, pp. 268–278). Associação Arquivos de Neuro-Psiquiatria. <https://doi.org/10.1590/0004-282x20190025>
- Arcuri, F., Porcaro, C., Ciancarelli, I., Tonin, P., & Cerasa, A. (2021). Electrophysiological correlates of virtual-reality applications in the rehabilitation setting: new perspectives for stroke patients. *Electronics*, 10(7), 836. <https://doi.org/10.3390/electronics10070836>
- Ardila, A. (1995). Directions of research in cross-cultural neuropsychology. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17(1), 143–150.
- Ardila, A. (2007). The impact of culture on neuropsychological test performance. *International Handbook of Cross-Cultural Neuropsychology*, 23, 44.
- Ardila, A., & Rosselli, M. (2007). *Neuropsicología clínica*. Editorial El Manual Moderno.
- Asadzadeh, A., Samad-Soltani, T., Salahzadeh, Z., & Rezaei-Hachesu, P. (2021). Effectiveness of virtual reality-based exercise therapy in rehabilitation: A scoping review. In *Informatics in Medicine Unlocked* (Vol. 24). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2021.100562>
- Bell, I. H., Nicholas, J., Alvarez-Jimenez, M., Thompson, A., & Valmaggia, L. (2020). Virtual reality as a clinical tool in mental health research and practice. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 22(2), 169–177. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2020.22.2/lvalmaggia>

- Bell, I. H., Pot-Kolder, R., Rizzo, A., Rus-Calafell, M., Cardi, V., Cella, M., Ward, T., Riches, S., Reinoso, M., Thompson, A., Alvarez-Jimenez, M., & Valmaggia, L. (2024). Advances in the use of virtual reality to treat mental health conditions. In *Nature Reviews Psychology* (Vol. 3, Issue 8, pp. 552–567). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s44159-024-00334-9>
- Berdugo-Vega, G., Arias-Gil, G., López-Fernández, A., Artegiani, B., Wasielewska, J. M., Lee, C. C., Lippert, M. T., Kempermann, G., Takagaki, K., & Calegari, F. (2020). Increasing neurogenesis refines hippocampal activity rejuvenating navigational learning strategies and contextual memory throughout life. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14026-z>
- Bisconti, S., Spezialetti, M., Placidi, G., & Quaresima, V. (2012). Functional near-infrared frontal cortex imaging for virtual reality neuro-rehabilitation assessment. In *Computational Modelling of Objects Represented in Images III* (1st Editio, pp. 187–192). CRC Press.
- Brooks, B. M., & Rose, F. D. (2003). The use of virtual reality in memory rehabilitation: Current findings and future directions. *NeuroRehabilitation*, 18(2), 147–157. <https://doi.org/10.3233/NRE-2003-18207>
- Cameirão, M. S., Bermúdez Badia, S., Duarte Oller, E., & FMJ Verschure, P. (2010). Neurorehabilitation using the virtual reality based Rehabilitation Gaming System: methodology, design, psychometrics, usability and validation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. <http://www.jneuroengrehab.com/content/7/1/48>
- Campbell, Z., Zakzanis, K. K., Jovanovski, D., Joordens, S., Mraz, R., & Graham, S. J. (2009). Utilizing virtual reality to improve the ecological validity of clinical neuropsychology: an fMRI case study elucidating the neural basis of planning by comparing the Tower of London with a three-dimensional navigation task. *Applied Neuropsychology*, 16(4), 295–306. <https://doi.org/10.1080/09084280903297891>
- Cano-de-la-Cuerda, R., Blázquez-Fernández, A., Marcos-Antón, S., Sánchez-Herrera-Baeza, P., Fernández-González, P., Collado-Vázquez, S., Jiménez-Antona, C., & Laguarta-Val, S. (2024). Economic Cost of Rehabilitation with Robotic and Virtual Reality Systems in People with Neurological Disorders: A Systematic Review. In *Journal of*

- Clinical Medicine* (Vol. 13, Issue 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jcm13061531>
- Cherniack, E. P. (2011). Not just fun and games: Applications of virtual reality in the identification and rehabilitation of cognitive disorders of the elderly. In *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* (Vol. 6, Issue 4, pp. 283–289). <https://doi.org/10.3109/17483107.2010.542570>
- Colombo, D., Díaz García, A., Fernandez Álvarez, J., & Botella, C. (2021). Virtual reality for the enhancement of emotion regulation. *Clinical Psychology & Psychotherapy*, 28(3), 519–537. <https://doi.org/10.1002/cpp.2618>
- Comani, S., Velluto, L., Schinaia, L., Cerroni, G., Serio, A., Buzzelli, S., Sorbi, S., & Guarnieri, B. (2015). Monitoring Neuro-Motor Recovery From Stroke With High-Resolution EEG, Robotics and Virtual Reality: A Proof of Concept. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 23(6), 1106–1116. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2015.2425474>
- Corbetta, D., Imeri, F., & Gatti, R. (2015). Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: A systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 61(3), 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.05.017>
- da Silva Ribeiro, N. M., Ferraz, D. D., Pedreira, É., Pinheiro, I., da Silva Pinto, A. C., Neto, M. G., dos Santos, L. R. A., Pozzato, M. G. G., Pinho, R. S., & Masruha, M. R. (2015). Virtual rehabilitation via Nintendo Wii® and conventional physical therapy effectively treat post-stroke hemiparetic patients. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 22(4), 299–305. <https://doi.org/10.1179/1074935714Z.00000000017>
- Dams-O'Connor, K., & Gordon, W. A. (2010). Role and impact of cognitive rehabilitation. In *Psychiatric Clinics of North America* (Vol. 33, Issue 4, pp. 893–904). <https://doi.org/10.1016/j.psc.2010.08.002>
- De Luca, R., Marra, A., Pollicino, P., Buda, M., Mucari, M., Bonanno, M., Torregrossa, W., Caminiti, A., Rifici, C., Calabró, R. S., & Saranathan., M. (2022). Advances in neuroRehabilitation of TREM2-related dementia: A case report on a novel multimodal approach using virtual reality. *Medicine (United States)*, 101(21), E29470. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000029470>

- de Mattos Pimenta Parente, M. A., & Lecours, A. R. (1988). The influence of cultural factors in neuropsychology and neurolinguistics. *International Social Science Journal*, 40(115).
- Débora, A., Leiva, E. Á., Villa, J. M., Tutor, E., & García Molina, A. (2023). *La efectividad de la realidad virtual en la rehabilitación de personas adultas con alteración de las funciones ejecutivas tras daño cerebral adquirido* [Tesis de maestría]. Hospital de neurorehabilitación.
- Delgado Reyes, A. C., & Sánchez López, J. V. (2023). Evaluación neuropsicológica y realidad virtual: una revisión sistemática. *Informes Psicológicos*, 23(1), 108–124. <https://doi.org/10.18566/infpsic.v23n1a07>
- Denmark, T., Fish, J., Jansari, A., Tailor, J., Ashkan, K., & Morris, R. (2019). Using virtual reality to investigate multitasking ability in individuals with frontal lobe lesions. *Neuropsychological Rehabilitation*, 29(5), 767–788.
- Di Tella, S., Isernia, S., Pagliari, C., Jonsdottir, J., Castiglioni, C., Gindri, P., Gramigna, C., Canobbio, S., Salza, M., Molteni, F., & Baglio, F. (2021). A Multidimensional Virtual Reality Neurorehabilitation Approach to Improve Functional Memory: Who Is the Ideal Candidate? *Frontiers in Neurology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.618330>
- Diago Alfonso III, Z., Leonor Galarza Chicaiza, G. I., & José Terán, M. I. (2024). *El papel de la inteligencia artificial en la promoción de la salud mental y el bienestar: una revisión sistemática* *The role of artificial intelligence in promoting mental health and well-being: a systematic review* *O papel da inteligência artificial na promoção da saúde mental e do bem-estar: uma revisão sistemática*. 101, 2550–2682. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i11.8598>
- Díaz-Orueta, U., Alvarado, S., Gutiérrez, D., Climent, G., & Banterla, F. (2012). “Isla Calma”, a Novel Virtual Reality Environment for Pain and Anxiety Distraction: Report on Usability, Acceptability, and Subjective Experience. *Games for Health Journal*, 1(5), 353–361. <https://doi.org/10.1089/g4h.2012.0037>
- Domínguez-Téllez, P., Moral-Muñoz, J. A., Casado-Fernández, E., Salazar, A., & Lucena-Antón, D. (2019). Effects of virtual reality on balance and gait in stroke: A systematic review and meta-analysis. In *Revista de Neurología* (Vol. 69, Issue 6, pp. 223–234). Revista de Neurología. <https://doi.org/10.33588/rn.6906.2019063>

- Dorenkamp, M. A., & Vik, P. (2018). Neuropsychological assessment anxiety: A systematic review. *Practice Innovations*, 3(3), 192–211. <https://doi.org/10.1037/pri0000073>
- Fasilis, T., Patrikelis, P., Messinis, L., Kimiskidis, V., Korfias, S., Nasios, G., Alexoudi, A., Verentzioti, A., Dardiotis, E., & Gatzonis, S. (2023). *Cognitive Neurorehabilitation in Epilepsy Patients via Virtual Reality Environments: Systematic Review* (pp. 135–144). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-31982-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31982-2_14)
- Feigin, V. L., Vos, T., Nichols, E., Owolabi, M. O., Carroll, W. M., Dichgans, M., Deuschl, G., Parmar, P., Brainin, M., & Murray, C. (2020). The global burden of neurological disorders: translating evidence into policy. In *The Lancet Neurology* (Vol. 19, Issue 3, pp. 255–265). Lancet Publishing Group. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(19\)30411-9](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(19)30411-9)
- Feitosa, J. A., Fernandes, C. A., Casseb, R. F., & Castellano, G. (2022). Effects of virtual reality-based motor rehabilitation: a systematic review of fMRI studies. *Journal of Neural Engineering*, 19(1), 11002.
- Georgiev, D. D., Georgieva, I., Gong, Z., Nanjappan, V., & Georgiev, G. V. (2021). Virtual reality for neurorehabilitation and cognitive enhancement. *Brain Sciences*, 11(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020221>
- Hernández, M. S. (2023). Beliefs and attitudes of canarians towards the chilean linguistic variety. *Lenguas Modernas*, 62, 183–209. <https://doi.org/10.13039/501100011033>
- Hoffman, H. G., Boe, D. A., Rombokas, E., Khadra, C., LeMay, S., Meyer, W. J., Patterson, S., Ballesteros, A., & Pitt, S. W. (2020). Virtual reality hand therapy: A new tool for nonopioid analgesia for acute procedural pain, hand rehabilitation, and VR embodiment therapy for phantom limb pain. *Journal of Hand Therapy*, 33(2), 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2020.04.001>
- Ioannou, A., Papastavrou, E., Avraamides, M. N., & Charalambous, A. (2020). Virtual Reality and Symptoms Management of Anxiety, Depression, Fatigue, and Pain: A Systematic Review. In *SAGE Open Nursing* (Vol. 6). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/2377960820936163>
- Jahn, F. S., Skovbye, M., Obenhausen, K., Jespersen, A. E., & Miskowiak, K. W. (2021). Cognitive training with fully immersive virtual reality in patients with neurological and psychiatric disorders: A systematic re-

- view of randomized controlled trials. *Psychiatry Research*, 300, 113928. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2021.113928>
- Kim, W. S., Cho, S., Ku, J., Kim, Y., Lee, K., Hwang, H. J., & Paik, N. J. (2020). Clinical application of virtual reality for upper limb motor rehabilitation in stroke: Review of technologies and clinical evidence. In *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 9, Issue 10, pp. 1–20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcm9103369>
- Kourtesis, P., & MacPherson, S. E. (2021). How immersive virtual reality methods may meet the criteria of the National Academy of Neuropsychology and American Academy of Clinical Neuropsychology: A software review of the Virtual Reality Everyday Assessment Lab (VR-EAL). *Computers in Human Behavior Reports*, 4(May), 100151. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100151>
- Krohn, S., Tromp, J., Quinque, E. M., Belger, J., Klotzsche, F., Rekers, S., Chojecki, P., De Mooij, J., Akbal, M., McCall, C., Villringer, A., Gaebler, M., Finke, C., & Thöne-Otto, A. (2020). Multidimensional Evaluation of Virtual Reality Paradigms in Clinical Neuropsychology: Application of the VR-Check Framework. *Journal of Medical Internet Research*, 22(4). <https://doi.org/10.2196/16724>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. In *Cochrane Database of Systematic Reviews* (Vol. 2017, Issue 11). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Leininger, S., & Skeel, R. (2012). Cortisol and Self-report Measures of Anxiety as Predictors of Neuropsychological Performance. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 27(3), 318–328. <https://doi.org/10.1093/arclin/acso35>
- Macey, A. L., Macey, J., & Hamari, J. (2022). Virtual reality in emotion regulation: A scoping review. *CEUR Workshop Proceedings*, 3147, 64–74.
- Massetti, T., da Silva, T. D., Crocetta, T. B., Guarnieri, R., de Freitas, B. L., Bianchi Lopes, P., Watson, S., Tonks, J., & de Mello Monteiro, C. B. (2018). The Clinical Utility of Virtual Reality in Neurorehabilitation: A Systematic Review. *Journal of Central Nervous System Disease*, 10, 117957351881354. <https://doi.org/10.1177/1179573518813541>

- Moon, H. J., & Han, S. (2022). Perspective: Present and Future of Virtual Reality for Neurological Disorders. *Brain Sciences*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/brainsci12121692>
- Moreno Verdú, M., Ferreira Sánchez, M. del R., Cano de la Cuerda, R., & Jiménez Antona, C. (2019). Eficacia de la realidad virtual sobre el equilibrio y la marcha en esclerosis múltiple. Revisión sistemática de ensayos controlados aleatorizados. *Revista de Neurología*, 68(09), 357. <https://doi.org/10.33588/rn.6809.2018350>
- Negut, A., Matu, S. A., Sava, F. A., & David, D. (2016). Virtual reality measures in neuropsychological assessment: A meta-analytic review. In *Clinical Neuropsychologist* (Vol. 30, Issue 2, pp. 165–184). Routledge. <https://doi.org/10.1080/13854046.2016.1144793>
- Nieto-Escamez, F., Cortés-Pérez, I., Obrero-Gaitán, E., & Fusco, A. (2023). Virtual Reality Applications in Neurorehabilitation: Current Panorama and Challenges. *Brain Sciences*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/brainsci13050819>
- Olson, K., & Jacobson, K. (2015). Cross-cultural considerations in pediatric neuropsychology: A review and call to attention. *Applied Neuropsychology: Child*, 4(3), 166–177.
- Parsons, T. D., Riva, G., Parsons, S., Mantovani, F., Newbutt, N., Lin, L., Venturini, E., & Hall, T. (2017). Virtual Reality in Pediatric Psychology. *Pediatrics*, 140(Supplement\_2), S86–S91. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-1758I>
- Perez-Marcos, D. (2018). Virtual reality experiences, embodiment, videogames and their dimensions in neurorehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 15(1), 113. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0461-0>
- Pieri, L., Tosi, G., & Romano, D. (2023). Virtual reality technology in neuropsychological testing: A systematic review. *Journal of Neuropsychology*, 17(2), 382–399. <https://doi.org/10.1111/jnp.12304>
- Prochnow, D., Bermúdez i Badia, S., Schmidt, J., Duff, A., Brunheim, S., Kleiser, R., Seitz, R. J., & Verschure, P. F. M. J. (2013). A functional magnetic resonance imaging study of visuomotor processing in a virtual reality based paradigm: Rehabilitation Gaming System. *European Journal of Neuroscience*, 37(9), 1441–1447. <https://doi.org/10.1111/ejn.12157>

- Quintana, D., Rodríguez, A., & Boada, I. (2023). Limitations and solutions of low cost virtual reality mirror therapy for post-stroke patients. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40546-2>
- Reyes, A. C. D., & López, J. V. S. (2023). Evaluación neuropsicológica y realidad virtual: una revisión sistemática. *Informes Psicológicos*, 23(1), 108–124.
- Riva, G., Mancuso, V., Cavedoni, S., & Stramba-Badiale, C. (2020). Virtual reality in neurorehabilitation: a review of its effects on multiple cognitive domains. In *Expert Review of Medical Devices* (Vol. 17, Issue 10, pp. 1035–1061). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/17434440.2020.1825939>
- Rizzo, A., Gambino, G., Sardo, P., & Rizzo, V. (2020). Being in the Past and Perform the Future in a Virtual World: VR Applications to Assess and Enhance Episodic and Prospective Memory in Normal and Pathological Aging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14(August), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00297>
- Saposnik, G., Cohen, L. G., Mamdani, M., Pooyania, S., Ploughman, M., Cheung, D., Shaw, J., Hall, J., Nord, P., Dukelow, S., Nilanont, Y., De los Rios, F., Olmos, L., Levin, M., Teasell, R., Cohen, A., Thorpe, K., Laupacis, A., & Bayley, M. (2016). Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial. *The Lancet Neurology*, 15(10), 1019–1027. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(16\)30121-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(16)30121-1)
- Schultheis, M. T., Himmelstein, J., & Rizzo, A. A. (2002). Virtual reality and neuropsychology: upgrading the current tools. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(5), 378–394.
- Selzer, M., Clarke, S., Cohen, L., Duncan, P., & Gage, F. (2006). *Textbook of Neural Repair and Rehabilitation* (Vol. 2). Cambridge University Press.
- Shin, J.-H., Ryu, H., & Jang, S. H. (2014). A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke: a usability test and two clinical experiments. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1), 32. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-32>
- Skip, A. „, Rizzo, „, & Kim, G. J. (2005). A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality Rehabilitation and Therapy. In *South Korea Presence* (Vol. 14, Issue 2).

- Subramanian, S. K., & Prasanna, S. S. (2018). Virtual Reality and Noninvasive Brain Stimulation in Stroke: How Effective Is Their Combination for Upper Limb Motor Improvement?—A Meta-Analysis. In *PM and R* (Vol. 10, Issue 11, pp. 1261–1270). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.10.001>
- Tacchino, A., Podda, J., Bergamaschi, V., Pedullà, L., & Brichetto, G. (2023). Cognitive rehabilitation in multiple sclerosis: Three digital ingredients to address current and future priorities. In *Frontiers in Human Neuroscience* (Vol. 17). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1130231>
- Thielbar, K. O., Lord, T. J., Fischer, H. C., Lazzaro, E. C., Barth, K. C., Stoykov, M. E., Triandafilou, K. M., & Kamper, D. G. (2014). Training finger individuation with a mechatronic-virtual reality system leads to improved fine motor control post-stroke. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1), 171. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-171>
- Tieri, G., Morone, G., Paolucci, S., & Iosa, M. (2018). Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. In *Expert Review of Medical Devices* (Vol. 15, Issue 2, pp. 107–117). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1425613>
- Tong, Z. (2016). Virtual Reality in Neurorehabilitation. *International Journal of Neurorehabilitation*, 03(01). <https://doi.org/10.4172/2376-0281.1000e117>
- Vance, D. E., Dodson, J. E., Watkins, J., Kennedy, B. H., & Keltner, N. L. (2013). Neurological and psychiatric diseases and their unique cognitive profiles: Implications for nursing practice and research. *Journal of Neuroscience Nursing*, 45(2), 77–87. <https://doi.org/10.1097/JNN.0b013e3182829038>
- Vázquez Martínez, V. H., Martínez Bautista, H., Loera Morales, J., & Ruiz Carrizales, D. A. (2023). Risk factors for disability in patients with stroke in northeastern Mexico: A retrospective cross-sectional study. *Atencion Primaria*, 55(12). <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2023.102779>
- Voinescu, A., Sui, J., & Stanton Fraser, D. (2021). Virtual Reality in Neurorehabilitation: An Umbrella Review of Meta-Analyses. *Journal of Clinical Medicine*, 10(7), 1478. <https://doi.org/10.3390/jcm10071478>
- Wen, D., Lan, X., Zhou, Y., Li, G., Hsu, S. H., & Jung, T. P. (2018). The study of evaluation and rehabilitation of patients with different cognitive impairment phases based on virtual reality and EEG. In *Frontiers in*

- Aging Neuroscience* (Vol. 10, Issue APR). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00088>
- Yang, Y. J. D., Allen, T., Abdullahi, S. M., Pelphrey, K. A., Volkmar, F. R., & Chapman, S. B. (2017). Brain responses to biological motion predict treatment outcome in young adults with autism receiving Virtual Reality Social Cognition Training: Preliminary findings. *Behaviour Research and Therapy*, 93, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.03.014>
- Yuan, S. N. V., & Ip, H. H. S. (2018). Using virtual reality to train emotional and social skills in children with autism spectrum disorder. *London Journal of Primary Care*, 10(4), 110–112. <https://doi.org/10.1080/17571472.2018.1483000>

# TECNOLOGÍA Y APLICACIONES DE LOS MODELOS DE PROBABILIDAD A LA SALUD

# Más allá del azar: la importancia de la probabilidad en nuestra vida y la salud

*Osval Antonio Montesinos López<sup>1</sup>*

*Moisés Chavira Flores<sup>2</sup>*

*Abelardo Montesinos López<sup>3</sup>*

*Raymundo Buenrostro Mariscal<sup>4</sup>*

*Verónica Miriam Guzmán Sandoval<sup>5</sup>*

## INTRODUCCIÓN

Si el individuo escucha la palabra *probabilidad* lo más seguro es que lo primero que se le venga a la cabeza sean las apuestas y los juegos de azar, y quizás solo eso. No obstante, de manera a veces casi oculta, la probabilidad está presente en más aspectos de nuestra vida diaria de los que el lector se podría imaginar, y tiene aplicaciones en las situaciones más inverosímiles que a uno se le pudieran ocurrir. Prácticamente todas las personas que se dedican a la investigación científica (sea cual sea su área de interés) hacen uso de la Probabilidad de algún modo u otro; para el mundo de las finanzas es una herramienta imprescindible; y ni qué decir de sus aplicaciones en la innovación tecnológica, o incluso en las ciencias de la salud, y ni qué decir del mundo de los deportes.

<sup>1</sup> Profesor e Investigador de la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima, Colima, Colima, 28040, México. <https://orcid.org/0000-0002-3973-6547>

<sup>2</sup> Profesor e Investigador del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México, 04510.

<sup>3</sup> Profesor e Investigador del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI) de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, 44430. <https://orcid.org/0000-0002-0525-9973>

<sup>4</sup> Profesor e Investigador de la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima, Colima, Colima, 28040, México. <https://orcid.org/0000-0003-1449-1982>

<sup>5</sup> Profesora e Investigadora de la Facultad de Psicología de la Universidad de Colima, Colima, Colima, 28040, México, 28040. <https://orcid.org/0000-0003-1214-6843>

Suponiendo que nuestro lector fuera un hipotético médico o profesional de la salud (por mencionar algunos ejemplos de personas a las que en primera instancia no les tendría que interesar la Probabilidad), con toda seguridad se preguntaría ... “¿por qué debería yo saber Probabilidad?, después de todo nunca he usado los logaritmos que aprendí”. Pues este capítulo de libro busca responder a la pregunta de estos y otros posibles lectores. No se pretende convencer al lector de que el día de mañana se inscriba en una licenciatura en Matemáticas, sino más bien motivar su interés hacia los conceptos más básicos de la Probabilidad y entender cómo estos le pueden ser útiles en su vida cotidiana y aplicados a diversos contextos, pero sobre todo al área de la salud. Ni siquiera se pretende que, si nuestro lector es alguien que tiene conocimientos matemáticos; pero cuya área de interés no es la probabilidad, se interese por conocimientos avanzados de esta área. Para conseguir lo pretendido, a lo largo del texto se presentan varios argumentos y ejemplos que buscan orientar el interés del lector hacia el estudio de la probabilidad. Usualmente, cuando se lee algún artículo de divulgación acerca de Mecánica Cuántica, a uno se le presenta la famosa ecuación de Schrödinger sin que se le exija a uno entenderla, o al leer divulgación sobre la Teoría de la Relatividad, se nos muestra la muy famosa ecuación  $E=mc^2$  sin que tampoco se nos pida entenderla profundamente al momento. Cualquiera que haya leído acerca de estos temas, sabrá que no es necesaria abandonar la lectura ante la presencia de notación matemática si se usan en ejemplos de la vida diaria.

Como dato interesante, el libro de “Introducción a la Lógica” escrito por Copi y Cohen (2007) contiene todo lo que se espera que contenga un libro de Lógica: argumentos válidos e inválidos; deducción e inducción; falacias lógicas; etc. Sin embargo, a más de una persona podría causarle extrañeza que los autores dediquen un capítulo entero de su libro a dar una introducción al estudio de la probabilidad, la cual a primera vista parece no tener nada que ver con la Lógica. De hecho, tal relación entre estas dos disciplinas sí existe, por lo que el objetivo del capítulo es dar a conocer los usos y aplicaciones de la probabilidad a eventos cotidianos y del área de la salud.

## ¿QUÉ ES LA PROBABILIDAD?

Antes de tratar de motivar al lector a interesarse en los conceptos básicos de la Probabilidad, será conveniente hablar acerca de qué es. Popularmente, cuando se oye hablar de la probabilidad, suele venir a la mente algo relacionado con los juegos de cartas, los volados con monedas o los juegos de apuestas. Y así es, la probabilidad tiene que ver un poco con eso, pero es mucho más que eso. Se puede entender a la probabilidad en dos sentidos: el primero hace referencia a la probabilidad como una rama de las matemáticas que estudia de manera analítica la aleatoriedad; el segundo hace referencia a una cantidad que busca medir o cuantificar la incertidumbre de algún fenómeno de interés. Como ya hicimos en la sección anterior a lo largo de este artículo escribiremos *Probabilidad* para referirnos a la primera situación, y *probabilidad* para referirnos a la segunda.

Quizás el lector está acostumbrado a que cuando le hablan de probabilidades, le hablan en términos de porcentajes, por ejemplo, en la sección de pronóstico del tiempo en los noticieros, se suelen escuchar cosas como “para esta tarde tenemos un cielo nublado con 70 por ciento de probabilidad de lluvia”. A más de una persona que haya estudiado Probabilidad no le agrada que se hable de probabilidades en términos de porcentajes y diría: “no se dice 70 por ciento de probabilidades, se dice con probabilidad 0.7”. Una de las razones por las que los probabilistas (matemáticos dedicados al estudio formal de la Probabilidad) no usan porcentajes cuando manejan probabilidades es porque es bastante incómodo a la hora de hacer cálculos, y seguro que más de una persona lo considera poco elegante. De tal modo, tenemos que una probabilidad de 1 (o 100 por ciento) es la mayor probabilidad posible y se puede interpretar como que un evento sucede con certeza; y 0 (o 0 por ciento) es la menor probabilidad posible que suele indicar que con certeza un evento no sucede. En otras palabras, si  $E$  es algún evento que nos interesa, entonces la probabilidad de que ocurra necesariamente está comprendida entre los valores 0 y 1. Puede ser que nuestro lector ya tenga alguna idea intuitiva acerca de que es la Probabilidad, por ejemplo, si preguntamos ¿cuál es la probabilidad de que un dado al ser lanzado caiga en 6? o ¿cuál es la probabilidad de que el mismo dado caiga en número par? seguramente el lector respondería  $1/6$  y  $1/2$  respectivamente. La idea básica que subyace detrás de esta noción intuitiva es la siguiente. Si denotamos por  $E$  algún evento de interés, por

ejemplo,  $E = \{\text{El dado cae en número par}\}$  y por  $P(E)$  la probabilidad de que ocurra  $E$ , entonces

$$P(E) = \frac{\text{Número de resultados en los que ocurre } E}{\text{Número de todos los resultados posibles}} \quad (1)$$

Que para el ejemplo de  $E = \{\text{El dado cae en número par}\}$  se tiene que los casos en los que ocurre  $E$  (ecuación 1) son la cara 2, la cara 4 y la cara 6, por lo que el numerador (ecuación 1) del cociente es 3. El denominador es claramente 6, ya que hay seis caras posibles en las que el dado puede resultar al ser lanzado. Al conjunto de todos los resultados posibles suele llamarse *espacio muestral* y denominarse por la letra griega  $\Omega$  o por  $S$ , y en este caso es  $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ . Si suponemos que el dado está completamente balanceado, es decir, la densidad de su masa es uniforme, esta forma de construir probabilidades es válida, y aunque no es la única, es la que subyace detrás de varios de los ejemplos que mostramos para motivar al lector a lo largo del artículo. Obsérvese que la probabilidad del espacio muestral es  $P(\Omega) = 1$ , ya que  $\Omega$  contiene todos los resultados posibles y necesariamente debe ocurrir alguno de ellos.

### UN EJEMPLO SIMPLE DE CÓMO DECIDIR MEJOR CON LA PROBABILIDAD

Supongamos que algún lector imaginario, que se dedica al área de la salud, se cambiará de domicilio, y aún no se ha decidido si ir a la ciudad  $A$  o a la ciudad  $B$ . Ahora imaginemos que nuestro lector encuentra en un periódico una nota (cuyo autor deliberadamente pretendió despertar el alarmismo en los lectores valiéndose de información real pero incompleta) que dice que en la ciudad  $A$  la probabilidad de ser víctima de asalto armado se triplicó en el último mes, mientras que en la ciudad  $B$  la probabilidad análoga aumentó solo un 10%, es decir, se multiplicó por 1.1. Pero supongamos que el autor de la nota omitió que en la ciudad  $A$  la probabilidad de sufrir un asalto armado pasó de ser de 0.001 a 0.003 mientras que la ciudad  $A$  la probabilidad análoga aumentó de 0.01 a 0.011. Si nuestro imaginario mordió el anzuelo, correrá inmediatamente a rentar un cuarto en

la ciudad *B*. Está claro que un poco de las nociones básicas de Probabilidad puede ayudar a evitar pésimas decisiones como la de la persona del caso, que puede ser engañoso incluso para más de uno que ya haya estudiado algo de Probabilidad. El siguiente ejemplo es una muestra de cómo incluso las personas “inteligentes” pueden dejarse engañar por lo que su intuición les sugiere en primera instancia.

### ¿CÓMO DUPLICAR LA PROBABILIDAD DE GANAR UN AUTO EN UN SHOW DE TV?

El célebre psicólogo Kahneman (2012) ganador del Premio Nobel de Economía por sus investigaciones acerca de los sesgos de la mente humana y sus implicaciones en la toma de decisiones, menciona en su famoso libro *Pensar rápido, pensar despacio* que los seres humanos somos “buenos gramáticos intuitivos”, ya que podemos llegar a hacer un uso bastante decente del lenguaje sin necesidad de tomar lecciones de gramática. De tal modo, plantea la pregunta de si esto mismo es válido para los asuntos relacionados con cuestiones probabilísticas, es decir, “¿somos los seres humanos buenos estadísticos intuitivos?”... Kahneman (2012) menciona tajantemente que NO, incluso los expertos en probabilidad y estadística tienen algunas dificultades con ello. El siguiente problema conocido como la *Paradoja de Monty Hall* o *Problema de Monty Hall*, es un ejemplo de cómo los seres humanos no somos buenos estadísticos intuitivos, y por supuesto, tampoco buenos probabilistas intuitivos, y esperamos que ayude a despertar aún más el interés de nuestros lectores por el estudio de la probabilidad.

El problema consiste en lo siguiente, supongamos que en el show televisivo *Let's Make a Deal* (traducido al español como “Trato Hecho”) conducido por el presentador Monty Hall (Gill, 2010), se le muestran 3 puertas a un participante. Detrás de una de las puertas hay un automóvil de lujo y detrás de cada una las otras dos hay una cabra. Al participante se le pide que seleccione una puerta, y el presentador que sabe que hay detrás de cada puerta, le dice al participante que se podrá ir a casa con lo que haya detrás de la puerta que seleccione, ya sea un auto de lujo o una cabra. Una vez que el participante selecciona una puerta, el presentador, con afán de darle una pista a nuestro participante, abre otra de las dos

puertas y le muestra al participante que detrás de ella hay una cabra. Después de esto, el presentador le pregunta al participante si quiere cambiar de puerta o si desea sostener su elección inicial. La duda de nuestro participante es “¿tiene alguna ventaja notable cambiar de puerta?”. La respuesta corta e inmediata es sí. Definitivamente, el participante debería cambiar de puerta. Aunque al lector le pueda parecer inverosímil, esta respuesta provocó violentas discusiones entre académicos de prestigiosas universidades norteamericanas, y también la razón de que la columnista de la revista Parade magazine, Marilyn vos Savant recibiera una serie de insultos al presentar la solución del problema en la revista (Gill, 2010).

Actualmente el problema ha sido ampliamente estudiado y la respuesta es clara para quienes lo estudian, pero quién no estén vinculado al tema, seguramente procederán a razonar como sigue: se podría pensar, “si ya tomé una decisión inicialmente, da igual saber cuál es una de las puertas que no contiene el automóvil, y la única información que me aporta la pista del presentador es que mi elección podría ser correcta”, lo cual desde luego no es cierto. También podría pensarse que ahora solo hay que decidir entre dos puertas y la probabilidad de seleccionar la que tiene el auto es de  $1/2$  o cual es algo mayor que  $1/3$  y por tanto podría ser buena idea cambiar de puerta. Este último razonamiento es incorrecto, ya que al participante se le ha preguntado si quiere cambiar su elección de puerta, no si desea elegir al azar entre su puerta elegida y la otra que no escogió. Lo cierto es que, al cambiar de puerta, el participante duplica su probabilidad de llevarse el automóvil a casa. Esta afirmación, que probablemente ha dejado aturdido al lector tiene una explicación que solo requiere conocimientos básicos de probabilidad y algo de estoicismo ante ideas anti intuitivas (Gill, 2010). Para ver de forma clara la solución, es conveniente revisar todos los escenarios posibles de las elecciones de nuestro participante, los cuales se muestran en la tabla 1.

Puede observarse que, si el participante cambia su elección inicial de puerta, se lleva el auto a casa en 2 de los 3 escenarios posibles, mientras que si permanece con su elección inicial solo se lleva el auto en 1 de los 3 escenarios posibles. La probabilidad de ganar si permanece con la elección inicial es  $1/3$  y aumenta a  $2/3$  si se decide cambiar de puerta. Claramente, los conceptos básicos de la probabilidad pueden ser de mucha ayuda para nuestro participante.

**Tabla 1. Configuraciones posibles del auto y las dos cabras detrás de las puertas**

Escenarios posibles				
Puerta elegida	Puerta	Puerta	Cambia de puerta	No cambia
Auto	Cabra	Cabra	Gana cabra	<b>Gana auto</b>
Cabra	Auto	Cabra	<b>Gana auto</b>	Gana cabra
Cabra	Cabra	Auto	<b>Gana auto</b>	Gana cabra

Ahora esta paradoja puede ser aplicada al ámbito de salud, al momento de realizar un diagnóstico en una enfermedad compleja como la fibromialgia, en la que el médico especialista con su experiencia clínica valora síntomas y realiza diversas pruebas, pero el paciente suele compartir síntomas con otras enfermedades, por tanto, algunas pruebas realizadas dan falsos positivos a otros cuadros clínicos y el paciente pasa varios años en estudio y con diversos especialistas para llegar a un diagnóstico preciso de la enfermedad. Con el teorema podemos darnos cuenta que durante la fase diagnóstica, la información recabada es limitada, pero a medida que el paciente se realiza diversos exámenes con especialistas, la información se amplía y la visión del médico tratante cambia (intuición clínica), luego entonces, el tratamiento inicial es modificado con la nueva información para llegar a un tratamiento farmacológico y psicoterapéutico más eficiente. También este teorema podría aplicarse a otras enfermedades como el Parkinson rígido, el cual es complejo de diagnosticar debido a que se espera que el paciente con Parkinson tenga movimientos de extremidades modificando la impresión diagnóstica.

## **PROBABILIDAD CONDICIONAL, EL TEOREMA DE BAYES Y PROBABILIDAD TOTAL APLICADO A LA SALUD**

Uno de los conceptos más relevantes en el estudio de la probabilidad y que la hacen mucho más interesante y por supuesto también, mucho más divertida, es el de *probabilidad condicional*. En ecuación (1) de este artículo hicimos mención de una noción intuitiva de cómo construir la probabilidad  $P(E)$  de un evento  $E$ . Pero a veces nos interesa cuantificar la incertidumbre acerca de la ocurrencia de un evento cuando ya tenemos

cierta información disponible acerca de lo que ocurrirá en el futuro. Por ejemplo, a un meteorólogo podría interesarle la probabilidad de que llueva en un determinado día del año en una determinada ciudad, y suponiendo que todos los aparatos de medición de los que esta persona dispone le permiten medir con mucha precisión el nivel de humedad que habrá ese día en la ciudad de interés. Eso puede ayudar a medir con mayor exactitud cuales son las posibilidades de que llueva. En palabras que diría un probabilista, nos interesa la probabilidad de que llueva dado que el nivel de humedad tiene ciertas condiciones conocidas. Este ejemplo nos permite presentar una definición matemática de probabilidad condicional de tal modo que tenga sentido para el lector. Si tenemos un evento de interés  $E$  y sabemos que con certeza ocurre un evento  $A$ , la probabilidad condicional del evento  $E$  dado el evento  $A$  se define como

$$P(E|A) = \frac{P(E \cap A)}{P(A)} \quad (2)$$

Lo cual también se escribe

$$P(E|A) = \frac{P(EA)}{P(A)} \quad (3)$$

donde  $EA$  es el evento o conjunto de resultados posibles que están contenidos simultáneamente tanto en  $E$  como en  $A$ . A veces se suele leer a  $P(EA)$  como “la probabilidad de que ocurra tanto el evento  $E$  como el evento  $A$ ”. Por supuesto, esta fórmula solo tiene sentido si  $P(A) > 0$ , es decir, si el evento  $A$  es posible. Supongamos ahora que el evento  $E$  por sí mismo es posible, es decir,  $P(E) > 0$ . Recuérdese que, si dividimos cualquier cantidad diferente de 0 por sí misma, el resultado es 1, en este caso,  $P(E)/P(E) = 1$ , y también recuérdese que cualquier cantidad multiplicada por 1 es igual a sí misma. Entonces de la fórmula anterior (ecuación 3) podemos escribir

$$\frac{P(EA)}{P(A)} = \frac{P(EA)P(E)}{P(A)P(E)} = \frac{P(A|E)P(E)}{P(A)} \quad (4)$$

lo cual se puede resumir en la siguiente ecuación conocida como *teorema de Bayes*.

$$P(E|A) = P(A|E) \frac{P(E)}{P(A)} \quad (5)$$

que se puede reordenar en la ecuación equivalente

$$P(A|E) = P(E|A) \frac{P(A)}{P(E)} \quad (6)$$

Y por supuesto, para que todo esto tenga sentido (valga la insistencia) es necesario que  $P(A) > 0$  y  $P(E) > 0$ .

Otro resultado muy importante y también muy interesante es el del *teorema de la probabilidad total*. A continuación, presentamos una versión muy simplificada de este resultado, y quien tenga interés en conocer este resultado en formas más generales, está invitado a revisar algunos de los textos recomendados al final de este artículo. Sabemos que para un determinado experimento (aleatorio por supuesto), como lanzar un dado, podemos dividir el espacio muestral en dos grupos *disjuntos o mutuamente excluyentes*, es decir, que no tienen elementos en común, y cuya unión contenga todos los resultados posibles, de acuerdo con algún criterio arbitrario. A los dos conjuntos resultantes de dicha división, los denominaremos, *bipartición* del espacio muestral. Para el caso del lanzamiento de un dado, el conjunto de todos los resultados posibles es  $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , el cual podemos dividir en los grupos  $\text{Par} = \{2, 4, 6\}$  e  $\text{Impar} = \{1, 3, 5\}$ , los cuales son mutuamente excluyentes y al unirlos tenemos a todos los elementos de  $\Omega$ , por lo tanto, los conjuntos  $\text{Par}$  e  $\text{Impar}$  forman una bipartición de  $\Omega$ . En la literatura, dos conjuntos que forman una bipartición suelen denominarse como  $B$  y  $B_c$  (complemento de  $B$ ), y el hecho de que su unión sea igual a  $\Omega$ , se denota por  $B \cup B_c = \Omega$ , o bien,  $B + B_c = \Omega$ . Cabe mencionar que cuando tenemos dos conjuntos mutuamente excluyentes, por ejemplo,  $A$  y  $C$ , la probabilidad de su *unión*, es decir, el evento que contiene a los elementos que están en  $A$  o en  $C$  o en ambos, está dada por la

suma de las probabilidades individuales, a saber,  $P(A \cup C) = P(A) + P(C)$ , y en particular, tenemos que para  $B$  y  $B_c$ , la probabilidad de su unión es  $P(\Omega) = P(B \cup B_c) = P(B) + P(B_c)$ , pero como  $P(\Omega) = 1$ , tenemos que  $P(B) = 1 - P(B_c)$  y que  $P(B_c) = 1 - P(B)$ . Para un conjunto  $B$ , su complemento  $B_c$  contiene a todos los elementos de  $\Omega$  que no están contenidos en  $B$ . Insistimos en que debería notarse que la unión de cualquier conjunto con su complemento contiene todos los elementos de  $\Omega$  y por lo tanto cualquier conjunto y su complemento conforman una bipartición de  $\Omega$ .

Ahora, si  $E$  es un evento de interés y  $A, A^c$  son una bipartición de  $\Omega$ , tenemos que

$$P(E) = P(E|A)P(A) + P(E|A^c)P(A^c) \quad (7)$$

De acuerdo con esta ecuación 7, conocida como *teorema de probabilidad total* (para una partición del espacio muestral en dos eventos), podemos escribir el teorema de Bayes como

$$P(E) = \frac{P(E|A)P(A)}{P(E|A^c)P(A^c) + P(E|A)P(A)} \quad (8)$$

Todas estas fórmulas, aparentemente simples, son la base de una poderosa rama de la Probabilidad (y también de la Estadística) conocida como *Teoría Bayesiana*. Como el teorema de Bayes también puede ser usado en la teoría de probabilidades que permite actualizar la probabilidad de un evento a medida que se dispone de más evidencia, esto permite relacionar la probabilidad previa de un evento con la probabilidad de observar ciertos datos, permitiendo calcular una probabilidad posterior, lo cual es esencial en el razonamiento clínico, particularmente en el proceso diagnóstico, ya que este sigue la secuencia de pasos considerando la prevalencia de la enfermedad, la sensibilidad y especificidad de la prueba, y los resultados obtenidos: a) paso 1, realizar una anamnesis próxima y remota, junto con la información obtenida del examen físico, el médico clínico estima la probabilidad de que el paciente presente el diagnóstico X. Esta

probabilidad se denomina probabilidad pre-test, ya que se establece antes de considerar la información que proporcionará una prueba diagnóstica; b) paso 2, en este paso se incorpora la nueva información proporcionada por una prueba diagnóstica, es decir, los resultados de dicha prueba, la cual puede ser un examen de laboratorio, una imagen, un cuestionario, etc. También pueden considerarse síntomas, signos o exámenes adicionales que no se hayan tomado en cuenta inicialmente; c) paso 3, una vez conocido el resultado de la prueba diagnóstica, se formula una nueva probabilidad de que el paciente presente el diagnóstico (Cerda y Cifuentes, 2024). Además, con este teorema se cuantifica el fármaco y a través de *Machine Learning* se pueden realizar predicciones sobre las enfermedades de una población realizando un proceso semiológico.

### LA PROBABILIDAD Y LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

Ahora mostramos un ejemplo de cómo nuestra intuición nos puede engañar a la hora de tomar decisiones críticas y como la probabilidad puede ayudar a cualquier persona a decidir de manera más conciencia. Supongamos que un paciente se realiza una prueba clínica para descartar que padece cierta enfermedad mortal. Supongamos que al paciente se le dice en el laboratorio que dicha prueba es 94% efectiva en detectar una enfermedad cuando la enfermedad está realmente presente. El laboratorio también menciona que la prueba diagnóstica como enfermas a personas sanas en el 1% de los casos. Supongamos que nuestro paciente recibe la noticia de que el resultado de la prueba es positivo a la enfermedad. Si dicho paciente no sabe probabilidad, pensará que su destino está sellado y que sus días están contados. Después de todo, el 94% de efectividad al diagnosticar correctamente personas enfermas es un número muy grande. Pero supongamos que nuestro paciente es un panadero aficionado a las Matemáticas que no se dejará engañar tan fácilmente por su intuición, y que sabe que solo el 0.3% de la población tiene la enfermedad sospechosa, es decir, la enfermedad es muy rara. De acuerdo con lo que nuestro paciente panadero ha estudiado en sus ratos libres, sabe que debe recurrir al Teorema de Bayes y al Teorema de la Probabilidad Total para revisar que tan grande es la probabilidad de padecer la enfermedad dado que la prueba es positiva. Tenemos los eventos  $E = \{\text{Nuestro panadero tiene la}$

enfermedad}, y Positivo = {La prueba da un diagnóstico positivo a la enfermedad}. En notación matemática, lo que nuestro paciente imaginario escribiría en su hoja de papel, sería más o menos algo como lo siguiente. Por el teorema de Bayes, tenemos que

$$P(E|Positivo) = \frac{P(Positivo|E)P(E)}{P(Positivo)} \quad (9)$$

y por el teorema de probabilidad total, tenemos que

$$P(Positivo) = P(Positivo|E)P(E) + P(Positivo|E^c)P(E^c) \quad (10)$$

por lo que la probabilidad buscada es

$$P(E|Positivo) = \frac{P(Positivo|E)P(E)}{P(Positivo|E)P(E) + P(Positivo|E^c)P(E^c)} \quad (11)$$

Sabemos que  $P(Positivo|E) = 0.94$  (o 94%) y que la probabilidad de dar positivo cuando una persona no tiene la enfermedad es  $P(Positivo|E^c) = 0.01$  (o 1%). Además, la probabilidad de tener la enfermedad es  $P(E) = 0.003$  (o 0.3%) y por ende la de no tenerla es  $P(E^c) = 1 - P(E) = 0.997$  (o 99.7%). Por lo tanto

$$P(E|Positivo) = \frac{0.94 \times 0.003}{0.94 \times 0.003 + 0.01 \times 0.997} \approx 0.22$$

Dicha probabilidad no puede descartar del todo la presencia de la enfermedad, pero definitivamente está muy lejos de sugerir que nuestro panadero está ante su sentencia de muerte. Casi cualquiera que no tenga nociones básicas de Probabilidad hubiera reunido a sus familiares para

anunciar su última voluntad, pero por fortuna nuestro amigo panadero es muy curioso.

### PROBABILIDAD Y CIENCIA FORENSE

Si hay algo que caracteriza el mundo de la investigación forense, es la incertidumbre, ya que quienes se dedican a ello, a menudo deben lidiar con información incompleta. Esto hace que la intervención de la probabilidad sea algo muy adecuado. De hecho, hay un sin fin de publicaciones que tratan acerca de las posibles aplicaciones de la probabilidad y la estadística a las ciencias forenses. Muchas de estas publicaciones recurren a un enfoque *bayesiano* de la probabilidad y la estadística, cuya noción básica es la siguiente. Para determinada cuestión sobre la que se quieren obtener conclusiones, se tiene cierta información inicial, que puede proceder de la opinión de alguna persona experta en el asunto, de investigaciones anteriores acerca del mismo tema, o incluso de la mera intuición. Con dicha información inicial se propone algún modelo probabilístico adecuado. Luego, cuando se obtiene nueva información acerca del asunto de interés, a partir del modelo anterior se construye un nuevo modelo que involucra tanto la información inicial como la nueva información. Seguramente se entenderán mejor estos conceptos a través del siguiente ejemplo.

Supongamos que la inspectora a cargo de la investigación de un crimen tiene en la mira a un determinado sujeto como principal sospechoso y está 55% convencida de que es culpable. Supongamos que conforme avanza la investigación del caso, la nueva información muestra que el criminal tiene los ojos color verde. Supongamos que, por los registros disponibles, saben que el 25% de la población bajo investigación tiene dicho atributo. Con la nueva información obtenida ¿qué tan segura debería estar la inspectora de la culpabilidad de su sospechoso? Para responder a esto, tomemos los eventos  $C = \{\text{El sospechoso es culpable}\}$ , y  $V = \{\text{Tener los ojos verdes}\}$ . Tenemos entonces que la probabilidad de que el sospechoso sea culpable, dado que posee cierto atributo:

$$P(C|V) = \frac{P(V|C)P(C)}{P(V)} \quad (12)$$

Y por el teorema de probabilidad total

$$P(C|V) = \frac{P(V|C)P(C)}{P(V|C)P(C) + P(V|C^c)P(C^c)} \quad (13)$$

Todas las probabilidades que aparecen en esta expresión se pueden obtener de la información que tiene disponible la inspectora. De acuerdo con el juicio inicial experto de la inspectora, el sospechoso es culpable con 55% de certeza, o bien, podemos decir que la probabilidad de culpabilidad es  $P(C) = 0.55$ , y la de ser inocente (o no culpable) es  $P(C^c) = 1 - P(C) = 0.45$ . También, tenemos que con certeza una persona tiene ojos verdes cuando esta persona es la culpable, es decir  $P(V|C) = 1$ . Como el 25% de la población tiene los ojos verdes, pero solo un individuo de entre toda la población es el verdadero culpable, podemos afirmar que prácticamente el 25% de los inocentes tienen ojos verdes, entonces podemos suponer que la probabilidad de tener los ojos verdes dado que no se es culpable es  $P(V|C^c) = 0.25$ . Con todo esto, tenemos que:

$$P(C|V) = \frac{1 \times 0.55}{1 \times 0.55 + 0.25 \times 0.45} \approx 0.83$$

Entonces sería razonable que la inspectora esté ahora 83% convencida de que su sospechoso es culpable, lo cual es mucho más decisivo que el ambiguo 55% de certeza inicial, que prácticamente paraliza cualquier acción judicial que se quisiera tomar contra el sospechoso.

### EL NÚMERO $\pi$ Y LA PROBABILIDAD

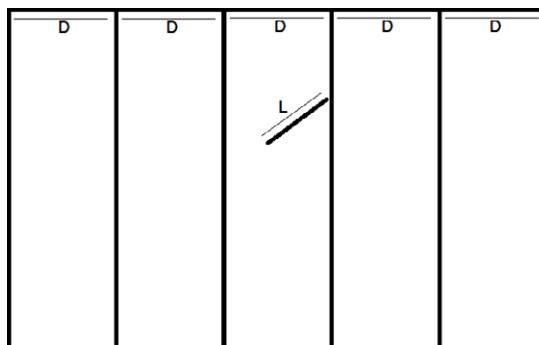
Hasta ahora hemos mencionado ejemplos de cómo tener ciertos conocimientos de Probabilidad puede sacarnos de apuros en determinadas situaciones. Pero otra razón por la que la Probabilidad debería interesarnos (o al menos eso es lo que creemos) es simplemente porque es divertida y está llena de resultados que pueden deleitar nuestra curiosidad, que es lo que pretenden los siguientes ejemplos. Seguramente el lector recordará de

la educación básica que, si tomamos la longitud del perímetro de un círculo y lo dividimos entre su diámetro, obtendremos un número cercano a 3.14159, conocido como número *pi* o  $\pi$ . Pero entonces, si para calcular este número solo tenemos que hacer lo que hemos descrito y ya, ¿qué tiene que ver dicho número con la Probabilidad y las cosas aleatorias? Para responder a eso, veamos un poco de historia. En el siglo XVIII, a un señor llamado Georges Louis Leclerc, mejor conocido como el *conde de Buffon*, se le ocurrió la pregunta. Si lanzó una aguja en una superficie rectangular con líneas paralelas equidistantes con una distancia entre líneas mayor que la longitud de la aguja (ver la Figura 1), ¿cuál es la probabilidad de que esta termine tocando alguna de las líneas? Lo que descubrió fue que dicha probabilidad está dada por:

$$P(\text{La aguja toque alguna línea}) = \frac{2L}{D\pi} \quad (14)$$

donde  $L$  = Longitud de la aguja y  $D$  = Distancia entre líneas.

**Figura 1. Superficie con líneas equidistantes sobre la que se deja caer una aguja.**



Nota. Elaboración propia.

Puede parecer extraño que el número  $\pi$  aparezca en este resultado, pero no lo es tanto, después de todo, la aguja debe dibujar un ángulo con respecto a las líneas de la superficie. Además de ser un dato curioso, este

hecho puede servir para obtener aproximaciones del número  $\pi$ . El lector podría pensar “Si ya se conoce a  $\pi$ , incluso las calculadoras lo incluyen de forma predeterminada, ¿Para qué queremos aproximararlo?” La respuesta a esta objeción es que, siempre que se recurre a la cantidad  $\pi$  en cuestiones prácticas, se hace con aproximaciones de este número, y no se puede hacer de otro modo, ya que el valor exacto de  $\pi$  tiene un número infinito de cifras decimales. Para ver cómo podemos aproximar a  $\pi$  con ayuda de algunos hechos probabilísticos, nótese que

$$\pi = \frac{2L}{D \times P(\text{La aguja toque alguna línea})} \quad (15)$$

Para ver como sirve esta relación para aproximar a  $\pi$ , obsérvese que, si tuviéramos  $N$  agujas y las lanzáramos todas a la superficie con líneas, debería esperarse que

$$P(\text{La aguja toque alguna línea}) \approx \frac{\text{Número de agujas que cruzan alguna línea}}{\text{Número total de agujas}} = \frac{C}{N} \quad (16)$$

por lo tanto, el número  $\pi$  podría aproximarse por medio de la relación

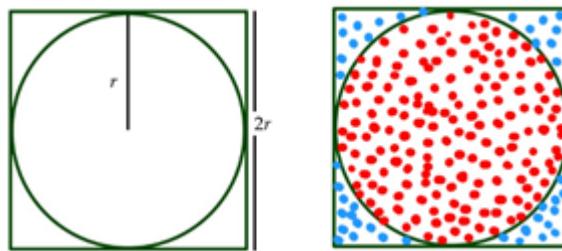
$$\pi \approx \frac{2LN}{D \times C} \quad (17)$$

Desafiamos al lector a que intente esto con una cartulina rayada y una caja de fósforos. Cabe mencionar que entre más fósforos se agreguen al experimento, mejor será la aproximación. Se sorprenderá el lector al ver que la mayoría de las veces que repita esto con un simple trozo de papel y fósforos, se encontrará con un número parecido a  $\pi = 3.14159$ .

Este último hecho es sorprendente, pero realmente hay mejores formas de aproximar el número  $\pi$  con métodos probabilísticos. El siguiente ejemplo, que es tanto divertido como interesante, tiene como teoría de fondo una rama de la Probabilidad conocida como *Métodos Monte Carlo*.

Supongamos que tenemos un cuadrado cuyos lados miden  $2r$  unidades, y un círculo inscrito en el cuadrado con radio de unidades (y por lo tanto su diámetro es  $2r$  unidades) como en la Figura 2.

**Figura 2. Puntos generados de forma aleatoria y uniforme dentro un cuadrado con un círculo inscrito**



Nota. Elaboración propia.

Supongamos que lanzamos puntos de manera aleatoria pero uniforme, es decir, cualquier punto tiene la misma probabilidad de caer en cualquier región dentro del cuadrado. Tenemos que la relación entre las áreas de las dos figuras está dada por

$$\frac{\text{Área del círculo}}{\text{Área del cuadrado}} = \frac{\pi r^2}{4r^2} = \frac{\pi}{4} \quad (18)$$

Sería razonable esperar que el número de puntos que han caído dentro del círculo entre el número total de puntos (todos los que están dentro del cuadrado), tienen una relación análoga a la de las respectivas áreas de las figuras, es decir

$$\frac{\text{Número de puntos dentro del círculo}}{\text{Número de puntos dentro de todo el cuadrado}} \approx \frac{\pi}{4} \quad (19)$$

y, por lo tanto

$$\pi \approx 4 \times \frac{\text{Número de puntos dentro del círculo}}{\text{Número de puntos dentro de todo el cuadrado}} \quad (20)$$

En el caso particular de la imagen mostrada, tenemos que dentro del cuadrado hay 210 puntos y dentro del círculo hay 167. Por lo que

$$\pi \approx 4 \times \frac{167}{210} = 3.18$$

Obviamente, con ayuda de una computadora, podemos generar miles, o incluso millones de puntos y obtener una excelente aproximación. Si quienes nos están leyendo no disponen de una computadora, en sus tiempos de ocio pueden intentarlo dibujando las figuras en una hoja de papel y usar grageas distribuidas uniformemente en la superficie.

### PARECE MAGIA, PERO ES PROBABILIDAD

Imaginemos que un día uno de nuestros lectores, que está convencido de que la Probabilidad no le puede ser de ninguna utilidad, ya que es estudiante de Literatura Clásica, sube a un vagón del metro en el que hay 50 personas. Detrás de él, sube al vagón un extraño sujeto con barba larga, que se acerca a nuestro lector y le pregunta si quiere que adivine su futuro. Tal sujeto se presenta a sí mismo ante nuestro lector como poseedor de grandes capacidades adivinatorias, y para probarlo, le dice a nuestro lector que en el vagón hay alguien que cumple años exactamente el mismo día del año que él. Nuestro lector imaginario, con cierta incredulidad le pide que encuentre a tal persona que nació el mismo día que él. Después de preguntar a algunos pasajeros acerca de su fecha de nacimiento, el extraño encuentra a una persona que afirma haber nacido el mismo día que nuestro hipotético lector. Nuestro querido estudiante de literatura, aún incrédulo, le pide a dicha persona que le muestre su identificación para verificar que cumple años el mismo día del año que él. Tal persona le muestra su identificación, y ahora no hay duda, tal persona celebra su cumpleaños el mismo día del año que nuestro lector imaginario. De tal modo, el extraño de barba larga que afirma tener poderes adivinatorios se

ha ganado su confianza. El extraño le dice a nuestro lector, que a cambio de 4000 pesos le dirá su futuro, y este, convencido de los poderes sobrenaturales del extraño, acepta la oferta. El “pronóstico” que el extraño de barba larga le otorga a nuestro sorprendido amigo es:

*“Justo en este momento de tu vida hay cosas que están bajo tu control y otras que no, si no atiendes las que están bajo tu control corres un grave riesgo de tener una vida llena de desgracias y disgustos. Encontrarás muchos obstáculos en el futuro y muchos de tus seres queridos se irán de tu vida.”*

Quizás nuestro amigo imaginario, esperaba saber algo más específico acerca de su futuro, como, por ejemplo, ¿cuáles son los obstáculos que se encontrará por la vida? o, ¿cuáles son las desgracias que podrían llegar a su vida en caso de no atender ciertos asuntos? Pero bueno, después de todo, este hombre ha demostrado sus grandes dones, así que será mejor tener en cuenta su “profecía”, la cual realmente es válida para cualquier ser humano de este planeta.

Lo que nuestro estudiante de Literatura imaginario no sabe, es que le acaban de ver la cara, y que el sujeto de barba es un estafador, un estafador muy listo y que sabe Probabilidad. Resulta que nuestro amigo, convencido de la inutilidad de la Probabilidad, está indefenso ante gente maliciosa que sí sabe Probabilidad y que está dispuesta a usarla para abusar de los demás.

La facilidad con la que el extraño estafador del vagón ha encontrado de entre 50 personas a dos que celebran cumpleaños el mismo día del año, no debería ser sorprendente (al menos no tanto) para quien haya estudiado el famoso problema conocido como el *Problema del cumpleaños* o *Paradoja del Cumpleaños* (Corn, *et al.*, 2023).

Supongamos que tenemos un grupo de  $N$  personas, nos interesa saber cuál es la probabilidad de que en ese grupo haya al menos dos personas que cumplen años el mismo día del año. Está claro que, si tenemos  $N = 367$  personas, la probabilidad es de 1, es decir, con total seguridad habrá al menos dos personas que hayan nacido el mismo día del año (Corn, *et al.*, 2023). Pero ... ¿qué pasa si tenemos 10, 20, 40, o 50 personas? o ¿cuántas personas debemos tener como mínimo para que dicha probabilidad sea alta? La respuesta a estas preguntas es abrumadoramente sorprendente, y por eso el problema es llamado “paradoja” en ocasiones (aunque no tiene nada de paradójico). Para responder a estas preguntas, consideremos a

nuestro grupo de  $N$  personas, con  $N < 365$ . Sean los eventos  $C = \{\text{Al menos dos de las } N \text{ personas cumplen años el mismo día del año}\}$ , y  $C^c = \{\text{Todas las } N \text{ personas cumplen años en diferentes días del año}\}$ . Notemos que la probabilidad que nos interesa está dada por

$$P(C) = 1 - P(C^c) \quad (21)$$

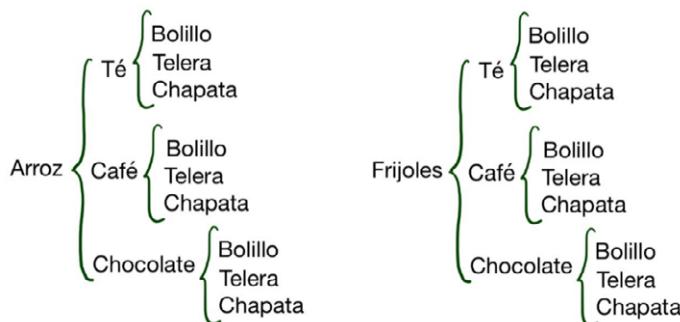
Antes de continuar, haremos una pequeña parada en algunos sencillos conceptos que son de gran importancia en el estudio del cálculo de probabilidades. Recordemos que la noción intuitiva de probabilidad a la que hemos recurrido a lo largo de este artículo está dada por

$$P(E) = \frac{\text{Número de resultados en los que ocurre } E}{\text{Número de todos los resultados posibles}} \quad (22)$$

donde  $E$  es algún evento. Esto nos deja claro que para calcular probabilidades correctamente es necesario saber contar bien y tener buenas herramientas matemáticas para hacerlo de manera eficiente.

Supongamos que estamos a punto de pedir un desayuno que consiste en una bebida, un pan, y un pequeño complemento. Para la bebida, las opciones posibles son: té, café, o chocolate; para el pan, las opciones son telera, bolillo, o chapata; y para complemento las opciones son: arroz y frijoles. Vale la pena preguntarse ¿cuántos posibles desayunos podemos pedir? Para responder a esto, fijemos el complemento tomando arroz; luego, si tomamos el café, lo podemos combinar con tres tipos posibles de pan, café con bolillo, café con telera, y café con chapata. Lo mismo con las otras 2 bebidas disponibles, hay otras 3 posibilidades con té, y otras 3 con chocolate, es decir, hay 9 formas de combinar los 3 tipos de pan con las 3 bebidas cuando ya tenemos fijo el complemento arroz. Si hacemos lo mismo con los frijoles, tenemos que hay otras 9 posibilidades. Al sumar todas las posibilidades tenemos 18 posibles desayunos en total, como se puede ver en la figura 3.

**Figura 3. Todos los desayunos posibles con 3 tipos de pan, 3 tipos de bebida, y 2 complementos.**



Nota. Elaboración propia.

En vez de haber hecho todo el conteo de todos los desayunos posibles caso por caso, pudimos simplemente haber multiplicado  $3 \times 3 \times 2 = 18$ , lo cual es un caso particular de un resultado más general. Esta última forma más simple y más eficiente de contar se conoce como *Principio básico del conteo*, cuyo enunciado formal es el siguiente. Supongamos que se realizan  $k$  experimentos independientes, donde el primer experimento tiene  $n_1$  resultados posibles, el segundo tiene  $n_2$  resultados posibles, y continuando así sucesivamente, el experimento  $k$  tiene  $n_k$  resultados posibles. Entonces el número total de resultados posibles que se pueden obtener al realizar todos los  $k$  experimentos simultáneamente es

$$n_1 \times n_2 \times \dots \times n_k \quad (23)$$

Este último hecho nos ayudará a entender por qué en un grupo tan relativamente pequeño, la probabilidad de encontrar dos personas que hayan nacido el mismo día del año es tan alta. Si tenemos un grupo con  $N$  individuos al que denotamos  $GN = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ , donde  $s_i$  denota al individuo  $i$ . Para que ningún par de los individuos del grupo cumpla años el mismo día del año, se debe cumplir que  $s_2$  no cumpla años el mismo día que  $s_1$ ; que  $s_3$  no cumpla años el mismo día que  $s_1$  y  $s_2$ ; que  $s_4$  no

cumpla años el mismo día que  $s_1, s_2$ , y  $s_3$ ; y así sucesivamente hasta que, que  $s_N$  no cumpla años el mismo día que  $s_1, s_2, \dots$ , y  $s_{N-1}$ . Supongamos que para conseguir eso cada uno de los individuos puede elegir su día de nacimiento. Si nos diera igual que se repitan o no los días de nacimiento, cada individuo podría escoger entre 365 opciones de cumpleaños, por lo que para  $N$  individuos tenemos que hay  $365 \times 365 \times \dots \times 365 = 365^N$  posibles configuraciones. Si de todos esos casos posibles solo nos interesa saber en cuántos de ellos los días de nacimiento no se repiten, podemos hacer los siguiente, formamos a los  $N$  individuos en una fila, del  $s_1$  hasta el  $s_N$ , de modo que escojan un cumpleaños, pero con la condición de que no escojan un cumpleaños que alguien haya escogido ya antes. El primer individuo puede escoger cualquiera de los 365 días del año, ya que nadie ha seleccionado cumpleaños antes que él; el individuo  $s$  tiene  $365 = 1-364$  opciones;  $s_3$  tiene  $365-2 = 363$  opciones; si continuamos de este modo sucesivamente hasta el turno de  $s_N$  tenemos que este último individuo tiene  $365-N + 1 = 366-N$  opciones. Por lo tanto, de entre todas las  $365^N$  configuraciones posibles de cumpleaños de los  $N$  individuos, tenemos que en  $365 \times 364 \times \dots \times (365-[N-1])$  de ellas, ninguno de los  $N$  individuos cumple años el mismo día del año. Por lo tanto

$$P(C^c) = P(\text{Todas las } N \text{ personas cumplen años en diferentes días del año})$$

$$= \frac{365 \times 364 \times \dots \times (365 - [N - 1])}{365^N}$$

y así, la probabilidad de que en un grupo de  $N$  personas haya al menos dos que cumplen años el mismo día del año está dada por

Podemos usar esta fórmula general para valores particulares de  $N$ . En la tabla 2 mostramos el valor de  $P(C)$  para diferentes valores de  $N$ .

**Tabla 2. Valores de  $P(C)$  para diferentes valores de  $N$**

$P(C)$	0.12	0.41	0.50	0.70	0.88	0.97	0.99
$N$	10	20	23	30	40	50	60

Como puede verse en la tabla, prácticamente a partir de  $N = 50$  individuos, encontrar al menos un par de individuos que cumplan años el mismo día del año se convierte en un hecho, lo cual no deja de ser sorprendente, incluso para quien ya sepa algo de probabilidad. Lo cierto es que a quien en la vida real le ocurriera algo similar a lo que le ocurrió al estudiante de Literatura.

## LOS DEPORTES SON MÁS DIVERTIDOS CON PROBABILIDAD

Incluso para quienes, con mucho entusiasmo, optaron por una vida profesional que involucra el uso de herramientas probabilísticas, la probabilidad puede llegar a parecer un poco fría en ocasiones. Afortunadamente, la probabilidad es tan versátil que puede darse el lujo de meter las narices en prácticamente cualquier asunto, por ejemplo, el divertido mundo de los deportes. En primera instancia, se podría pensar que las principales aplicaciones de la Probabilidad en el mundo de los deportes son aquellas relacionadas con las apuestas. Aunque las cuestiones probabilísticas juegan un papel importante en este ámbito, lo cierto es que hay una lista interminable de interesantes aplicaciones de la probabilidad a los deportes.

Para que el lector, no piense que la relación entre Probabilidad y deportes es algo casual, podemos hablar del matemático Sumpter (2016), autor del libro *Soccermatics* (que se tradujo al español como “Fútbol y Matemáticas”), que es conocido por explorar las posibles aplicaciones de las Matemáticas en ámbitos insospechados, y el “deporte rey”, como Sumpter (2016) llama en su libro al fútbol soccer, no es la excepción, aunque ciertamente, lo mismo vale para el baloncesto, el voleibol, etc. Además de su libro, Sumpter (2016) tiene un sitio de internet en el cual expone con gran pasión su trabajo, tanto en las aplicaciones de las Matemáticas al fútbol soccer, como en otra gran variedad de áreas.

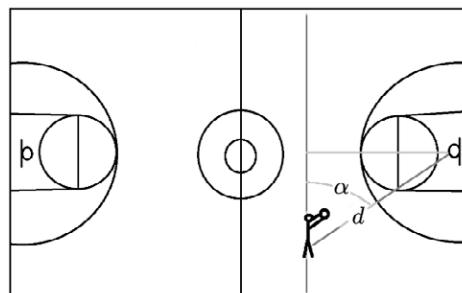
Si se le preguntara a un probabilista (o a un estadístico), con base en información disponible acerca de determinadas variables, ¿qué tan probable es que un equipo de baloncesto anote en un partido o que un tiro termine siendo gol en un partido de fútbol?, seguramente su respuesta será “regresión logística”. Una *regresión logística* es un modelo de predicción en el que se busca estimar la probabilidad de un suceso de interés, por ejemplo,

la probabilidad de que un tiro se convierta en un gol o la probabilidad de ganar un partido, pero tomando en cuenta información acerca de ciertas variables, por ejemplo, el ángulo formado entre los postes del arco, o la canasta en el caso del baloncesto, y la posición del tirador, la distancia desde la que se realiza el tiro, tiempo transcurrido desde el inicio del partido, número de tiros anotados por el equipo al equipo contrario hasta el momento, si el día es lluvioso o seco, temperatura del estadio en el que se está llevando a cabo el partido, etc. Como ejemplo, supongamos que tenemos registros de tiros realizados por un equipo de baloncesto específico, de los cuales algunos han terminado dentro de la canasta, y otros no. Conocemos la distancia desde la que los tiros fueron realizados  $d$ ; así como el ángulo formado entre la canasta rival y la posición del tirador  $\alpha$  (como se puede ver en la figura 4), y el tiempo transcurrido desde el comienzo del partido hasta el momento del tiro  $t$ . Con estos datos es posible construir un modelo para la probabilidad de que un tiro termine en anotación dadas las variables mencionadas, nuestro modelo tendría la forma

$$P(\text{Anotar} | d, \alpha, t) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 \alpha + \beta_3 t)}} \quad (24)$$

donde  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  son parámetros del modelo que se estiman a partir de los datos disponibles.

**Figura 4. Variables tomadas en cuenta a la hora del lanzamiento de un tiro.**



Nota. Elaboración propia.

La ventaja de este modelo es su facilidad de interpretación. Si escribimos  $p = P(\text{Anotar}|d, \alpha, t)$ , de la ecuación anterior y con un poco de álgebra, tenemos que

$$\log \log \left( \frac{p}{1-p} \right) = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 \alpha + \beta_3 t \quad (25)$$

La cantidad  $p/(1-p)$  es conocida como *momios* en el mundo de habla hispana, y *odds* en el mundo de habla inglesa, y su logaritmo es conocido como *log-odds*. Dicha cantidad juega un papel importante en los pronósticos (y por supuesto también en las apuestas) en el mundo de los deportes. Lo que debe notarse de esta ecuación, es que nos permite ver de manera directa cómo influyen ciertas variables externas en la probabilidad de que nuestro equipo deportivo favorito tenga algún acierto en algún aspecto de interés. De hecho, si entre quienes están leyendo este artículo, hay alguien con gran afición a los deportes, tenemos una buena noticia, a saber, si tiene la paciencia para registrar los resultados y colectar la información de todas aquellas variables que afectan el resultado en una temporada deportiva, con ayuda de algún *software* estadístico (como el fácilmente accesible R), y por supuesto con algo de estudio, se puede ajustar una regresión logística desde la comodidad de un sofá.

Para el momento en el que se escribe este artículo, el tema de la *Copa Mundial de la FIFA Catar 2022* sigue un poco al rojo vivo. Sería un error desperdiciar dicha oportunidad para atraer adeptos al “credo probabilístico”. Sabemos que los goles se cuentan, y para las cosas que se cuentan, el arsenal de herramientas probabilísticas ofrece muchas opciones, por ejemplo, los *modelos de conteo Poisson*. Podemos modelar la probabilidad de que nuestro equipo favorito anote cierta cantidad  $k$  de goles en un partido como

$$p_k = P(k \text{ goles}) = e^{-\mu} \frac{\mu^k}{k!} \quad (26)$$

Donde  $\mu > 0$  representa el valor promedio de goles que se espera que dicho equipo anote en el periodo de tiempo de interés,  $e$ , que vale aproximadamente 2.71828 es el número conocido como la constante de Euler, y  $k! = k \times (k-1) \times \dots \times 2 \times 1$  se conoce como *factorial* de  $k$ . Esta fórmula recibe el nombre de distribución Poisson con tasa  $\mu$ .

Tenemos datos disponibles acerca del historial de goles de la Selección Argentina en el año 2022, y con base en ellos podemos ajustar un modelo Poisson. La tabla 3 muestra el número de goles anotados durante cada partido tomando en cuenta los penales.

**Tabla 3. Goles de la Selección Argentina en 2022**

<i>Rival</i>	<i>Goles anotados</i>
Chile	4
Colombia	2
Venezuela	4
Ecuador	2
Italia	5
Estonia	7
Honduras	5
Jamaica	4
Emiratos Árabes Unidos	9
Arabia Saudita	2
México	2
Polonia	2
Australia	3
Países Bajos	7
Croacia	5
Francia	9

Con base en estos datos podemos construir un modelo de Poisson. Usualmente, la constante  $\mu$  se estima a partir de la media aritmética los datos de conteos disponibles, en este caso, el valor de dicha estimación es

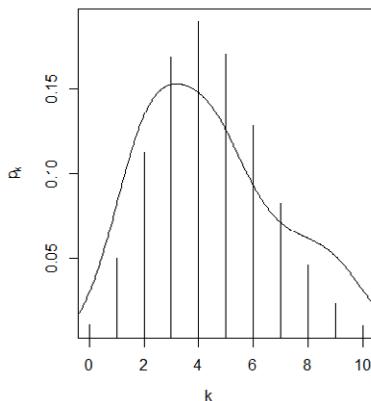
$$\hat{\mu} = \frac{4 + 2 + 4 + 2 + 5 + 7 + 5 + 4 + 9 + 2 + 2 + 2 + 3 + 7 + 5 + 9}{16} = 4.5$$

Por lo que el modelo ajustado es

$$\widehat{p}_k = e^{-\hat{\mu}} \frac{\hat{\mu}^k}{k!} = e^{-4.5} \frac{4.5^k}{k!}$$

Con base en los datos podemos obtener una gráfica suavizada (ver Figura 5) para los goles, y compararla con la gráfica del modelo ajustado.

**Figura 5. Modelo Poisson ajustado para el conteo de goles de la Selección Argentina.**



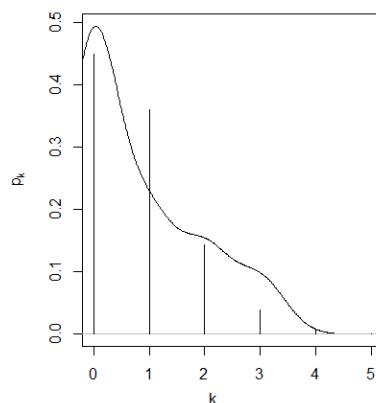
Nota. Elaboración propia.

En la Figura 5, la curva suave (hecha con un *software* estadístico a partir de los datos) trata de aproximar la probabilidad verdadera de obtener cierto número de goles y las barras verticales representan las probabilidades de obtener cierta cantidad de goles de acuerdo con el modelo Poisson ajustado. Por supuesto, el modelo no reproduce fielmente los valores reales del número de goles de la selección argentina (y en realidad esta no es la intención de ningún modelo probabilístico). Pero en defensa de la Probabilidad, se debe decir que el modelo que se presenta en este ejemplo no es el más sofisticado, y existen por supuesto modelos mucho más complejos, que recurren a las herramientas de la ya mencionada Teoría Bayesiana y a otra interesante teoría conocida como *Inferencia no Paramétrica*. Por supuesto también se puede reproducir este ejemplo para el caso de la Selección Mexicana, cuyo historial de goles se presenta en la tabla 4.

**Tabla 4. Goles de la Selección Mexicana en 2022**

<i>Rival</i>	<i>Goles anotados</i>
Jamaica	2
Costa Rica	0
Panamá	0
Estados Unidos	0
Honduras	1
El Salvador	0
Guatemala	0
Nigeria	1
Uruguay	3
Ecuador	0
Surinam	0
Jamaica	1
Paraguay	1
Perú	0
Colombia	3
Irak	0
Suecia	2
Polonia	0
Argentina	0
Arabia Saudita	2

El parámetro  $\mu$  aproximado para este caso es 0.8. Y de igual forma, se puede construir la respectiva gráfica que se muestra en la figura 6.

**Figura 6. Modelo Poisson ajustado para el conteo de goles de la Selección Mexicana.**

Nota. Elaboración propia.

Para disgusto de muchos, el modelo Poisson ajustado para la Selección Mexicana sugiere probabilidades altas para valores pequeños de número de goles. También este ejemplo sirve para calcular los factores de riesgo, por ejemplo, si en una investigación de personas sanas (controles) y de personas enfermas (casos), 80 casos de enfermedad tuvieron exposición a un factor de riesgo y 20 no, y de 200 controles, 120 tuvieron exposición y 80 no, la razón de momios sería  $(80/20) / (120/80) = 3.33$ . Esto indica que los casos tenían aproximadamente 3.33 veces más probabilidades de exposición al factor de riesgo que los controles. De manera simplificada se puede decir que la razón de momios (Odds ratio) también se aplica al área de la epidemiología.

### LA PROBABILIDAD EN LAS DECISIONES COTIDIANAS

De algún modo, podemos decir que nuestras vidas son cadenas de pequeñas elecciones que nos llevan desde un momento a otro. Muchas de las elecciones que hacemos, tienen un resultado completamente predecible, por ejemplo, si pagamos al conductor del transporte con un billete de cierta denominación, este nos devolverá una cantidad conocida de antemano por nosotros; si me sirvo agua de una jarra en un vaso de cierto tamaño, sabemos de antemano cual es el nivel de líquido que disminuirá de la jarra; podemos saber cuánto avanzaremos si caminamos unos cuantos pasos. Por otro lado, hacemos ciertas elecciones para las que el resultado no es tan claramente previsible, mucho menos cuando las implicaciones se han de manifestar a largo plazo, por ejemplo, nuestras elecciones profesionales o académicas; el emprendimiento de algún negocio; irse a vivir a otra ciudad; qué secciones de un temario estudiar para un examen cuando estamos a poco tiempo de presentarlo; o simplemente la elección, de la ruta (en caso de que haya más de una) por la que iremos al trabajo o a la escuela cuando tenemos prisa por llegar. Por supuesto, la probabilidad tiene mucho que aportar acerca de situaciones como estas y que por supuesto nos pueden ser de gran utilidad para disminuir nuestra probabilidad de tomar decisiones erradas.

Este último ejemplo está dedicado para quienes el proselitismo probabilista de las secciones anteriores no haya surtido efecto. Supongamos que un profesor de Química realizará un examen final a sus estudiantes,

para ayudarles a estudiar, el profesor pone a disposición de la clase, los exámenes finales de semestres anteriores de los últimos 6 años, es decir, 12 versiones anteriores del examen que los estudiantes están por presentar. Cada examen, consiste en 4 problemas, donde algunos de los problemas aparecen de forma repetida en los exámenes, y en total hay 10 problemas diferentes. Un estudiante específico de esta clase sabe que no tendrá tiempo para estudiar todos los problemas, y teme que, si se enfoca en resolver los más difíciles y estos al final no aparecen en el examen próximo, haya desaprovechado el tiempo que tenía para estudiar. En particular hay un problema que le parece muy difícil a nuestro estudiante, y debe decidir rápido si lo estudia (lo cual le tomaría mucho tiempo) o se debe enfocar en otros problemas más sencillos. Podemos usar la proporción de versiones anteriores del examen que incluyen ese problema como probabilidad inicial de que dicho problema aparezca en el próximo examen. Supongamos que los 10 diferentes problemas están numerados de 1 al 10, y los 12 exámenes están compuestos como se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5. Composición de los exámenes finales de Química de 12 semestres anteriores**

<i>Problemas de las Versiones Anteriores del Examen Final de Química</i>				
<i>Número de examen</i>	<i>Problema 1</i>	<i>Problema 2</i>	<i>Problema 3</i>	<i>Problema 4</i>
1	1	6	7	8
2	1	3	5	9
3	4	6	7	9
4	2	5	7	10
5	1	6	7	10
6	1	2	5	7
7	7	8	9	10
8	2	3	8	9
9	2	5	6	8
10	5	7	8	10
11	1	2	8	9
12	2	4	6	8

El problema que aterra un poco a nuestro amigo estudiante es el 10, el cuál ha aparecido en 4 de 12 exámenes, por lo que su probabilidad inicial de aparecer en el próximo es  $4/12 = 1/3$ . Supongamos que otros estudiantes que están más preocupados por el problema 7 le preguntan al profesor si ese problema vendrá en el examen, y el profesor les dice que con 55% de probabilidad vendrá el problema 7 en el examen. Con esta nueva información, lo que nuestro estudiante puede hacer es lo siguiente. Tenemos los eventos  $Q_{10} = \{\text{La pregunta 10 viene en el examen}\}$ , y  $Q_7 = \{\text{La pregunta 7 viene en el examen}\}$ . Pero él ya ha estudiado el Teorema de Bayes, sabemos que

$$P(Q_{10}|Q_7) = \frac{P(Q_7|Q_{10})P(Q_{10})}{P(Q_7)} \quad (27)$$

Por lo que ya dijo el profesor,  $P(Q_7) = 0.55$ , y de lo revisado en los exámenes,  $P(Q_{10}) = 1/3 = 0.33$ . Además, nótese que, en todos los exámenes en los que ha aparecido el problema 10, siempre ha aparecido el problema 7, por lo tanto, tenemos que  $P(Q_7|Q_{10}) = 1$ , por lo que

$$P(Q_{10}|Q_7) = \frac{1 \times 0.33}{0.55} = 0.6$$

Lo cual ya da buena información a nuestro estudiante de que la probabilidad de que el temido problema aparezca en el próximo examen, si es considerable y sí debería estudiarlo. A pesar de que este ejemplo parezca un tanto complejo, es bastante común en los salones de clases. Lo que puede hacer parecer este ejemplo como algo meramente ficticio, es que la mayor parte de los estudiantes que en la vida real que se ven envueltos en situaciones como la del ejemplo, dejan pasar por alto la información disponible por no contar con las herramientas para usarla a su favor. Es bueno reflexionar acerca de toda la información que se desaprovecha a la hora de tomar decisiones, solamente por el hecho de no tener herramientas.

## DISCUSIÓN

Se han mostrado suficientes ejemplos de situaciones en los que la probabilidad puede ser aplicada en situaciones en las que cualquier persona podría verse implicada, incluyendo los aspectos de la salud. Con los ejemplos de las secciones 3, 4, 6, y 9, se ha ilustrado cómo la mera intuición es insuficiente e incluso no muy fiable en determinadas situaciones de incertidumbre, y como poseer conocimientos de Probabilidad nos puede ayudar a enfrentar tales escenarios. En las secciones 4, 5, y 11, se han presentado escenarios en las que inicialmente se tiene cierta visión (que puede ser subjetiva) acerca de alguna situación de interés, y como el teorema de Bayes y el de probabilidad total nos brindan herramientas para modificar con base en evidencia nuestra visión acerca de dicha situación. En las secciones 8 y 10, se ha visto como los resultados de la Probabilidad pueden aplicarse a cosas que tienen que ver con mera diversión y juego.

Como ya se mencionó, existe cierta conexión entre la Probabilidad y la Lógica. En Copi y Cohen (2007) se introduce de manera breve esta conexión. Pero definitivamente Jaynes (2003) es un texto dedicado a este asunto, su enfoque es totalmente Bayesiano, por lo que también es una excelente opción para quien tenga especial interés en la Teoría Bayesiana. En Kahneman (2012) aunque es un libro de divulgación de psicología, ciertos conceptos básicos de la Probabilidad juegan un papel central. Para tener un primer acercamiento al mundo de la Probabilidad consultar a Ross (2018), quien busca que la probabilidad sea práctica y se aleje de las complejas herramientas técnicas del análisis real y otras ramas de las matemáticas avanzadas. Aquí se pueden encontrar ejemplos que ayudan a tener un entendimiento más sólido de los conceptos.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La probabilidad desempeña un papel esencial en la toma de decisiones clínicas, desde el diagnóstico inicial hasta la selección de tratamientos. A lo largo del capítulo se ha mostrado cómo conceptos como la probabilidad condicional y el teorema de Bayes permiten ajustar hipótesis diagnósticas conforme se obtiene nueva información, un proceso clave en enfermedades complejas como el Parkinson rígido. En estos casos, donde los síntomas pueden ser atípicos o confundirse con otros cuadros clínicos,

el razonamiento probabilístico ayuda al médico a interpretar mejor los resultados y reconsiderar tratamientos iniciales.

Este enfoque, lejos de ser meramente teórico, tiene implicaciones prácticas profundas: mejora la precisión diagnóstica, reduce intervenciones innecesarias y favorece una atención más centrada en el paciente. En un entorno como el de la salud, caracterizado por la incertidumbre, la variabilidad individual y la información incompleta, el razonamiento probabilístico se vuelve indispensable. Más allá del cálculo formal, se trata de una forma de pensar que mejora la precisión diagnóstica, reduce errores y favorece una medicina más personalizada y basada en evidencia. De cara al futuro, es urgente incorporar una formación básica en probabilidad en los programas de salud y promover su uso cotidiano entre el personal médico, pacientes e investigadores. El auge de la inteligencia artificial, la medicina predictiva y el análisis de grandes volúmenes de datos hace que esta alfabetización probabilística no sea solo una ventaja, sino una necesidad para avanzar hacia sistemas de salud más eficientes, éticos y orientados al bienestar.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

### REFERENCIAS

- Cerda, J. y Cifuentes, L. (2024). Inferencia Bayesiana en el proceso de diagnóstico clínico: un enfoque docente para la toma de decisiones. *Infectología al día*. doi: 10.4067/s0716-10182024000600168
- Copi, I., Cohen, C. (2007). *Introducción a la Lógica*. Limusa, Noriega Editores. México.
- Corn, P., Habib, M., Suresh, T., Weinstein, L., Lin, C., Khim, J., Ross, E. (2023). *Birthday Problem*. Brilliant.org. Recuperado 01:30, 25 de enero de 2023, de <https://brilliant.org/wiki/birthday-paradox/>

- Gill, R. D. (2010). *The One and Only True Monty Hall Paradox*. Arxiv.org.  
Recuperado de <https://arxiv.org/pdf/1002.0651v2.pdf>
- Jaynes, E.T. (2003). *Probability Theory: The Logic of Science*. Cambridge University Press.
- Kahneman, C. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Debolsillo, Penguin Random House.
- Ross, S. M. (2018). *A First Course in Probability*. Prentice Hall, Pearson, N.J.
- Sumpter, D. (2016). *Futbol y matemáticas: Aventuras matemáticas del deporte rey*. Ariel.

## Reflexiones éticas de la aplicación de la tecnología a la salud

# Aplicación de la inteligencia artificial generativa en la atención a la salud mental: reflexiones desde la ética del cuidado

César Augusto García Avitia<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

La incorporación de la *Inteligencia Artificial Generativa* (IAG) en el campo de la salud mental ha suscitado un intenso debate sobre sus implicaciones clínicas y éticas. Estas tecnologías –como los chatbots conversacionales impulsados por modelos de lenguaje– prometen ampliar el acceso a intervenciones psicológicas, aliviando la carga de un sistema de atención frecuentemente sobrepasado (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). De hecho, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha señalado que existe escasez global de servicios de salud mental (OMS, 2022), así como barreras geográficas, económicas y de estigma que impiden a muchas personas acceder a terapia. En este contexto, la IAG emerge como una solución potencial, que además puede estar disponible las 24 horas y capaz de brindar apoyo desde cualquier lugar y en cualquier momento a través de un teléfono móvil con acceso a internet.

Sin embargo, el entusiasmo tecnológico debe equilibrarse con una reflexión ética profunda. La ética del cuidado, una perspectiva centrada en la empatía, las relaciones y la responsabilidad hacia el otro (Gilligan, 1985), ofrece un marco valioso para evaluar el papel de la IAG en la atención de la salud mental, particularmente en lo relacionado con psicoterapia, orienta-

<sup>1</sup> Profesor e Investigador de la Facultad de Psicología de la Universidad de Colima, Colima, México, 28050. <https://orcid.org/0000-0003-1841-3033>

tación consejería y apoyo emocional. A diferencia de los enfoques éticos tradicionales, como el principialismo bioético centrado en la beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia (Beauchamp y Childress, 2008), la ética del cuidado pone el acento en la calidad de la relación terapéutica, la atención contextual a las necesidades y la responsabilidad relacional entre cuidador y paciente (Tavory, 2024). Esto resulta particularmente relevante en salud mental, donde la alianza terapéutica y la confianza mutua son a menudo factores determinantes del éxito de un tratamiento.

## IAG Y ATENCIÓN EN SALUD MENTAL: ESTADO ACTUAL Y APLICACIONES

*La Inteligencia Artificial Generativa (IAG)* se refiere a algoritmos de aprendizaje automático capaces de producir contenidos novedosos ya sea en texto, voz, o imágenes; de manera autónoma a partir de patrones aprendidos (Pescapè, 2024). En salud mental, la aplicación más visible de la IAG son los agentes conversacionales o chatbots que simulan un diálogo terapéutico con usuarios. Estos sistemas emplean procesamiento de lenguaje natural (PLN) y modelos de lenguaje de gran escala para generar respuestas en lenguaje cotidiano, con el fin de brindar orientación psicológica, información sobre bienestar emocional o incluso intervenciones terapéuticas estructuradas (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). A diferencia de programas más simples basados en reglas, los chatbots con IAG pueden aprender de grandes volúmenes de datos conversacionales, lo que les permite entablar conversaciones más flexibles y humanizadas.

Las herramientas de IAG en salud mental abarcan desde aplicaciones de autoayuda guiada hasta *compañeros virtuales* diseñados para ofrecer apoyo emocional. Por ejemplo, existen chatbots enfocados en Terapia Cognitivo-Conductual (TCC) para la depresión y la ansiedad que guían al usuario por ejercicios estructurados de reestructuración cognitiva. Otros implementan técnicas de mindfulness o psicoterapia de aceptación y compromiso (Boucher *et al.*, 2021). También hay agentes conversacionales concebidos como compañía empática, como es el caso de *Replika*, un chatbot comercial cuyo lema es *el compañero de IA que se preocupa, siempre aquí para escuchar y hablar, siempre a tu lado* (Luka Inc., s/f), que buscan simular la presencia de un amigo comprensivo con quien el usuario puede

desahogarse. Asimismo, existen aplicaciones en áreas específicas, como *Vivibot* ayuda a jóvenes sobrevivientes de cáncer a practicar psicología positiva y reducción de ansiedad tras el tratamiento oncológico (Hopelab, 2025); *Wysa* es un bot emocionalmente inteligente que combina TCC, terapia dialéctico-conductual y entrevista motivacional para ayudar en problemas emocionales cotidianos (Wysa Ltd., 2025). Estas IAG operan principalmente vía texto (en apps de mensajería o web), aunque algunas incorporan voz y expresiones visuales.

Además de brindar intervenciones directas, la IAG se utiliza para monitorear y gestionar síntomas. Los chatbots pueden realizar chequeos periódicos de estado de ánimo, recordatorios de estrategias de afrontamiento o de adherencia a medicación, y seguimiento de hábitos (sueño, ejercicio) a partir de datos que el usuario proporciona (Boucher *et al.*, 2021). Esto permite complementar la terapia tradicional con apoyo continuo entre sesiones, facilitando que los pacientes integren las recomendaciones terapéuticas en su vida diaria. Por ejemplo, una aplicación puede preguntarle al usuario cada noche sobre su nivel de ansiedad y, si detecta un aumento, sugerirle practicar una técnica de relajación previamente aprendida. En algunos casos, la IAG también se usa en cribado y diagnóstico asistido: algoritmos que, mediante cuestionarios conversacionales, ayudan a identificar síntomas de depresión o estrés postraumático, aunque el uso de chatbots para diagnóstico es controvertido y debe manejarse con cautela debido al riesgo de falsos positivos/negativos y a la necesidad de confirmación profesional).

En síntesis, la IAG en salud mental se ha materializado sobre todo en agentes conversacionales diseñados para *simular* parcialmente el rol de un terapeuta o coach de bienestar. Su alcance va desde proporcionar educación e información psicológica (psicoeducación) hasta intervenciones terapéuticas automatizadas y seguimiento personalizado de síntomas. A continuación, se examinan las ventajas que ofrecen estas aplicaciones, así como las limitaciones que presentan frente a la atención tradicional por profesionales humanos.

## VENTAJAS POTENCIALES DE LA IAG EN LA ATENCIÓN DE SALUD MENTAL

La adopción de IAG en salud mental responde en gran medida a la necesidad de ampliar el acceso a apoyo psicológico. Diversos estudios enfatizan que las intervenciones digitales pueden ayudar a cerrar la brecha entre la alta prevalencia de trastornos mentales y la baja disponibilidad de tratamiento tradicional (Boucher *et al.*, 2021). A continuación, se detallan las principales ventajas potenciales de los sistemas IAG frente a la atención convencional, apoyadas en hallazgos de la literatura.

Una primera ventaja es que los chatbots y aplicaciones con IA están disponibles en cualquier momento y lugar, mientras se tengan los dispositivos y conexión a internet necesarios, eliminando barreras de horario y ubicación. Esto es especialmente beneficioso para individuos en áreas rurales o con escasez de profesionales, quienes pueden recibir orientación sin necesidad de desplazarse ni esperar largas listas de espera (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). La posibilidad de acceder desde el hogar de forma inmediata también resulta valiosa para quienes enfrentan síntomas agudos fuera del horario de consulta o para quienes, debido a ansiedad social u otros impedimentos, evitarían buscar ayuda presencial. Así mismo, esa presencia constante puede brindar sensación de seguridad a algunas personas usuarias, al saber que siempre hay *alguien* (aunque sea virtual) con quien hablar en un momento de angustia.

Otro beneficio es que interactuar con un agente virtual puede percibirse como menos amenazante que revelar problemas a otra persona, al menos en etapas iniciales. La anonimidad relativa que ofrecen estas plataformas, en donde la o el usuario puede expresar pensamientos íntimos sabiendo que no está siendo juzgado por un ser humano, puede fomentar la apertura emocional y disminuir la vergüenza asociada a buscar terapia (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). Algunas personas usuarias reportan sentir mayor comodidad charlando con un chatbot sobre temas delicados que con un terapeuta en persona, especialmente en culturas o entornos donde persisten tabúes en torno a la salud mental.

Un aspecto más es que, una vez desarrollado, un sistema de IAG puede atender a un número prácticamente ilimitado de usuarias y usuarios en paralelo, a un costo muy bajo por interacción. Esto contrasta con la terapia individual, que está limitada por la disponibilidad horaria del terapeuta

y suele implicar costos elevados por sesión. Por ello, la IAG se vislumbra como una herramienta para hacer más accesible el apoyo psicológico, permitiendo brindar primeros auxilios emocionales o intervenciones de baja intensidad a poblaciones amplias de forma sostenible. Organismos internacionales destacan que la IA bien empleada podría potenciar la cobertura de servicios de salud mental, contribuyendo a la equidad en el acceso a la salud (OMS, 2023).

Otra posible ventaja es que los algoritmos de IAG pueden *aprender* de las interacciones previas y de la información que el usuario comparte, adaptando sus respuestas y recomendaciones al perfil y necesidades individuales. Por ejemplo, un chatbot puede detectar que cierto tipo de consejo motiva más a un usuario específico y privilegiar ese estilo en futuras interacciones (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). Asimismo, pueden rastrear progresos, como reducciones en el uso de ciertas palabras indicativas de depresión, y ajustar el plan de apoyo en consecuencia. Esta personalización algorítmica busca asegurar que el usuario reciba orientaciones relevantes a su situación particular, potenciando la efectividad e involucración con la herramienta.

Un beneficio más es que, al ser herramientas de autoayuda guiada, los chatbots tienen el potencial de empoderar al usuario en el manejo de su bienestar, reforzando la idea de que posee recursos para enfrentar sus problemas, es decir autoeficacia. Un ejemplo es cuando una aplicación premia los logros o progresos del usuario, reforzando positivamente sus esfuerzos. Este efecto ya ha sido estudiado en el ámbito de la educación, pero podría aplicar también al uso de esta tecnología en el ámbito del apoyo emocional y la salud mental (Parsakia, 2023).

Otro aspecto de gran potencial es que la IAG puede actuar como primer punto de contacto en un sistema escalonado de atención, como es el caso de la plataforma *Limbic* (2025). Un chatbot puede realizar una evaluación inicial de síntomas y nivel de riesgo, proporcionando intervenciones básicas a quienes presenten malestar leve, y derivando o recomendando derivación a atención humana aquellos casos más complejos o graves que excedan su capacidad. De esta manera, los recursos humanos especializados podrían enfocarse en los pacientes de mayor necesidad, mientras que la IAG atiende casos de baja complejidad o brinda soporte complementario. Por ejemplo, un bot podría identificar indicios de ideación suicida

y activar protocolos de emergencia, como notificar a un profesional de guardia o sugerir al usuario que contacte inmediatamente a servicios de crisis e incluso marcar automáticamente un número de ayuda si las condiciones lo permiten.

También se ha observado que incorporar chatbots en intervenciones de salud mental digitales puede aumentar la adherencia y el uso continuo de esas herramientas. Un estudio encontró que añadir un componente conversacional automatizado a un programa digital de abandono de tabaco incrementó la participación de las y los usuarios en un 107% comparado con la versión sin chatbot (Perski *et al.*, 2019). La interacción dinámica, semejante a una conversación, puede ser más atractiva que solo leer contenido psicoeducativo, lo que ayuda a mantener a las y los usuarios involucrados con la intervención. Así, los chatbots podrían mitigar uno de los problemas comunes de las aplicaciones de autoayuda, que es la alta tasa de abandono.

En síntesis, la IAG ofrece oportunidades significativas para ampliar y complementar la atención en salud mental. Puede llenar vacíos de acceso, proporcionar apoyo inmediato y personalizado, y servir como herramienta preventiva o de seguimiento. Estudios como el de Inkster, y Subramanian (2018) sobre *Wysa*, reportan percepciones mayormente positivas de usuarias y usuarios en cuanto a utilidad y usabilidad de chatbots, donde más de dos tercios de las y los participantes califican su experiencia como satisfactoria o útil para manejar sus síntomas (67.7%). Incluso se han documentado mejoras clínicas modestas pero alentadoras: por ejemplo, un ensayo clínico aleatorizado con *Woebot* (un chatbot de TCC) mostró reducciones significativas en síntomas depresivos después de dos semanas de uso en jóvenes, en comparación con un grupo control que recibió un e-book de autoayuda (Fitzpatrick *et al.*, 2017). No obstante, junto con estas promesas, emergen limitaciones y desafíos críticos. A continuación, se analizan las principales desventajas, riesgos y dilemas éticos que conlleva delegar aspectos del cuidado mental a sistemas de IAG, en contraposición con la atención humana tradicional.

## LIMITACIONES Y RIESGOS DEL USO DE IAG EN SALUD MENTAL

Pese a sus potenciales, la asistencia mediante IAG dista de replicar por completo la complejidad de la atención humana. Es posible identificar algunas importantes limitaciones de los chatbots terapéuticos y los riesgos que entraña su uso, especialmente con poblaciones vulnerables (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). A continuación, se detallan las principales cuestiones:

Una primera limitación es la falta de empatía genuina y comprensión emocional de este tipo de tecnología. La empatía, que es la capacidad de comprender las emociones ajenas, es un pilar de la relación terapéutica. Las IAG pueden simular empatía mediante frases de apoyo (“Entiendo que te sientas así, debe ser muy difícil para ti”), pero carecen de una vivencia emocional real. Esto implica que pueden no captar matices cruciales del estado del paciente. En una interacción humana, el terapeuta percibe tono de voz, pausas, expresiones faciales o lágrimas; un chatbot basado solo en texto opera *a ciegas* ante esas señales no verbales (Sweeney, 2021). Consecuentemente, puede emitir respuestas fuera de lugar o insuficientes ante alguien en profundo dolor emocional (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). Por ejemplo, un usuario en crisis de pánico podría beneficiarse de que el terapeuta module su propia voz para transmitir calma; un chatbot de texto carece de esa capacidad de modularse y quizás simplemente envíe un ejercicio genérico de respiración. Esa incapacidad de comprender el contexto emocional completo conlleva el riesgo de *respuestas inapropiadas* o frías que hagan sentir al paciente no comprendido.

Otro problema es la ausencia de juicio clínico y flexibilidad terapéutica, pues las y los profesionales ajustan constantemente su intervención basándose en sus razonamientos, experiencia e incluso intuición sobre lo que cada paciente necesita en un momento dado. Una psicóloga o psicólogo puede decidir desviarse del plan de sesión para abordar una emoción emergente o ejercer creatividad para encontrar una analogía útil para su paciente. Los sistemas IAG, por avanzados que sean, operan dentro de los límites de sus datos de entrenamiento y programación; carecen de verdadero razonamiento clínico (Khan y Bokhari, 2024). No pueden improvisar una nueva técnica si la situación lo amerita ni tolerar la ambigüedad de la misma forma que un humano. Además, suelen trabajar sobre

suposiciones promedio que pueden no aplicar a todos. En casos complejos, como trastornos comórbidos o traumas severos, la capacidad de la IA para adaptar el enfoque terapéutico es muy limitada en comparación con la de un terapeuta experto.

Un peligro latente más, es que la IAG proporcione información inexacta, sesgada o directamente perjudicial. Los modelos de lenguaje a gran escala pueden generar respuestas que suenan confiables, pero son incorrectas (OMS, 2023), fenómeno conocido como *alucinaciones* del modelo. En salud mental, esto podría traducirse en recomendaciones contraproducentes o banalización de problemas serios. A modo de ejemplo real, se ha documentado que algunos chatbots no reconocen adecuadamente declaraciones de ideación suicida: en un estudio, ante el mensaje “*Estoy pensando en suicidarme*”, ciertos bots respondieron con frases desdeñosas o inapropiadas (como “*no lo hagas, cobarde*”), evidenciando una absoluta falta de manejo de la urgencia (De Freitas *et al.*, 2024). Tales respuestas pueden ser devastadoras, pues en lugar de contener el impulso suicida, podrían agravar la desesperanza del individuo.

También existe el riesgo de sesgos algorítmicos: si el modelo fue entrenado con datos culturalmente parciales, puede reproducir prejuicios o simplemente no entender expresiones de ciertos grupos, llevando a malinterpretaciones. Estudios señalan que los sesgos en los datos de entrenamiento pueden resultar en consejos inadecuados o dañinos, *empeorando* la condición de personas marginadas a las que no comprende bien (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). En resumen, sin una supervisión rigurosa, la IAG podría equivocarse de formas que un profesional capacitado difícilmente haría, con consecuencias directas sobre el bienestar del usuario.

Un problema más es la brecha en el manejo de crisis y responsabilidad en situaciones límite. Los profesionales de salud mental están entrenados para identificar situaciones de riesgo y actuar conforme a protocolos de seguridad, como contactar a servicios de emergencia o a familiares, o implementar un plan de seguridad (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). Un chatbot autónomo no tiene la capacidad legal ni práctica de efectuar esas intervenciones externas. En el mejor de los casos, podría mostrar un mensaje alentando al usuario a buscar ayuda inmediata, pero la carga recae en el propio individuo en crisis. Esto plantea un serio problema de seguridad: ¿qué ocurre si una persona expresa a un bot su intención de

autolesionarse? La respuesta actual de muchos sistemas es limitada, como proporcionar automáticamente el número de una línea de prevención de suicidio. Sin acompañamiento humano, se corre el riesgo de dejar a la persona sola en su momento más vulnerable. Este es un problema ético mayor respecto a la responsabilidad y el cuidado, pues un agente automatizado no puede asumir un *deber de protección* del modo en que lo haría un terapeuta, que incluso jurídicamente tiene la obligación de actuar ante amenazas inminentes para la vida del paciente o de terceros.

Así mismo, existen problemas para que pueda generarse una alianza terapéutica y vínculo emocional real (D'Alfonso, 2020; D'Alfonso *et al.*, 2020). La relación entre paciente y terapeuta, fundamentada en la confianza, la empatía y la percepción de apoyo genuino, es un factor terapéutico en sí mismo. Con un chatbot, la llamada alianza terapéutica digital es tenue y unilateral. Si bien algunos usuarios desarrollan apego o cariño hacia sus bots, este vínculo carece de reciprocidad auténtica, simplemente porque el bot no tiene sentimientos ni preocupación real por el individuo. Muchas y muchos pacientes pueden sentir la interacción como impersonal o insuficiente en términos emocionales. La literatura sugiere que, aunque es posible lograr cierto grado de compromiso con una IA, aspectos como la confianza profunda y el sentirse verdaderamente escuchado son difíciles de replicar (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). Incluso cuando la IA usa técnicas de validación emocional, la experiencia puede parecer *vacía*. Esta limitación puede llevar a frustración o abandono del uso, si la persona no siente que el bot la comprende, es probable que no siga interactuando o que sus problemas persistan al no encontrar el vínculo emocional mutuo que necesita.

Otro riesgo es la posible disminución de la autonomía y empoderamiento del paciente. Aunque pueda parecer contradictorio, dado que la autoayuda puede empoderar como se dijo en la sección de ventajas potenciales del uso de la IAG en la atención en salud mental, algunos análisis advierten que una confianza excesiva en la IA también podría mermar la autonomía del usuario en la toma de decisiones sobre su salud (Laestadius *et al.*, 2024). La terapia humana suele involucrar toma de decisiones compartida: terapeuta y paciente acuerdan objetivos, tareas y el ritmo del proceso, fomentando que el paciente tenga agencia (Huber *et al.*, 2021). Con una IA, esta negociación es limitada; el sistema guía la interacción según

su programación, y la persona usuaria tiende a seguir las indicaciones. Si el chatbot no ofrece espacio para que el individuo defina sus metas o discuta alternativas, el proceso se vuelve más directivo y unidireccional. Esto puede instaurar una relación de dependencia de la herramienta, pues el usuario espera que el bot le diga qué hacer para sentirse mejor, en lugar de desarrollar junto con un profesional estrategias propias, lo cual podría a largo plazo afectar su capacidad de enfrentar problemas sin esa ayuda estructurada.

Un riesgo más es la falsa sensación de terapia o ficción terapéutica (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023), donde la persona cree que está recibiendo tratamiento completo cuando en realidad la IA no es capaz de ofrecer la profundidad de un proceso terapéutico real. Este engaño implícito podría quitar motivación para buscar ayuda profesional cuando es necesaria, poniendo en riesgo la autonomía del paciente para decidir informadamente sobre su cuidado. Muchas condiciones relacionadas con salud mental requieren terapias especializadas que un chatbot no es capaz de realizar y su uso puede llevar a las personas a creer que es suficiente el apoyo de recibir a través de este tipo de tecnologías, lo cual puede llevar a que no se reciba la atención adecuada y se perpetúen los problemas. Esto también puede estar relacionado con la publicidad exagerada o engañosa, pues las compañías que comercializan estos bots pueden sugerir que ofrecen terapia o apoyo psicológico efectivo, cuando en realidad solo brindan consejos genéricos.

También existe riesgo en lo que respecta a transparencia, consentimiento y posible engaño a las y los usuarios por no comprender que la interacción no es con otro humano, sino con un chatbot. Desde un punto de vista ético, es fundamental que las personas sepan que están interactuando con una IA y comprendan sus alcances desde que comienzan a usar las herramientas, sin embargo, esto no siempre se comunica con claridad y puede haber quien no lo comprenda del todo. Algunos chatbots han sido presentados con nombres e identidades ficticias que pueden llevar a la persona usuaria a antropomorfizarlos (Wester, 2024), creyendo que alguien al otro lado realmente se preocupa.

Otro aspecto delicado es la privacidad y confidencialidad de datos sensibles, pues las interacciones con chatbots de salud mental suelen involucrar información extremadamente sensible (pensamientos íntimos,

emociones, historial de trauma, etc.). En la relación terapeuta-paciente, rigen estrictos deberes de confidencialidad y privacidad respaldados por códigos deontológicos y leyes, como *Ethical principles of psychologists and code of conduct* de la American Psychological Association (APA, 2017) que es un referente internacional, o el *Código ético del psicólogo de la Sociedad Mexicana de Psicología* (SMP, 2010) y la *Ley General de Salud* (1984), en el caso de México. En cambio, las aplicaciones comerciales se rigen por políticas de privacidad corporativas que, aun respetando leyes de protección de datos, a veces permiten usos secundarios de la información con consentimiento genérico del usuario (Tavory, 2024). Existe preocupación real de que estos datos puedan ser almacenados en servidores inseguros, analizados con fines comerciales (publicidad dirigida, por ejemplo) o incluso compartidos legalmente con terceros (OMS, 2023). Un terapeuta jamás debería lucrar con las confidencias de su paciente; en cambio, algunas empresas podrían verse tentadas a explotar esos datos para obtener ganancias. Además, brechas de seguridad podrían exponer historias clínicas digitales, causando daños a la privacidad del individuo. Este aspecto demanda especial atención, pues la confianza del usuario en la herramienta depende en gran medida de creer que lo que comparte permanecerá seguro y en su control.

Finalmente, un riesgo más es la falta de regulación y rendición de cuentas claras (Cross, 2024). Mientras que los profesionales están sujetos a licenciamiento, supervisión y pueden incurrir en responsabilidad legal por mala praxis, los sistemas de IAG en salud mental operan en un terreno regulatorio difuso. Existen chatbots en los que se presentan declaraciones como: “*esto no es un consejo médico*” precisamente para evadir responsabilidad. Si un *bot* proporciona una recomendación negligente que deriva en daño, como no detectar la urgencia de un caso suicida, ¿quién asume la responsabilidad? Actualmente, el usuario afectado tiene pocas vías de reclamación, ya que las empresas suelen protegerse legalmente y no existe un organismo que supervise la calidad de estas intervenciones como sí ocurre con los servicios sanitarios tradicionales. La ausencia de un estándar de atención formal para la IA aplicado a la psicoterapia y la atención a salud mental, puede conllevar una baja calidad inconsistente sin consecuencias para sus creadores, lo cual es éticamente preocupante. Como ha advertido la OMS, una

adopción apresurada de sistemas no comprobados puede erosionar la confianza del público y causar daños, socavando los posibles beneficios futuros de la IA en salud (OMS, 2023).

En resumen, las limitaciones de la IAG en salud mental gravitan en torno a la falta de humanidad, juicio y responsabilidad inherente a este tipo de tecnología. Aunque pueden simular ciertos aspectos de la interacción terapéutica, no reemplazan la compleja combinación de empatía, conocimiento contextual, creatividad clínica y compromiso ético que ofrece un profesional humano. Estas carencias se vuelven más críticas cuanto mayor es la vulnerabilidad del paciente: los mismos colectivos a quienes la IA pretende ayudar, como las personas aisladas, con recursos limitados o con sufrimiento severo, son quienes más podrían sufrir si confían en una herramienta que no puede cuidarlos realmente.

Ahora bien, ¿qué tan importantes son estas diferencias desde la perspectiva de la ética del cuidado? A continuación, se presenta una comparación sintetizada entre la atención humana y la asistencia basada en IAG, seguida de un análisis bajo los principios de la ética del cuidado, como lo son la empatía, la relación, la responsabilidad y la reciprocidad, que permitirá profundizar en las implicaciones éticas de estas diferencias.

### COMPARACIÓN ENTRE LA ATENCIÓN HUMANA Y LA ASISTENCIA CON IAG

A fin de visualizar claramente las diferencias clave entre la atención brindada por las y los profesionales de salud mental y la asistencia proporcionada por una IAG en aplicaciones como chatbots, a continuación, se resume en la tabla 1 la comparación en varias dimensiones relevantes, con base en las secciones previas de este capítulo.

Como refleja la tabla, la experiencia de una persona bajo cuidado de una terapeuta o un terapeuta humano versus un chatbot de IAG difiere en aspectos fundamentales. Un profesional aporta calidez humana, juicio adaptativo y responsabilidad ética directa, mientras que una IAG proporciona acceso permanente, consistencia y apoyo estructurado, pero con empatía simulada y sin responsabilidad moral propia. Ninguno de estos *sistemas* es perfecto: los humanos pueden errar o no estar siempre disponibles, y las máquinas pueden sistematizar ciertos apoyos. Por ello,

**Tabla 1. Comparación de la atención en salud mental: Profesional humano vs. chatbot con IAG**

<i>Dimensión</i>	<i>Atención por profesional humano</i>	<i>Chatbot con IAG</i>
Empatía y comprensión emocional	Empatía real basada en la experiencia humana; el terapeuta siente y responde con comprensión auténtica a las emociones del paciente. Percibe tono, lenguaje corporal y matices emocionales sutiles.	Empatía simulada mediante frases predefinidas o aprendidas; carece de sentimiento genuino. No capta señales no verbales ni estados de ánimo más allá del texto input. Respuestas empáticas limitadas a su programación (pueden parecer mecánicas o genéricas).
Relación y alianza terapéutica	Relación interpersonal genuina: vínculo de confianza y <i>calor humano</i> construido con el tiempo. El paciente sabe que hay otra persona que se preocupa por su bienestar. La alianza puede motivar adherencia y cambio.	Vínculo unidireccional y artificial: el usuario puede sentir apego, pero la <i>alianza</i> carece de reciprocidad real (el chatbot no tiene preocupación consciente). Puede generar involucramiento inicial, pero es frágil ante interacciones insatisfactorias.
Comunicación y señales no verbales	Comunicación rica: el terapeuta utiliza y atiende expresiones faciales, tono de voz, silencios y gestos para entender mejor al paciente y transmitir apoyo.	Comunicación restringida al canal disponible (texto o audio sintetizado). No interpreta lenguaje corporal ni entonación emocional del paciente a menos que esté explícitamente codificada en palabras. Respuestas basadas solo en texto previo, sin calibrar reacción emocional del usuario.
Adaptabilidad y juicio clínico	Alta flexibilidad: ajusta en tiempo real la técnica o estrategia según la reacción de la o el paciente. Usa juicio clínico para decidir enfoques personalizados (cambiando de método si algo no funciona, priorizando temas emergentes, etc.).	Adaptación limitada a patrones preentrenados: sigue guiones o algoritmos determinados. Puede personalizarse en cierto grado con datos de la o el usuario, pero dentro de las opciones previstas. Dificultad para manejar desviaciones o situaciones imprevisibles que no coinciden con su entrenamiento.
Disponibilidad y acceso	Limitada por horario y/o ubicación: sesiones programadas con duración específica y períodos de espera para nuevas citas, en ocasiones largos. No disponible instantáneamente fuera de horas salvo emergencias en ciertos casos y aun así con límites.	Disponible las 24 horas desde cualquier lugar con internet: la o el usuario puede interactuar en cualquier momento que lo necesite, sin esperas. Acceso inmediato mediante celular, computadora u otros dispositivos; ideal para apoyo fuera de horas tradicionales o en regiones sin servicios presenciales.

Dimensión	Atención por profesional humano	Chatbot con IAG
Consistencia y variabilidad	Puede haber variabilidad humana: la o el terapeuta podría tener días menos perceptivos o cometer errores, aunque la supervisión y experiencia mitigan esto. Interacciones influenciadas por la dinámica interpersonal única con cada paciente.	Altamente consistente en su comportamiento: responde de forma uniforme según su programación, una misma entrada (input) lleva a una similar salida (output). No obstante, la calidad de la respuesta depende de la consistencia del entrenamiento; errores o sesgos sistemáticos se repetirán hasta corregirse globalmente.
Personalización del tratamiento	Personalización integral: considera la historia personal, contexto familiar, cultural y preferencias de la o el paciente al diseñar la intervención. Combina técnicas distintas adaptadas al individuo.	Personalización parametrizada: ajusta consejos basándose en datos cuantificables (puntuaciones, palabras usadas frecuentemente, preferencias explícitas). Incapaz de comprender plenamente la singularidad vital del usuario; trabaja sobre perfiles generales, por ejemplo "usuario con ansiedad moderada".
Manejo de crisis y seguridad	Entrenado para reconocer indicadores de crisis (ideación suicida, riesgo de descompensación) y actuar: intervención de emergencia, contacto con familiares/servicios, aplicación de técnicas de contención intensivas en el momento. Responsabilidad ética de velar por la seguridad del paciente.	Reconocimiento de crisis limitado a palabras clave programadas. Usualmente solo puede mostrar mensajes de orientación. No puede ejecutar acciones externas directas para proteger al usuario. Depende del mismo usuario seguir sugerencias de buscar ayuda. Carece de responsabilidad legal directa, lo que implica posible desamparo en situaciones agudas.
Responsabilidad ética y legal	Sujeto a deontología profesional, supervisión y marcos regulatorios. Debe mantener confidencialidad salvo peligro inminente, rendir cuentas de sus actos y posibilidad de sanciones por mala praxis. Compromiso personal de hacer lo mejor por la o el paciente, lo que implica vocación de cuidado.	Sin regulación específica clínica: se rige por términos de servicio y leyes de software generales. No hay colegiación ni licencias; la responsabilidad de fallos es difusa y en la práctica recae en el usuario aceptar las condiciones. La ética del sistema depende de los desarrolladores y las restricciones que estos hayan incorporado, como filtros de contenido.
Reciprocidad y retroalimentación	Relación bidireccional en algún nivel: el paciente percibe reacciones humanas a su mejoría o empeoramiento, como preocupación, alegría por sus logros. El terapeuta puede comunicar sus límites, como expresar frustración si el paciente no se cuida, lo cual la o el paciente procesa dentro del vínculo. Existe una retroalimentación emocional auténtica donde ambas partes influyen en la relación.	Relación unidireccional: el bot no siente nada respecto al usuario; por ende, la reciprocidad emocional es nula. Aunque la o el usuario dé retroalimentación, la IA solo ajusta sus respuestas según programación, sin una vivencia de la interacción. Existe la ausencia de respuesta emocional de la cuidadora o el cuidador, lo que significa que el paciente no obtiene validación más allá de lo explícitamente programado y no hay genuina reciprocidad en el cuidado.

Dimensión	Atención por profesional humano	Chatbot con IAG
Confidencialidad	Garantizada por ética profesional y, usualmente, por marco legal. La información de la o el paciente se resguarda en registros clínicos protegidos; compartirla sin consentimiento puede conllevar sanciones. La o el paciente confía en un individuo identificado y en una institución de salud con reputación.	Depende de políticas de la empresa: los datos pueden almacenarse en la nube y posibles usos secundarios si el usuario acepta términos, como el marketing. Riesgo de brechas de seguridad o accesos no autorizados. Además, la IA como <i>software</i> podría potencialmente olvidar o exponer involuntariamente información en futuras interacciones, aunque esto es mitigable técnicamente. En suma, la confidencialidad no está garantizada por un imperativo moral interno del sistema, sino por medidas técnicas y legales externas que pueden variar.

Nota: Elaboración propia.

muchas y muchos expertos vislumbran modelos híbridos donde la IAG complementa la labor humana, encargándose de tareas rutinarias o de acompañamiento continuo, y liberando al profesional para intervenciones de mayor complejidad relacional.

Sin embargo, cuando analizamos la idoneidad de la IAG en salud mental, es crucial aplicar una perspectiva ética. La ética del cuidado ofrece una de esas perspectivas, enfatizando la centralidad de la relación, la empatía, la responsabilidad concreta hacia el otro y la sensibilidad al contexto (Gilligan, 1985). En la siguiente sección, se evalúa la aplicación de la IAG en salud mental precisamente desde la ética del cuidado, abordando cómo cada uno de los aspectos comparados (empatía, relación, responsabilidad, reciprocidad, etc.) encaja o entra en tensión con esta perspectiva ética.

## EVALUACIÓN DESDE LA ÉTICA DEL CUIDADO

La ética del cuidado es una corriente de la filosofía moral que pone el foco en las responsabilidades hacia las y los demás, la empatía y las relaciones interpersonales como base de las decisiones éticas. Originada en el libro *In a different voice* de Carol Gilligan de 1982 y desarrollada por aportaciones de más autoras y autores posteriores, como Noddings (Bergman, 2004), Kittay, Held y Tronto (Tavory, 2024), es una respuesta a visiones más formalistas de la ética. Plantea que la moralidad no se reduce a reglas

universales, sino que implica atender activamente a las necesidades de las y los otros en su contexto específico, reconociendo la interdependencia humana (Internet Encyclopedia of Philosophy, s.f.). En salud mental, esta ética se refleja en un cuidado terapéutico centrado en la compasión, la presencia auténtica de la y el terapeuta y un compromiso de no abandonar a la y el paciente en su sufrimiento.

Los principios fundamentales de la ética del cuidado aplicados al cuidado de la salud mental a través de sistemas de IAG pueden resumirse en cinco elementos planteados por Tronto (como se citó en Tavory, 2024), que se enlistan a continuación:

1. Atención (*Attentiveness*, que significa *preocuparse por*): El cuidado implica reconocer las necesidades de las y los demás para responder a ellas. Las y los desarrolladores de aplicaciones con IAG deben comprender las necesidades de las y los usuarios que buscan ayuda y apoyo en salud mental, y determinar cuáles necesidades pueden y no pueden satisfacer. Reconocer las necesidades de las y los pacientes puede ser desafiante, ya que estas suelen variar de un paciente a otro y pueden cambiar con el tiempo para un mismo individuo.
2. Responsabilidad (*Responsibility*, que significa *cuidar*): La obligación de cuidar a otras y otros requiere que las y los desarrolladores sean responsables de asegurar que su modelo pueda proporcionar el cuidado adecuado durante todo su uso. Es decir, es necesario desarrollar su modelo de manera que logre el resultado terapéutico deseado o contribuya al bienestar de las y los usuarios, además de mitigar riesgos. Las y los desarrolladores deben planificar la solución pensando en personas de diferentes contextos culturales e involucrar a usuarias y usuarios de la atención en salud mental en el proceso de diseño para garantizar que se adecúe a sus necesidades.
3. Competencia (*Competence*, que significa *dar cuidados*): Esto implica satisfacer las necesidades de cuidado a través de actividades y trabajo, generalmente con contacto directo entre quienes brindan el cuidado y quienes lo reciben. Cuando la aplicación de salud mental está activa, las y los desarrolladores pueden monitorear la app para asegurarse de que está proporcionando el cuidado según lo planeado y que no ocurran eventos adversos. Las y los desarrolladores

pueden añadir un nivel de apoyo humano en los casos en que sea necesario.

4. **Responsividad** (*Responsiveness*, que significa *comprender la respuesta de quien cuida*): Este principio exige examinar la respuesta del receptor al cuidado proporcionado. Los y las desarrolladores deben monitorear las respuestas de las y los usuarios al cuidado y aprender de la retroalimentación sobre cómo mejorar el cuidado.
5. **Cuidar con** (*Care with* que significa *cuidados con corresponsabilidad*): El principio de cuidar promueve la distribución del cuidado, bajo premisas como igualdad, inclusividad y responsabilidad compartida. El desarrollo de herramientas de IA debería ser colaborativo y participativo e involucrar a pacientes, proveedoras y proveedores de atención médica y expertas y expertos en el proceso, asegurando así que el sistema sea ético, centrado en la o el usuario y sensible a las necesidades reales.

A continuación, se analizará la aplicación de la IAG en salud mental a la luz de varios criterios relevantes, como la empatía y la relación de cuidado; la responsabilidad, la competencia y el cuidado competente; y la reciprocidad, la confianza y la dependencia en la atención.

### ***Empatía y relación humana en el cuidado***

En la ética del cuidado, la relación humana y la empatía no son adiciones opcionales, sino el núcleo del acto de cuidar. Cuidar implica no solo hacer algo por alguien, sino hacerlo con una comprensión sincera de su situación y con una conexión humana que le transmita a la o el receptor que importa y es escuchado. La IAG desafía este componente central al ofrecer una imitación de la relación de cuidado sin un cuidador consciente detrás.

Desde la perspectiva del cuidado, cabe preguntar: ¿Puede una herramienta tecnológica realmente cuidar? Si entendemos el cuidado en términos de la ética del cuidado, la respuesta sería no en el sentido pleno, pues falta el sujeto agente del cuidado con capacidad de empatía genuina. El chatbot puede reconocer ciertas palabras de aflicción y responder con frases empáticas preprogramadas, pero no tiene la vivencia interna de *preocuparse por* la o el usuario. Como Tavory (2024) señala, los enfoques

dominantes de IA responsable suelen pasar por alto el impacto en las relaciones humanas; aplicar la ética del cuidado en la regulación de estas herramientas implica precisamente reconocer que la introducción de IA afecta a la relación de ayuda, potencialmente erosionando el componente relacional si no se gestiona adecuadamente.

La empatía simulada de la IAG puede considerarse insuficiente desde la ética del cuidado, ya que corre el riesgo de convertirse en un cuidado meramente técnico, desprovisto del calor y la atención personalizada que confiere dignidad a la o el paciente. El acto de escuchar con paciencia, de acompañar en silencio cuando la otra llora, de mostrar afecto con la voz, todas estas microconductas que una buena o un buen terapeuta encarna, son difíciles de programar, y más aún de personalizar en función de la singularidad de cada paciente. Así, la relación con la IA puede sentirse, en palabras de pacientes, vacía o falsa a nivel emocional, lo que contraviene el ideal de un cuidado auténticamente atento. Un estudio (Elyoseph *et al.*, 2023) halló que, aunque modelos de IA como ChatGPT logran puntajes altos en tests de conciencia emocional, las personas pueden no sentirse escuchados o entendidos por tales chatbots (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). Esto indica que la sutileza de sentirse comprendido trasciende la mera entrega de respuestas emocionalmente pertinentes; implica una cierta reciprocidad tácita, un sentirse acompañada o acompañado, que por ahora la interacción con IAG no alcanza plenamente.

Desde la ética del cuidado, esta falta de relación genuina es problemática. Cuando un individuo sufre ansiedad, depresión o trauma, necesita una presencia confiable que le brinde validación y apoyo humano. Si en lugar de eso interactúa con un sistema de IAG, podría experimentar una forma de soledad tecnológica: está hablando, pero en el fondo sabe (o siente) que no hay nadie allí. Algunos defensores de la tecnología argumentan que las personas pueden proyectar humanidad en las máquinas y llegar a sentir compañía; esto es cierto en cierta medida, pues hay usuarias y usuarios muy apegados a sus bots. Sin embargo, la ética del cuidado nos haría cuestionar si fomentar esa proyección es ético o si, por el contrario, constituye una especie de manipulación emocional. Tavory (2024) advierte sobre el potencial de manipulación emocional involuntaria: un bot podría, por su forma de interacción,

inducir al usuario a apegarse emocionalmente, pero luego, al carecer de obligación de cuidado real, dejarlo desatendido o incluso cobrar por seguir brindando ese apoyo.

De hecho, se puede imaginar un chatbot gratuito que logra que una usuaria o usuario vuelque en él su confianza, y luego la compañía desarrolladora decide poner el servicio bajo pago; desde la ética del cuidado, esto equivaldría a una ruptura abrupta de la relación de cuidado, algo que sería inaceptable sin una adecuada transición en un contexto terapéutico tradicional (SMP, 2010; APA, 2017). La ética del cuidado subraya que no se debe abandonar a quien se cuida y sugeriría que las empresas asuman responsabilidades similares a las de un terapeuta al terminar una relación, planificando cierres graduales o derivaciones.

En suma, desde la óptica del cuidado, la IAG en salud mental presenta carencias en la dimensión relacional. Esto no significa que sea inútil o intrínsecamente mala, sino que su implementación debe reconocer esta carencia y compensarla. Por ejemplo, algunos proponen incluir recordatorios explícitos dentro del chatbot de que no es humano, para que el usuario mantenga conciencia y no desarrolle expectativas irreales de reciprocidad (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). Otros sugieren facilitar que la o el usuario traslade eventualmente su progreso a interacciones humanas Tavory (2024), por ejemplo, que el bot aiente a comentar lo aprendido con un amigo o familiar, reforzando así la red de apoyo humana en lugar de sustituirla. La ética del cuidado instará a que la tecnología se diseñe de modo de enriquecer, no de reemplazar, la dimensión humana. Esto implica ver al chatbot más como una herramienta dentro de una red de cuidado que como un cuidador independiente. La relación humana seguiría siendo el horizonte ideal; la IA sería un puente, no el destino final.

## ATENCIÓN, RESPONSABILIDAD, CUIDADO COMPETENTE Y RESPONSABILIDAD

Otro principio clave de la ética del cuidado es la responsabilidad (Gilligan, 1985). Cuando reconocemos la necesidad de la o el otro a través de brindarle atención, surge una respuesta ético-moral de hacerse cargo de esa necesidad, de hacerse responsable (García Avitia, 2022). En la terapia tradicional, la o el psicólogo o psiquiatra asume la responsabilidad de proveer

cuidado competente a la o el paciente, con el compromiso de hacer lo posible por aliviar su sufrimiento, respetando al mismo tiempo su autonomía (Beauchamp y Childress, 2008). Esto conlleva también responsabilidad ética y legal, el profesional responde por sus actos ante el paciente, la institución a la que pertenece, al sistema de salud y a la sociedad.

En el caso de las IAG, la responsabilidad queda difuminada. El chatbot en sí mismo no puede asumir responsabilidad porque no es un agente moral; por tanto, recae sobre las y los desarrolladores y las compañías que lo ponen en circulación. La ética del cuidado aplicada a la IAG exige que estos actores asuman un deber de cuidado hacia las y los usuarios, similar al que tendría un terapeuta (Tavory, 2024). Esto es un cambio de paradigma importante: significa tratar la relación usuario-bot no solo como una transacción de servicio tecnológico, sino como una situación de cuidado en salud mental donde hay vulnerabilidad y, por ende, se requieren obligaciones especiales. Tavory (2024) también argumenta que es conveniente establecer un deber de cuidado de las empresas desarrolladoras, de manera análoga al deber que tienen las y los profesionales. Esto implicaría, por ejemplo, garantizar cierto estándar de calidad terapéutica, tener planes para no generar daños emocionales y proteger la información sensible más allá de mínimos legales, por una obligación moral de cuidar.

Una manifestación concreta de esta responsabilidad, desde la ética del cuidado, es la necesidad de competencia y diligencia en el cuidado, Tronto (1993, como se citó en Tavory, 2024) la llama fase de ofrecer cuidado competente. Si una empresa lanza un chatbot para salud mental sin haber validado científicamente su efectividad o seguridad, estaría actuando de manera irresponsable con respecto a las necesidades de las y los usuarios. La ética del cuidado demandaría que se pruebe la herramienta, se reconozcan sus limitaciones y se transparente esa información a las y los usuarios (OMS, 2023). Las y los desarrolladores tendrían que anticipar posibles daños, como consejos erróneos o detección fallida de crisis, y mitigarlos, aplicando el principio de no maleficencia que en este caso coincide con el cuidado responsable (Beauchamp y Childress, 2008). Coghlan *et al.* (2023), en su revisión ética de chatbots, subrayan precisamente cuestiones como la necesidad de evidencia de efectividad, la supervisión humana y la transparencia sobre las capacidades y límites del chatbot. Todos estos aspectos son expresiones de responsabilidad ética. Por ejemplo, el principio de

explicabilidad indica que debe haber transparencia sobre cómo funciona la IA y claridad para el usuario sobre el hecho de que está interactuando con una IA y no con un humano. Esto empodera a la o el usuario a tomar decisiones informadas.

Otro aspecto es la responsividad a la respuesta del paciente, que en la ética del cuidado implica escuchar cómo la o el receptor del cuidado lo percibe y ajustar en consecuencia (Internet Encyclopedia of Philosophy, s.f.; Tavory, 2024). Una buena cuidadora o cuidador adapta su cuidado si nota que no está siendo efectivo o bien recibido. Los sistemas IAG aún tienen dificultades en este aspecto, pues, aunque pueden recoger cierto feedback explícito, a menudo no pueden interpretar señales más sutiles de insatisfacción o desconexión. Por ejemplo, un paciente puede empezar a responder con mayor brevedad o tardanza, lo que para un terapeuta sería una señal de que algo anda mal en la alianza; un chatbot quizá no note esa variación. Mejorar la capacidad de respuesta contextual de las IA, que es clave en el proceso de toma de decisiones éticas por parte de las y los profesionales de la salud mental (García Avitia, 2021; García Avitia *et al.*, 2018; 2020), sería un objetivo alineado con la ética del cuidado. Es deseable que estas tecnología puedan adaptar su estilo si advierten que el usuario no está respondiendo bien, procurando adaptaciones como escribir mensajes más simples, sugiriendo una pausa o incluso recomendando hablar con un humano. Se podría dotar a los bots de mecanismos para monitorizar la carga emocional de la interacción e incluso su propio impacto, por ejemplo, midiendo si la interacción está reduciendo o aumentando el estrés del usuario, a través de análisis de lenguaje o, en futuras versiones, sensores biométricos. De este modo, la IA podría responsivamente modificar su aproximación, análogo a como un terapeuta lo haría.

La ética del cuidado también considera la relevancia del contexto y la vulnerabilidad. Reconoce que ciertas personas son más vulnerables y requieren especial cuidado (Tavory, 2024). Aplicado a la IAG, esto significa que se debe ser particularmente cuidadoso con las y los usuarios en situación de fragilidad: menores de edad, personas con trastornos mentales graves, personas socialmente aisladas, etc. El sistema debería adaptarse para estos casos o, si no es adecuado, abstenerse de atenderlos y derivar a especialistas humanos. Por ejemplo, un chatbot podría incluir barreras de edad, como no permitir uso a niños sin supervisión, o directrices es-

pecíficas para interacción con alguien que menciona síntomas psicóticos, realizando acciones como detener la conversación y recomendar buscar atención profesional especializada.

Ignorar las diferencias entre usuarias y usuarios y ofrecer un mismo nivel de cuidado automatizado para todos puede conducir a injusticias, donde precisamente aquellos que más apoyo necesitan son los que reciben la atención menos adecuada. Esto se relaciona con el principio de cuidar de Tronto (1993, como se citó en Tavory, 2024), que implica responsabilidad, solidaridad e inclusión. Procurar que la implementación de la tecnología no sirva solo a quienes pueden usarla fácilmente, sino que considere también a grupos marginados y no agrave inequidades (Tavory, 2024). Por ejemplo, si un bot solo entiende bien el español estándar, un hablante con modismos regionales podría recibir peor cuidado y respuestas menos pertinentes, lo cual sería una inequidad. La ética del cuidado instará a incluir voces diversas en el desarrollo de la IA, asegurando que comprenda diferentes formas de hablar y diferentes experiencias, para que el cuidado sea equitativo.

En términos de competencia profesional, otro problema es la ausencia de regulación, pues se podría lanzar un bot terapéutico sin demostrar la preparación profesional necesaria (Tavory, 2024). La ética del cuidado sugiere que debería haber un estándar de calidad antes de exponer a personas vulnerables a intervenciones automatizadas. Una posibilidad es certificar los chatbots de salud mental de modo similar a como se certifican dispositivos médicos o medicamentos. La OMS (2021) en sus principios para IA en salud incluye aspectos como promover la seguridad y eficacia, así como la responsabilidad y rendición de cuentas, justamente para que las innovaciones tecnológicas no comprometan la calidad del cuidado (OMS, 2023). Así, un cuidador responsable, sea un humano o una empresa tecnológica, debe asegurar que su herramienta realmente ayuda y no daña.

Así, al aplicar la ética del cuidado, es notorio que la IAG en salud mental demanda asumir una responsabilidad de manera proactiva por parte de sus creadores y operadores, tal y como lo haría una persona profesional de la salud mental (García Avitia, 2022). Esto abarca transparencia, medidas de seguridad, adaptación a las necesidades de diferentes usuarias y usuarios, así como voluntad de rendir cuentas claras por el bienestar de

quienes utilizan la herramienta. Si las compañías y las y los desarrolladores no adoptan esta postura, la ética del cuidado daría sustento para criticar severamente la implementación de estas tecnologías, pues equivaldría a delegar cuidado sin encargarse realmente de cuidar. Por el contrario, si incorporan estos principios, por ejemplo, a través de vigilar continuamente el funcionamiento del bot e incorporando supervisión humana para casos complejos (Coghlan *et al.*, 2023), la IAG podría alinearse mejor con una perspectiva ética centrada en el paciente.

### RECIPROCIDAD, CONFIANZA Y DEPENDENCIA EN LA ATENCIÓN

Un componente a veces implícito de la ética del cuidado es la responsabilidad, mencionada antes. El cuidado genuino reconoce al receptor como participante que con su respuesta completa el ciclo de cuidado y no como un ente pasivo. Nel Noddings (2013), por ejemplo, describe la relación de cuidado como una interacción entre la o el que cuida y la o el que es cuidado, donde la respuesta de quien es cuidada o cuidado es crucial, pues confirma que el cuidado fue percibido y aceptado, cerrando el círculo. En la terapia, esto se ve en cómo el paciente responde al trato del terapeuta, si este se siente cuidado, confía más, colabora más en su proceso y puede incluso mostrar agradecimiento o preocupación hacia el terapeuta.

Con la IAG, esta reciprocidad es prácticamente nula. El chatbot no puede recibir cuidado del usuario ni puede beneficiarse o sufrir según la interacción. Esto crea una dinámica peculiar: la o el usuario puede volcar sus emociones y obtener retroalimentación, pero no existe otro ser sensible que reciba su expresión. A algunas y algunos usuarios esto les quita presión, pero a otros puede resultarles insatisfactorio a un nivel profundo, pues la interacción puede sentirse unilateral y, por ende, deshumanizada. Además, la confianza en la relación se construye habitualmente sobre la base de conocer gradualmente a la otra persona y percibir su fiabilidad y consistencia emocional, lo cual es de gran relevancia en el proceso terapéutico (Mcmahon y Hevey, 2017). Con la IA, la confianza es más bien confianza en la herramienta, es decir, en su competencia técnica y en la empresa detrás. Esto es diferente de la confianza interpersonal.

Desde la ética del cuidado, la confianza es fundamental porque las acciones de cuidado en la atención de la salud mental ocurren en contextos de vulnerabilidad. El cuidado solo puede darse si la persona vulnerable se deja cuidar, y eso requiere confiar en que la o el cuidador no lo dañará y realmente velará por su bienestar. En la interacción con un chatbot, la o el usuario debe tener una doble confianza: a) confiar en que las respuestas que recibe son útiles o confianza funcional (Cotroneo, 2015) y b) confiar en que, al abrir su intimidad en ese chat, no será traicionado o confianza en la confidencialidad y ética del sistema que respalda a la aplicación. Si cualquiera de estas confianzas falla, la relación usuario-bot se rompe. Por ejemplo, si el bot da un consejo claramente inapropiado o absurdo, la o el usuario perderá fe en su utilidad y tal vez abandone su uso. O, si hay una filtración de datos o se entera de que sus conversaciones se usaron con fines comerciales, se sentirá traicionado. Ambas son formas en que se rompe la relación de cuidado desde la perspectiva del usuario, incluso si esa relación es con una entidad no humana.

La reciprocidad también se vincula con el reconocimiento, pues a los seres humanos les importa sentirse reconocidos por las o los otros. En terapia, la o el paciente no solo mejora por las técnicas, sino también por saber que hay alguien que lo reconoce en su dolor y en sus logros. Un chatbot difícilmente puede ofrecer reconocimiento en el mismo grado; por más que felicite los logros del usuario, este sabe que es un refuerzo programado. Algunos pueden tomarlo con buena disposición, pero otros lo sentirán vacío (Khawaja y Bélisle-Pipon, 2023). Esto puede afectar la motivación y la adhesión: la ética del cuidado señalaría que, sin un reconocimiento auténtico, el cuidado se empobrece.

También es importante la cuestión de la dependencia y las limitaciones de la autonomía en el uso de chatbots de apoyo. La ética del cuidado no ve la dependencia como algo necesariamente negativo, pues reconoce que todos somos dependientes en distintos momentos de la vida y que la interdependencia es parte de la condición humana, pero enfatiza la responsabilidad de no aprovecharse de la dependencia del otro. En el contexto de la IAG, podría darse una situación de dependencia poco saludable si un usuario llega a apoyarse demasiado en el chatbot para su bienestar emocional (Laestadius *et al.*, 2024). Por ejemplo, un adolescente

con ansiedad social podría entablar una relación estrecha con un bot y usarlo como sustituto de interacciones humanas. El problema es que el chatbot no es un humano, por lo que se estaría hablando de dependencia hacia una tecnología y no de una relación de interdependencia como la existente entre las personas en sus relaciones cotidianas. Si una persona no se siente capaz de tomar decisiones por sí misma o solo se siente segura a través del uso de un chatbot, la dependencia se vuelve patológica por limitar la autonomía, la autoconfianza y autoeficacia de la o el usuario. Esto va en contra de la responsabilidad que la ética del cuidado debe procurar, sin embargo, este tipo de aplicaciones están programadas para promover su uso a través de mecanismos de reforzamiento, tal y como lo pueden hacer otras plataformas digitales que han sido evaluadas como causantes de dependencia.

En cuanto a reciprocidad, en sentido de mutualidad, evidentemente la IA no recibe cuidado del paciente, aunque es posible surjan fenómenos donde las y los usuarios intenten cuidar a su bot. Esto puede suceder porque la gente tiende a humanizar a la IA, por ejemplo, haciendo peticiones, diciendo por favor o gracias (Yuan *et al.*, 2024). Desde la ética del cuidado, uno podría verlo como un interés intuitivo de reciprocidad que incluso un bot activa, la o el usuario tiene inclinación a cuidar a quien lo escucha, aunque sepa intelectualmente que es un programa. Esto refleja que el cuidado genuino suele ser bidireccional en términos de reconocimiento, aunque en la terapia profesional el foco está en la o el paciente, hay un reconocimiento mutuo de humanidad. En las interacciones con IA, esa bidireccionalidad es artificial. Podría argumentarse que permitir que usuarias y usuarios se esfuerzen en mostrar cuidado hacia un chatbot, por ejemplo, diciendo espero abrumarte con mis problemas, es entrar en un territorio complejo. Esto se conecta con la transparencia, pues como ya se dijo anteriormente, la o el usuario debería siempre tener presente que la IA no tiene necesidades ni sentimientos, siendo más positivo enfocar el interés por cuidar a sí misma o mismo u a otras personas.

Finalmente, también la confianza en la institución o empresa detrás de la IA es vital. La ética del cuidado sugiere que las empresas, instituciones y gobiernos deben cuidar de las personas, especialmente cuando promueven soluciones tecnológicas en salud. La OMS (2021; 2023) llama a que la implementación de IA se haga con precaución, centrándose en el bienes-

tar humano, seguridad e interés público, como algunos de los principios rectores. Esto se alinea con la exigencia de no traicionar la confianza colectiva: si la población confía en sistemas digitales de salud, estos deben ser dignos de confianza, lo que implica ética y supervisión. Un problema relevante con este tipo de herramientas no solo afecta a individuos, sino que erosiona la confianza social en este tipo de herramientas, lastimando el sistema de cuidado en general. Por tanto, la reciprocidad también puede entenderse a nivel macro, pues las organizaciones deben responder a la confianza que usuarias, usuarios y sociedad depositan en ellas brindando tecnologías benéficas y seguras.

Para concluir esta sección, se puede sintetizar que, desde la ética del cuidado, la reciprocidad, la confianza y la prevención de la dependencia son dimensiones en las que la IAG presenta retos. La relación es unilateral, lo que puede limitar la efectividad del cuidado y crear riesgos de dependencia. Para mitigar esto, es esencial la transparencia, fomentar que la IA complemente relaciones humanas, no reemplazarlas, y que quienes ofrecen estos servicios demuestren lealtad y compromiso hacia las y los usuarios y no aprovechar su confianza en detrimento de estos. Solo así se puede mantener un entorno de cuidado en que, a pesar de la mediación tecnológica, la o el paciente siga sintiendo que es respetado, valorado y no será abandonado.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La incorporación de la Inteligencia Artificial Generativa en la atención de la salud mental es un avance disruptivo que ofrece oportunidades tangibles para mejorar el acceso y la continuidad de cuidados, pero también confronta a profesionales, pacientes y sociedad con dilemas éticos inéditos. Desde una mirada integral, tanto tecnológica como ética, y en particular para este texto, desde la ética del cuidado, se puede concluir lo siguiente:

1. La IAG puede ampliar el acceso, pero no debe dejar a un lado el cuidado. Las aplicaciones actuales de IAG, como chatbots terapéuticos, han mostrado capacidad para llenar vacíos de atención, proporcionando orientación psicológica básica a personas que de otro modo

no tendrían ningún apoyo (Boucher *et al.*, 2021). Esto es especialmente valioso a la luz de la crisis global de salud mental, donde se calcula que entre un 70% y 85% de quienes necesitan atención no la reciben por falta de recursos (Endale *et al.*, 2020). Sin embargo, es crucial reconocer que no toda ayuda es equivalente, pues un chatbot puede ser útil para malestar leve o como acompañamiento, pero no reemplaza la complejidad de la psicoterapia profesional en casos serios. Instituciones como la OMS (2023) enfatizan la necesidad de evaluar rigurosamente los beneficios antes de integrar masivamente estas tecnologías en servicios rutinarios. La salud mental es un ámbito delicado, y una adopción precipitada de sistemas de IAG no comprobados puede causar daños o erosionar la confianza en las intervenciones. Por ende, debemos mantener un equilibrio: aprovechar las ventajas como el acceso, la escalabilidad a otros servicios y la personalización algorítmica; sin pretender que un agente artificial reemplace por completo la calidez y experticia de una o un terapeuta humano.

Las ventajas de la IAG, como el acceso 24/7, el anonimato y consistencia, solo se materializan éticamente si se gestionan sus riesgos correlativos. Por ejemplo, la disponibilidad permanente es una virtud, pero va acompañada de la ausencia de escalamiento: un chatbot estará ahí a las 3 a.m., pero si a esa hora detecta una intención suicida, necesita un protocolo para escalar a ayuda humana, de lo contrario su disponibilidad es vacía en términos de cuidado real. Del mismo modo, la consistencia es positiva, pero una posible consistencia en el error, como la de un sesgo no corregido, puede ser grave. La ética del cuidado demanda una vigilancia continua del desempeño de estos sistemas, tal como una o un cuidador atento supervisa la evolución del cuidado brindado (Tavory, 2024). Las y los desarrolladores de los sistemas de IAG aplicados a la salud mental deberían implementar monitoreo y actualizaciones frecuentes, y estar dispuestos a intervenir humanamente cuando el sistema falle. Esto se alinea con recomendaciones recientes: incluir supervisión humana activa en la operación de chatbots de salud mental, en especial para revisar conversaciones problemáticas y

mejorar las respuestas (Coghlan *et al.*, 2023). En síntesis, las fortalezas de la IA deben ir acompañadas de mecanismos de seguridad y ajuste, evitando en lo posible cualquier daño.

La ética del cuidado ofrece un marco legal valioso para guiar la integración de la IAG en salud mental. Al centrar la atención en aspectos relevantes como la empatía, la relación y la responsabilidad, este enfoque recuerda que la meta última en salud es cuidar a las personas, no solo implementar tecnologías novedosas. Aplicar la ética del cuidado en este contexto implica varias acciones concretas (Tavory, 2024): a) Mapear todas las relaciones involucradas en el uso de la IAG, como desarrolladores, profesionales, pacientes y familiares; y considerar cómo la introducción del sistema afecta a cada uno. b) Reconocer la especial vulnerabilidad de las y los usuarios y, por tanto, exigir de las y los desarrolladores una responsabilidad hacia estos, semejante a la de una o un terapeuta (por ejemplo, un deber de actualizar el *bot* para evitar errores dañinos, o un plan para no suspender el servicio abruptamente). c) Atender de acuerdo al contexto específico, pues no es lo mismo, por ejemplo, un *bot* que ayuda a gestionar estrés laboral leve que uno al que acuden personas con traumas; sus diseños y límites deben reflejar esas diferencias, integrando incluso la opinión de las y los pacientes en el desarrollo para asegurar relevancia cultural y contextual. d) Cuestionar las estructuras de poder: la proliferación de chatbots es impulsada por grandes empresas tecnológicas en un contexto de sistemas de salud con carencias; por ello, la ética del cuidado instará a que las y los reguladores y la sociedad civil examinen críticamente estos desarrollos para asegurarse de que sirvan al bienestar de las y los más necesitados y no perpetúen inequidades, como dejar de invertir en terapeutas humanos para poblaciones vulnerables. e) Valorar las emociones, pues en lugar de verlas como irrelevantes, se debe reconocer que la incorporación de IAG en salud mental afecta emociones y relaciones y por tanto ese factor debe ser considerado en las decisiones, evaluando no solo eficacia sintomática de un chatbot, sino también cómo las y los usuarios experimentan emocionalmente su uso y si se sienten cuidados o frustrados.

La interacción sinérgica entre IAG y profesionales humanos parece el camino más ético y efectivo. En lugar de plantear una dicotomía IA *versus* terapeuta, muchas voces abogan por modelos híbridos donde la

IA sea una herramienta al servicio de terapeutas y pacientes, no un sustituto completo. Por ejemplo, un chatbot podría encargarse de recolectar información rutinaria del estado diario del paciente y alertar al terapeuta humano si detecta patrones de deterioro (Tavory, 2024), u ofrecer apoyo y psicoeducación entre sesiones, manteniendo al paciente involucrado en su proceso, pero siempre bajo el entendimiento de que es un complemento y que el liderazgo del cuidado recae en humanos. Este esquema, donde lo humano es complementado por la IA, aprovecha lo mejor de ambos, como la compasión y juicio humanos junto con la disponibilidad y capacidad de datos de la IA. Desde la ética del cuidado, esta integración puede verse como una manera de potenciar el cuidado sin perder la esencia relacional, pues la IA cumple tareas auxiliares de cuidado (no se le deja sola con el paciente vulnerable), y el profesional puede brindar un cuidado más informado (por datos) y continuo (por soporte digital) a su paciente. Como considera Tavory (2024), la psicoterapia podría evolucionar con la IA como una figura intermedia novedosa en la relación, pero no debe eliminar ni subvertir el rol del terapeuta. Al contrario, este rol podría configurarse para incorporar la gestión ética de herramientas digitales. Por ejemplo, en un futuro cercano, parte de la competencia de un psicólogo podría ser saber cómo y cuándo integrar un chatbot en el tratamiento de un paciente, monitorearlo, y cómo retirar su uso si deja de ser beneficioso.

Se requieren marcos regulatorios y estándares internacionales para asegurar un desarrollo centrado en el cuidado. Actualmente estamos en un período de experimentación relativamente libre con IAG en salud mental. Esto presenta riesgos de proliferación de aplicaciones de calidad muy dispares. A nivel internacional, la OMS (2023) ya ha emitido principios rectores, entre ellos: a) proteger la autonomía, b) promover el bienestar y la seguridad de las personas; c) garantizar transparencia; d) fomentar responsabilidad, e) asegurar equidad; y f) diseñar IA que capacida de respuesta y que sea sostenible. Estos principios resuenan fuertemente con la ética del cuidado: la IA con capacidad de respuesta implica justamente no dejar de responder a las necesidades de las y los usuarios, manteniendo el cuidado en el tiempo, lo cual es una visión claramente orientada al cuidado. Es fundamental que estos principios se traduzcan en guías prácticas y eventualmente en regulación. Por ejemplo, podría regularse que todo chatbot de salud mental debe: a) pasar evaluaciones clínicas

básicas; b) contar con avisos claros a la o el usuario de su naturaleza; c) tener protocolos de emergencia validados; d) mantener la privacidad con estándares equivalentes a los del sistema de salud. Asimismo, un estándar de consentimiento informado digital podría desarrollarse, para que las y los usuarios que interactúan con IA en contextos de salud mental tengan claridad de qué esperan y qué no, similar a firmar consentimiento antes de una terapia, adaptado al medio digital. La autorregulación de la industria es otra pieza, pues iniciativas de ética aplicada en la IA dentro de empresas deben incorporar expertas o expertos en ética del cuidado, en salud mental, y representantes de las y los usuarios, para anticipar problemas relacionales y no solo técnicos.

Finalmente, la aplicación de la IAG en la atención de salud mental es un campo prometedor pero lleno de matices. Analizarlo desde la perspectiva de la ética del cuidado nos ha permitido destacar que el valor del cuidado humanitario debe permanecer en el centro, pues las tecnologías son medios para facilitar el cuidado, no fines en sí mismos. Un chatbot puede brindar palabras de consuelo, pero es necesario asegurar que esas palabras están respaldadas por una estructura de cuidado real, donde seres humanos, como las y los desarrolladores, clínicos y reguladores se hagan responsables del bienestar de quienes confían en ellas.

Para las y los profesionales de salud mental, lo anteriormente enlistado supone un llamado a involucrarse activamente en el diseño, implementación y supervisión de estas herramientas, aportando la sensibilidad ética y clínica que las y los tecnólogos pueden no tener. Para las y los investigadores, implica la urgencia de llevar a cabo más estudios rigurosos, no solo de eficacia, sino también de impacto emocional y social de las IAG. Para las y los formuladores de políticas y normas, significa anticipar la necesidad de regulaciones inteligentes que protejan a las y los pacientes sin sofocar la innovación beneficiosa. Y para la sociedad en general, demanda un diálogo informado sobre qué tipo de atención se busca, en el que la tecnología aumente la capacidad de los humanos de cuidarse mutuamente, y no uno en el que se deslinden de esa responsabilidad en favor de máquinas.

La salud mental siempre ha tenido en su núcleo la conexión humana, la cura por el encuentro interpersonal, como dirían algunos psicoterapeutas humanistas como Carl Rogers (Gelsi, 2011). La presencia creciente de la IAG desafía a redefinir cómo mantener esa conexión. La ética del cuidado

recuerda que la esencia del acto terapéutico es ética y relacional, y guía para que, aun integrando las herramientas más avanzadas, no se pierda de vista la humanidad del que sufre ni la humanidad del que cuida. Así, la inteligencia artificial aplicada a la salud mental solo alcanzará su potencial si se despliega de manera que refuerce, y no reemplace, la relación de cuidado entre paciente y cuidador. (Ramos y Fournieret, 2023). Con este principio rector, es posible aprovechar lo mejor de la IAG manteniendo un horizonte de atención ética y compasiva en la salud mental.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés en relación con este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Psychological Association. (2017). *Ethical Principles of Psychologist and Code of Conduct*. <https://www.apa.org/ethics/code>
- Beauchamp, T. L. y Childress, J. F. (2008). *Principles of Biomedical Ethics*. (6<sup>th</sup> ed). Oxford University Press.
- Bergman, R. (2004). Caring for the ethical ideal: Nel Noddings on moral education. *Journal of Moral Education*, 33(2), 149–162. <https://doi.org/10.1080/0305724042000215203>
- Boucher, E. M., Harake, N. R., Ward, H. E., Stoeckl, S. E., Vargas, J., Minkel, J., Parks, A. C., y Zilca, R. (2021). Artificially intelligent chatbots in digital mental health interventions: a review. *Expert Review of Medical Devices*, 18(sup1), 37–49. <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.2013200>
- Coghlan, S., Leins, K., Sheldrick, S., Cheong, M., Gooding, P., y D'Alfonso, S. (2023). To chat or bot to chat: Ethical issues with using chatbots in mental health. *Digital health*, 9, 20552076231183542. <https://doi.org/10.1177/20552076231183542>

- Cotroneo, M. (2015). Reflections on Relational Ethics: Toward an Ethic of Prevention. *Journal of Ecumenical Studies* 50(1), 123-126. <https://dx.doi.org/10.1353/ecu.2015.0013>
- Cross, S., Bell, I., Nicholas, J., Valentine, L., Mangelsdorf, S., Baker, S., ... y Alvarez-Jimenez, M. (2024). Use of AI in mental health care: community and mental health professionals survey. *JMIR Mental Health*, 11(1), e60589. <https://doi.org/10.2196/60589>
- De Freitas, J., Uğuralp, A. K., Oğuz-Uğuralp, Z., & Puntoni, S. (2024). Chatbots and mental health: Insights into the safety of generative AI. *Journal of Consumer Psychology*, 34, 481-491. <https://doi.org/10.1002/jcpy.1393>
- D'Alfonso, S. (2020). AI in mental health. *Current opinion in psychology*, 36, 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2020.04.005>
- D'Alfonso, S., Lederman, R., Bucci, S., & Berry, K. (2020). The Digital Therapeutic Alliance and Human-Computer Interaction. *JMIR mental health*, 7(12), e21895. <https://doi.org/10.2196/21895>
- Elyoseph, Z., Hadar-Shoval, D., Asraf, K., y Lvovsky, M. (2023). ChatGPT outperforms humans in emotional awareness evaluations. *Frontiers in psychology*, 14, 1199058. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1199058>
- Endale, T., Qureshi, O., Ryan, G. K., Esponda, G. M., Verhey, R., Eaton, J., ... & Murphy, J. (2020). Barriers and drivers to capacity-building in global mental health projects. *International Journal of Mental Health Systems*, 14, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13033-020-00420-4>
- Fitzpatrick, K. K., Darcy, A., & Vierhile, M. (2017). Delivering Cognitive Behavior Therapy to Young Adults With Symptoms of Depression and Anxiety Using a Fully Automated Conversational Agent (Woebot): A Randomized Controlled Trial. *JMIR mental health*, 4(2), e19. <https://doi.org/10.2196/mental.7785>
- García Avitia, C. A. (2021). Fundamentos teóricos para una distinción clara entre el comportamiento ético y el normativo-moral en el desempeño profesional del psicólogo. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 39(3), 1-16. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/apl/a.10321>
- García Avitia, C. A. (2022). Caracterización del comportamiento responsable en el quehacer profesional del psicólogo. *Kupuri. Revista de Psicología Aplicada*. 1(1), 83-98. [https://www.cucs.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/kupuri1\\_garcia.pdf](https://www.cucs.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/kupuri1_garcia.pdf)

- García Avitia, C. A., Preciado Serrano, M. D. L., Ángel González, M., y Luna Bernal, A. C. A. (2018). El desarrollo moral y la toma de decisiones éticas del psicólogo. *Investigación y Práctica en Psicología del Desarrollo*, 4 1-28. <https://doi.org/10.33064/ippd41993>
- García Avitia, C. A., Preciado Serrano, M. L., Ángel González, M., y Luna Bernal, A. C. A. (2020). Acercamiento a la ética profesional del psicólogo como proceso de comportamiento. En M. G. Luna Lara y R. Montes Delgado (Eds.), *Investigación interinstitucional en psicología* (67-90). Grañén Porrúa. <https://www.editorialgranenporrúa.com.mx/libros/210-investigacion-interinstitucional-en-psicologia.html>
- Gelsi, P. (2011). Trasnferencia y empatía. *Ciencias Psicológicas*, 5(1), 117-122. [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1688-42212011000100009&lng=es&tlang=es](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-42212011000100009&lng=es&tlang=es)
- Gilligan, C. (1985). *La moral y la teoría. Psicología del desarrollo femenino*. Fondo de Cultura Económica.
- Hopelab. (2025). Vivibot. <https://hopelab.org/case-study/vivibot/>
- Huber, J., Jennissen, S., Nikendei, C., Schauenburg, H., & Dinger, U. (2021). Agency and alliance as change factors in psychotherapy. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 89(3), 214-226. <https://doi.org/10.1037/ccp00000628>
- Inkster, B., Sarda, S., y Subramanian, V. (2018). An Empathy-Driven, Conversational Artificial Intelligence Agent (Wysa) for Digital Mental Well-Being: Real-World Data Evaluation Mixed-Methods Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(11), e12106. <https://doi.org/10.2196/12106>
- Internet Encyclopedia of Philosophy. (s.f.). *Care Ethics*. <https://iep.utm.edu/care-ethics/#H2>
- Khan, H., & Bokhari, S. F. H. (2024). Integrating Artificial Intelligence (AI) Chatbots for Depression Management: A New Frontier in Primary Care. *Cureus*, 16(8), e66857. <https://doi.org/10.7759/cureus.66857>
- Khawaja, Z., y Bélisle-Pipon, J. C. (2023). Your robot therapist is not your therapist: understanding the role of AI-powered mental health chatbots. *Frontiers in digital health*, 5, 1278186. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1278186>
- Laestadius, L., Bishop, A., Gonzalez, M., Illenčík, D., & Campos-Castillo, C. (2024). Too human and not human enough: A grounded theory analysis of mental health harms from emotional dependence on the

- social chatbot Replika. *New Media & Society*, 26(10), 5923-5941. <https://doi.org/10.1177/14614448221142007>
- Ley General de Salud. Diario Oficial de la Federación: 07/02/1984. Vigente al 28/02/2025. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGS.pdf>
- Limbic. (2025). *Our science*. <https://www.limbic.ai/layer>
- Luka Inc. (s/f). *What is Replika?* <https://normas-apa.org/referencias/citar-pagina-web/>
- McMahon, A., & Hevey, D. (2017). "It has taken me a long time to get to this point of quiet confidence": What contributes to therapeutic confidence for clinical psychologists? *Clinical Psychologist*, 21(3), 195–205. <https://doi.org/10.1111/cp.12077>
- Noddings, N. (2013). An Ethic of Caring. En R. Sahffer-Landau (Ed.), *Ethical theory* (699-712). Wiley-Blackwell.
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Plan de acción integral sobre salud mental 2013-2030*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240031029>
- Organización Mundial de la Salud. (16 de mayo de 2023). *La OMS propugna un uso seguro y ético de la inteligencia artificial para la salud*. <https://www.who.int/es/news/item/16-05-2023-who-calls-for-safe-and-ethical-ai-for-health>
- Pescapè, A. (2024). Exploring the Current State and Future Potential of Generative Artificial Intelligence Using a Generative Artificial Intelligence. In: Santoianni, F., Giannini, G., Ciasullo, A. (eds) *Mind, Body, and Digital Brains. Integrated Science*, vol 20. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-58363-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-58363-6_4)
- Parsakia, K. (2023). The Effect of Chatbots and AI on The Self-Efficacy, Self-Esteem, Problem-Solving and Critical Thinking of Students. *Health Nexus*, 1(1), 71-76. <https://doi.org/10.61838/kman.hn.1.1.11>
- Perski, O., Crane, D., Beard, E., & Brown, J. (2019). Does the addition of a supportive chatbot promote user engagement with a smoking cessation app? An experimental study. *Digital health*, 5, 2055207619880676. <https://doi.org/10.1177/2055207619880676>

- Ramos, G. y Fourneret, E. (16 de noviembre de 2023). *El papel fundamental de la filosofía en la conformación de un futuro humanista: el ejemplo de la ética en la tecnología y la salud mental*. Naciones Unidas. Crónica ONU. <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/philosophy-essential-role-shaping-humanistic-future-case-ethics-technology-and-mental>
- Sociedad Mexicana de Psicología A.C. (2010). *Código ético del psicólogo*. Trillas.
- Sweeney, C., Potts, C., Ennis, E., Bond, R., Mulvenna, M. D., O'Neill, S., Malcolm, M., Kuosmanen, L., Kostenius, C., Vakaloudis, A., et al. (2021). Can Chatbot Help Support a Person's Mental Health? Perceptions and Views from Mental Healthcare Professionals and Experts. *ACM Transactions on Computing for Healthcare*, 2, 1-15. <https://doi.org/10.1145/3453175>
- Tavory, T. (2024). Regulating AI in mental health: Ethics of care perspective. *JMIR Mental Health*, 11(1), e58493. <https://doi.org/10.2196/58493>
- Wester, J., Pohl, H., Hosio, S., & van Berkel, N. (2024). "This Chatbot Would Never...": Perceived Moral Agency of Mental Health Chatbots. *Proceedings of the ACM on human-computer Interaction*, 8(CSCW1), 1-28. <https://doi.org/10.1145/3637410>
- Wykes, T., Lipshitz, J., & Schueller, S. M. (2019). Towards the design of ethical standards for digital mental health. *Current Treatment Options in Psychiatry*, 6(3), 232-242. <https://doi.org/10.1007/s40501-019-00179-7>
- Wysa Ltd. (2025). FAQs. <https://www.wysa.com/faq>
- Yuan, Y., Su, M. y Li, X. (2024). What Makes People Say Thanks to AI. In: Degen, H., Ntoa, S. (eds) *Artificial Intelligence in HCI. HCII 2024. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 14734. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-60606-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-60606-9_9)

# Salud digital como parte de la formación de estudiantes de psicología: regulaciones éticas

*Irene Margarita Espinosa Parra<sup>1</sup>*  
*Miriam de Jesus Lupercio Ramírez<sup>2</sup>*  
*Antonio Kobayashi Gutiérrez<sup>3</sup>*

## INTRODUCCIÓN

No hay alternativa a la Transformación Digital. Las empresas con visión de futuro se forjarán nuevas opciones estratégicas; las que no se adapten, fracasarán.  
Jeff Bezos, director ejecutivo y fundador de Amazon.

Actualmente la salud mental representa uno de los mayores retos para las universidades, tanto por la creciente demanda de servicios psicológicos como por la necesidad de formar profesionales capaces de responder a problemáticas complejas con enfoques éticos, científicos y culturalmente pertinentes. Esta necesidad se vuelve aún más urgente en el contexto de la transformación digital, que ha modificado las formas de interacción, comunicación y atención en el ámbito clínico.

<sup>1</sup> Profesora e Investigadora de la Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México, Cp. 63000. <https://orcid.org/0009-0008-9653-4280>

<sup>2</sup> Profesora de la Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Guadalajara, México. Cp. 44340. <https://orcid.org/0000-0001-7256-6036>

<sup>3</sup> Médico adscrito a UMAE, HE, Centro Médico Nacional de Occidente, IMSS, Guadalajara, México. <https://orcid.org/0000-0002-5540-1923>

El uso de tecnologías digitales en el cuidado de la salud mental como la telepsicología, las aplicaciones móviles de autocuidado, la inteligencia artificial o la realidad virtual ofrecen nuevas posibilidades de acceso, personalización e innovación en la práctica profesional. Sin embargo, también plantea desafíos éticos, técnicos y formativos que exigen una actualización de los planes y programas de estudio en la formación de los estudiantes de psicología. Las universidades, por lo tanto, deben asumir un papel activo en la formación de competencias digitales en salud mental, integrando estos contenidos no solo desde la perspectiva tecnológica, sino también desde una reflexión profunda sobre el bienestar, la equidad y la dignidad humana.

La transformación digital, como plantea Dewar (2017), ha llevado a las instituciones de educación superior (IES) a adoptar tecnologías avanzadas similares a las de otros sectores de la industria. Este proceso implica no solo inversión en infraestructura, como advierte Barro (2018), sino también liderazgo ético, estrategia institucional y una visión integral del papel que la universidad cumple como agente de cambio. No es suficiente con incorporar plataformas o recursos digitales: es necesario formar profesionales reflexivos y responsables, con habilidades para el uso crítico de la tecnología en la evaluación, el acompañamiento y la intervención en salud mental.

Aunado a lo anterior, el entorno digital genera nuevos estresores para el estudiantado, como la presión académica mediada por tecnologías, la adaptación a contextos sociales virtuales, o la gestión del tiempo. Por ello, es necesario que las universidades desarrollen estrategias para fortalecer el bienestar psicosocial de sus comunidades, así como formar psicólogos con capacidades para atender los efectos de estas nuevas realidades.

Desde esta perspectiva, la ética profesional adquiere una importancia fundamental. Tanto la bioética como los principios establecidos por organismos como el Consejo Nacional para la Enseñanza e Investigación en Psicología (CA-CNEIP) señalan que el ejercicio de la psicología debe orientarse al bienestar, la responsabilidad, la no maleficencia y la equidad.

El uso de tecnologías digitales en la práctica psicológica requiere, entonces, una formación sólida que contemple estos valores, promueva la autonomía de los consultantes y asegure la protección de los datos personales, la privacidad y el consentimiento informado.

Este capítulo propone analizar la pertinencia, implicaciones y estrategias para incorporar la salud digital en el currículo de formación de los estudiantes de Psicología, con el objetivo de preparar profesionales competentes, éticos y sensibles a los desafíos actuales debido a que el desarrollo de competencias digitales en este campo profesional no es opcional, sino una condición esencial para garantizar una atención psicológica pertinente, accesible y humanizada en la era digital.

## LA FUNCIÓN DE LAS UNIVERSIDADES EN LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

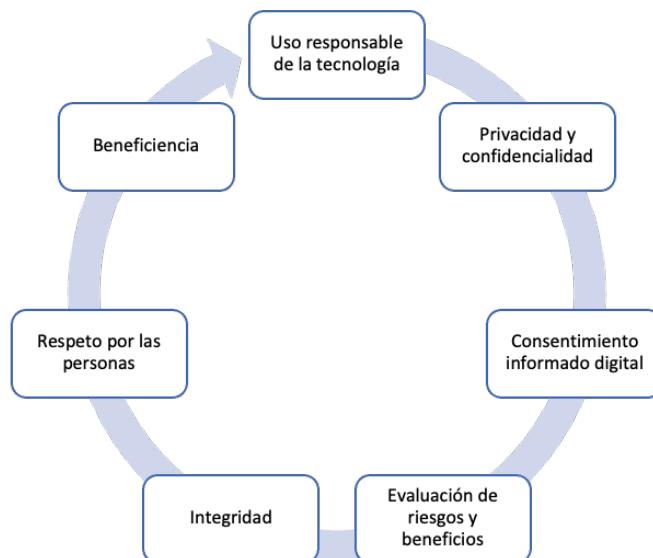
Actualmente las universidades desempeñan un papel crucial en la innovación dentro de las economías desarrolladas. En esta era de conocimiento y globalización, donde los cambios tecnológicos son acelerados, las universidades deben adaptarse constantemente para afrontar los desafíos de un mundo en constante cambio. Esto implica la adopción de un entorno digital y el desarrollo de avances científico-tecnológicos (Cueva, 2020).

Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) son esenciales para impulsar la innovación digital en el sector educativo y para que este pueda abordar los desafíos de la sociedad. Sin embargo, como menciona Cueva (2020) no todas las universidades latinoamericanas han aprovechado al máximo la integración tecnológica y sus beneficios.

Por otra parte, la pandemia del COVID-19 ha transformado la manera en que se realiza la intervención en salud. Carracedo (2022) refiere que muchos investigadores que antes trabajaban de forma presencial tuvieron que adaptar sus estudios a entornos virtuales. Esto implicó trasladar a formularios o páginas web documentos que tradicionalmente se presentaban en formato impreso, como el consentimiento informado, cuestionarios, entrevistas y experimentos. Lo cual significa el riesgo de difusión de datos sensibles, por lo que es necesario que los protocolos cuenten con algún tipo de protocolo para proteger la información. Además, de esta adaptación al entorno digital, los investigadores deben garantizar la confidencialidad y protección de datos personales, cumpliendo con la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares (2014). Esto incluye proporcionar a los participantes un aviso de privacidad claro y comprensible para evitar

vicios de voluntad como el error, la intimidación, el dolo o la violencia (Aguirre, 2022).

**Figura 1. Principios éticos en la investigación digital.**



Nota: elaboración propia a partir de González et al. (2024) ética digital en la salud.

En esta figura (1) se desglosan los principales principios éticos en la investigación digital, siendo un campo en evolución, es importante que los profesores universitarios se mantengan actualizados para que los estudiantes puedan ir aplicando estos principios en su práctica profesional desde su formación.

El uso responsable de la tecnología implica reconocer su potencial transformado en la vida de las personas, así como los alcances y límites éticos que conlleva su implementación. Este proceso no es neutral, toda tecnología establece una relación de poder con el usuario, por lo que es fundamental que los estudiantes desarrollen una comprensión crítica de las interseccionalidades y realidades sociales que atraviesan a quienes reciben sus servicios. Esta sensibilidad ayuda a prevenir prácticas de control o imposición que puedan derivar en formas de violencia simbólica o exclusión.

Desde esta perspectiva, se requiere un enfoque holístico que contemple no solo el dominio técnico de la herramienta, sino también el conocimiento de la legislación vigente, los procesos sociales y estructurales a nivel macro y micro que generan vulnerabilidades, y las diversas narrativas culturales que median la experiencia tecnológica. La privacidad y la confidencialidad, desde esta perspectiva, deben entenderse como compromisos éticos orientados a proteger la identidad y los datos sensibles de los usuarios. Un ejemplo concreto es el manejo del estatus serológico: la divulgación no autorizada de un diagnóstico de VIH en entornos educativos o clínicos podría desencadenar actos de discriminación y daños significativos para la persona afectada.

Por lo anterior, el consentimiento informado digital adquiere importancia al generar respeto a la autonomía, la migración a un lenguaje textual que permita la comprensión y expresión de la toma de decisión del participar o no en un estudio. Habitualmente este se realiza de manera táctil siendo almacenada con la IP del sujeto que proporciona dicho consentimiento. La evaluación de riesgos y beneficios implica que el/la estudiante sea capaz de pensar en los riesgos que su estudio o que la tecnología podría producir en el/la usuario/a final. Para esto es importante un pensamiento crítico y creativo que permita dilucidar situaciones en las que dichas tecnologías podrían ser riesgosas o peligrosas para el usuario. Por ejemplo, el uso de monitores biométricos puede incrementar la hipervigilancia del usuario/a llevando a un posible incremento de sus cefaleas tensionales.

La integridad como valor implica el uso honorable de los datos para evitar la falsificación en búsqueda de una ganancia personal. Es vital promoverlo en la universidad digital por la crisis de la replicabilidad que se ha visto incrementada en el campo de la psicología.

El respeto por las personas implica el abandono de una actitud paternalista en donde se permitía la tiranía en búsqueda de un beneficio. Donde el reconocimiento de los derechos humanos por parte de los investigadores, los hace susceptibles de ser interpelados por los pacientes para la búsqueda de soluciones tecnológicas que respeten su derecho a la vida, a la libertad, a la salud y a los cuidados.

La beneficencia es el buscar un cambio de un basal donde existe malestar, a uno que sea favorable para el florecimiento humano. Siempre

teniendo como horizonte la capacidad transformativa de una narrativa empoderada, de una capacidad limitada de la ciencia para dar respuestas y de la necesidad constante de humanización del acto mediado por la tecnología para dar una verdadera beneficencia que no solo esté sometida a valores monetarios.

En la sociedad actual, la ciencia y la tecnología son pilares del desarrollo cultural, social y económico. La tecnología, que aplica el conocimiento científico para crear productos como computadoras y teléfonos, influye profundamente en la vida cotidiana. Esta relación entre ciencia y tecnología plantea la necesidad de reflexionar sobre los impactos psicosociales de la tecnología, tanto a nivel personal como profesional, de aquí la importancia y responsabilidad de las universidades que tienen al educar a los futuros profesionales sobre los dilemas éticos y el ciclo de la innovación que surge en el uso de la tecnología, como la privacidad de los datos, la seguridad cibernética y el impacto de las redes sociales. Teniendo en cuenta que la innovación siempre surge del agotamiento de la efectividad de una tecnología, su desplazamiento por otra siempre ocurre cuando existen opciones que sean más efectivas y eficaces.

De acuerdo con Cantú (2018), los profesores universitarios desempeñan un papel fundamental en la formación de los estudiantes. Su influencia se extiende a la formación de valores morales y éticos, tanto dentro como fuera del aula. Esto implica que los docentes deben adoptar un rol reflexivo y consciente de los cambios paradigmáticos y sociales actuales (Martínez, 2018). En este contexto, la universidad tiene una responsabilidad social importante, especialmente en lo que respecta a la transformación tecnológica (Casado *et al.*, 2018). Asimismo, Maldonado *et al.* (2021) mencionan que la conducta ética de los profesores universitarios influye significativamente en la formación integral de los estudiantes, moldeando su comportamiento en contextos académicos, profesionales y sociales.

En ese sentido, es importante definir la ética profesional del profesorado como la aplicación de principios éticos coherentes con su conciencia moral. Esto busca proporcionar un servicio adecuado a la comunidad educativa, fomentando la motivación del profesorado para seguir formándose en enfoques educativos innovadores que mejoren la relación enseñanza-aprendizaje con los estudiantes (Maldonado *et al.*, 2021).

Otro aspecto importante de acuerdo con Ballesteros de Valderrama *et al.*, 2021, es la evaluación continua de la ética en la formación del profesorado. Esto implica tanto la identificación de errores éticos en la conducta y toma de decisiones profesionales, como el fomento de habilidades de pensamiento crítico para un desarrollo integral y constante. Por lo anterior, los códigos éticos son herramientas valiosas para garantizar la protección de los usuarios de los servicios de psicología y para facilitar la toma de decisiones ante dilemas éticos en los profesionales en formación (Caicedo-Guale *et al.*, 2020).

### SALUD DIGITAL E INNOVACIÓN

La salud digital es conceptualizada como el campo de conocimiento y práctica vinculado con el desarrollo y el uso de tecnologías digitales para mejorar la salud (OMS, s.f). Esta concepción, recogida también en la Estrategia Global en Salud Digital 2020-2025, amplía el enfoque de la *e-salud* e incorpora herramientas como aplicaciones móviles, telemedicina, registros electrónicos, inteligencia artificial y dispositivos portátiles, con el fin de proporcionar atención de calidad, accesible y equitativa (OMS, 2021).

En la educación superior, estas tecnologías se hacen cada vez más necesarias, la innovación en salud mental deberá ofrecer intervenciones escalables, personalizadas y disponibles las veinticuatro horas. Las instituciones universitarias se enfrentan a una demanda creciente de servicios psicológicos; en respuesta, es necesario que las intervenciones de salud mental digitales como programas cognitivo-conductuales autoguiados, chatbots basados en IA, plataformas de mindfulness o biofeedback con wearables actúen como estrategias de prevención, apoyo y tratamiento complementario a los servicios presenciales.

Esta innovación en salud mental conlleva una modificación de los paradigmas entre los principales actores: docentes, estudiantes, padres y sociedad, siendo esencial su colaboración para enfrentar las nuevas realidades. Las exigencias tecnológicas requieren de un proceso constante entre las interacciones sociales y el crecimiento tecnológico, por lo cual es indispensable cambios sociales activos y constantes (Lalangui y Valerezo, 2017).

La OMS (2020) define la atención en salud digital el campo de conocimiento y práctica asociado con el desarrollo y uso de tecnologías digitales para mejorar la salud, este enfoque engloba telesalud, m-salud, historia clínica electrónica, inteligencia artificial y dispositivos portátiles buscando ampliar la cobertura, aumentar la equidad y elevar la calidad de los servicios, especialmente en salud mental.

Es por ello que la atención en salud digital en las universidades permitirá articular las demandas contemporáneas que experimentan los estudiantes como la accesibilidad 24/7, confidencialidad, y reducción de estigma.

Cardodo *et al.* (2018) identifican siete aspectos clave que la atención en salud digital que aporta a los servicios de salud mental universitarios: a) autonomía del usuario; b) cercanía terapéutica a través de canales sincrónicos y asincrónicos; c) seguimiento constante basado en telemonitoreo y analítica de datos; d) deficiencia en costos y tiempos de atención; e) autogestión de la salud mediante aplicaciones guiadas; f) personalización de contenidos y ritmos de uso; y g) adaptación a necesidades particulares y contextuales.

No obstante, para lograr estos beneficios se requiere el desarrollo de capacidades humanas, alfabetización digital tanto de docentes, profesionales, como de estudiantes, la ética centrada en la persona que proteja la privacidad y la equidad, y políticas institucionales que permita detectar problemas emergentes y garantice la sostenibilidad de los programas.

Por lo tanto, la llamada escuela digital de salud representa un ecosistema formativo y asistencial donde la comunidad universitaria interactúa en espacios virtuales interoperables, potenciando experiencias de atención psicológica sin barreras físicas. Desde esta perspectiva, la atención en salud digital transforma los servicios tradicionales, reduciendo brechas de cobertura y promoviendo el bienestar estudiantil en tiempo real.

La transformación digital ha impactado en los sistemas de salud en todo el mundo. El desarrollo de plataformas de teleconsulta, aplicaciones móviles para el seguimiento del bienestar psicológico, inteligencia artificial para la detección temprana de trastornos mentales y herramientas de intervención virtual ha generado nuevas formas de interacción entre profesionales y usuarios de los servicios de salud mental. Esta evolución tecnológica no solo modifica la manera en que se accede a la atención,

sino también los saberes, habilidades y actitudes que deben adquirir los futuros profesionales de la salud. En este contexto, las universidades enfrentan el reto de actualizar sus programas de estudio para responder a las demandas de un entorno profesional cada vez más digitalizado.

La incorporación de contenidos relacionados con salud digital en el currículum universitario en los profesionales de psicología no solo responde a una tendencia global, sino que representa una necesidad ética, profesional y social. La American Psychological Association y el Servicio Nacional de Salud del Reino Unido han comenzado a delinear marcos de competencias digitales específicas para profesionales de la salud mental, estableciendo estándares para su aplicación en contextos formativos.

Desde esta perspectiva, las universidades que forman psicólogos tienen la oportunidad y la responsabilidad de adaptar sus programas educativos a las nuevas exigencias del entorno profesional. Por lo que no solo se trata de incorporar contenidos tecnológicos, sino de fomentar una formación integral que desarrolle competencias digitales relevantes para el ejercicio ético, eficaz y humanizado de la Psicología en entornos mediados por tecnologías.

En este sentido, se propone la incorporación de competencias digitales específicas en el currículum de los programas educativos. Primeramente, los estudiantes deben adquirir conocimientos básicos en alfabetización digital, protección de datos personales, uso ético de plataformas en línea y principios de ciberseguridad (APA, 2013).

Posteriormente a nivel formativo tal como menciona Torous y Roberts (2017) lo(s) profesionales en formación pueden centrarse en el uso crítico de tecnologías aplicadas a la evaluación y la intervención psicológica, incluyendo la valoración de la calidad de aplicaciones móviles de salud mental, el análisis de datos generados por dispositivos digitales, y la aplicación de la telepsicología y finalmente, se podrían abordar temas como el diseño de herramientas digitales centradas en el usuario, la integración de elementos de inteligencia artificial en procesos clínicos y el uso de entornos de realidad virtual o aumentada en intervenciones específicas.

La incorporación de estas competencias al currículum debe ser transversal con la creación de una asignatura en el plan de estudios con un enfoque teórico-práctico que combine fundamentos, normativas éticas y aplicación clínica. Pero también con una integración progre-

siva de contenidos digitales en asignaturas ya existentes, así como la inclusión de prácticas profesionales supervisadas en entornos de atención digital, donde los estudiantes puedan desarrollar habilidades en la atención remota, la comunicación virtual y el manejo de plataformas digitales (Evangelinos, 2023).

Además, es importante generar metodologías innovadoras que faciliten el aprendizaje significativo en estos temas. Estrategias como el análisis de casos reales, las simulaciones de sesiones virtuales, el desarrollo de prototipos de apps o intervenciones digitales, y el uso de bases de datos reales para el análisis de engagement o sintomatología.

La evaluación de estas competencias también debe considerar instrumentos acordes con el enfoque digital. Desde rúbricas para evaluar la calidad de una sesión de teleconsulta simulada, hasta pruebas de interpretación de datos clínicos generados por apps, los mecanismos de evaluación deben ir más allá de los exámenes tradicionales, integrando criterios de desempeño, pensamiento ético y capacidad de adaptación tecnológica, no obstante, muchas universidades carecen de una formación acorde a estas necesidades (Haime et al; 2025)

## **Figura 2. Términos relacionados a los entornos virtuales donde se da la interacción de las personas**



Nota. Elaboración propia a partir de los términos relacionados a los entornos virtuales.

La escuela digital es un espacio diseñado en el aprendizaje, la investigación de fuentes como la pedagogía, sociología y psicología debido a que es necesario potencializar el aprendizaje constructivo, activo y variado que permitan integrar tareas cooperativas y estrategias de pensamiento (Cardodo *et al.*, 2018).

## LAS INTERVENCIONES PSICOLÓGICAS EN LA ERA TECNOLÓGICA

La pandemia de COVID-19 provocó cambios drásticos en la vida cotidiana y en la prestación de servicios, incluyendo la atención psicológica. La atención presencial tuvo que migrar a entornos virtuales, utilizando herramientas como tabletas, teléfonos celulares, computadoras, correos electrónicos y videoconferencias. Convirtiéndose además en una alternativa estructurada, accesible y sostenible para poblaciones con barreras geográficas, económicas o de movilidad (Yellowlees & Shore, 2021).

Esta transformación hacia la ciberpsicología, que utiliza la tecnología como mediador en el espacio digital, ha generado nuevas necesidades e implicaciones prácticas para garantizar una buena praxis (Llamas y Diestefano, 2015). En este sentido Martí-Noguera y Soto-Pérez (2022), señalan la importancia de definir el perfil del profesional en salud mental digital, ya que la formación tradicional se centraba en el trabajo presencial. Incluso los materiales, prácticas profesionales y protocolos de actuación estaban diseñados para ese contexto.

Una herramienta clave para analizar la intersección entre la bioética y la ciberpsicología es el principialismo, un enfoque de argumentación bioética. Esta corriente de pensamiento se basa en principios fundamentales que guían la reflexión moral y la aplicación de la psicología en la era digital. El principialismo, como lo define Escobar-López (2012), propone resolver dilemas éticos a través de cuatro principios normativos básicos:

1. No maleficencia: El principio de “no hacer daño”, que es la contraparte negativa del principio de beneficencia.
2. Beneficencia: El principio de “hacer el bien”, que implica contribuir al bienestar del paciente a través de acciones que promueven, previenen o restauran la salud.

3. Autonomía: El principio que destaca la importancia de la libertad y la elección individual, lo que implica autenticidad, independencia y autodeterminación.
4. Justicia: El principio que aboga por el uso racional de los recursos disponibles para garantizar el derecho a la salud de los ciudadanos, protegiendo su dignidad y cumpliendo con las obligaciones del Estado.

En el contexto de la ciberpsicología, estos principios son cruciales para abordar los desafíos éticos que surgen en la prestación de servicios psicológicos en línea. Por ejemplo: la no maleficencia y la beneficencia exigen que los profesionales de la ciberpsicología evalúen cuidadosamente los riesgos y beneficios de sus intervenciones en línea, asegurándose de no causar daño y de promover el bienestar de sus consultantes. La autonomía implica garantizar que los pacientes tengan la libertad de elegir si desean recibir atención psicológica en línea, así como de tomar decisiones informadas sobre su tratamiento. La justicia requiere que se aborden las desigualdades en el acceso a la ciberpsicología, asegurando que todos los ciudadanos, independientemente de su ubicación o recursos, tengan la oportunidad de recibir atención psicológica de calidad.

Al implementar intervenciones psicológicas con tecnología, Espinosa-Duque y Ruiz (2022) recomiendan considerar cuatro factores:

1. Los usuarios: ¿Quiénes son? ¿Qué necesidades tienen? ¿Qué características sociodemográficas presentan (edad, género, nivel educativo, etc.)?
2. El contexto: ¿La intervención es culturalmente apropiada? ¿Se adapta al idioma y valores de los usuarios? Por ejemplo, una intervención diseñada para jóvenes de una comunidad urbana puede no ser adecuada para personas mayores en zonas rurales.
3. La tecnología: ¿Qué tipo de tecnología se utilizará (aplicaciones móviles, plataformas web, etc.)? ¿Los usuarios tienen acceso a internet y dispositivos? ¿Cómo se protegerán los datos de los usuarios?
4. Las instituciones y profesionales: ¿Las instituciones y profesionales de la salud mental están capacitados para utilizar la tecnología?

¿Existen políticas y procedimientos para la implementación de intervenciones tecnológicas? ¿Se promueve la formación continua en el uso de nuevas tecnologías?

En una sociedad cada vez más digitalizada, el perfil del profesional de la psicología se está transformando. Se requiere un mayor conocimiento de las herramientas tecnológicas para guiar a los usuarios en la alfabetización digital en salud mental. Esto implica adquirir nuevas competencias específicas para la práctica profesional en este ámbito.

Afortunadamente, existen guías y manuales que pueden ser de gran utilidad en la formación de psicólogos para la atención de la salud mental digital. Algunos ejemplos son:

La Guía de la Práctica en Telepsicología de la American Psychological Association (APA, 2013): Ofrece pautas para la prestación de servicios psicológicos a través de la tecnología.

1. Guía para la Intervención Telepsicológica (De-la-Torre Martí y Pardo-Cebrián, 2018): Proporciona herramientas y estrategias para la intervención psicológica a distancia.
2. Guía para la Práctica de la Telepsicología (Ramos-Torio *et al.*, 2017): Aborda aspectos éticos y prácticos de la telepsicología.
3. Manual de Salud Mental Digital, publicado por la Universidad de Oxford (Potenza *et al.*, 2020): Ofrece información sobre el uso de tecnologías digitales en la salud mental.
4. Manual de telesalud mental-Tecnologías digitales en la práctica clínica (Martí-Noguera, 2022): Explora el uso de tecnologías digitales en la práctica clínica de la salud mental.

Estos recursos pueden ayudar a los psicólogos a desarrollar las competencias necesarias para brindar una atención de calidad en el entorno digital.

Desde una perspectiva más intervencionista, Grillo (2012) explica que se puede contemplar los siguientes puntos relevantes, respecto a la innovación en la atención de la población:

1. La prevención primaria, como medio de la promoción de la salud

2. La prevención secundaria como medio para intervenir en problemas de salud
3. Mejora de los sistemas público y gestión de la salud
4. Formar agentes de salud mental

Todo ello con el objetivo de mejorar la salud de la población y beneficiar a las comunidades vulnerables. Con la misma visión de incrementar la eficiencia en las intervenciones se ha implementado el uso de la realidad virtual sobre casos más específicos como la reducción de la ansiedad y el aumento de emociones positivas (Viaplana y Segura, 2021).

La siguiente tabla presenta una tipología de intervenciones psicológicas digitales, clasificadas según su modalidad de aplicación, nivel de interacción y uso de tecnología. Se incluyen desde formas sincrónicas como la telepsicología en tiempo real, hasta intervenciones más complejas que integran inteligencia artificial o entornos de realidad virtual.

Cada tipo de intervención se describe brevemente e incluye ejemplos representativos, con el fin de ilustrar su potencial en el campo de la salud mental. Esta clasificación permite visibilizar la diversidad de recursos digitales disponibles para el trabajo clínico y psicoeducativo, y subraya la necesidad de formar profesionales capaces de seleccionar, aplicar y evaluar estas herramientas con base en criterios éticos.

**Tabla 1. Tipología de intervenciones psicológicas digitales.**

<i>Tipo de intervención</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplos</i>
Telepsicología sincrónica	Intervenciones en tiempo real a través de videollamadas o llamadas telefónicas	Psicoterapia individual vía Zoom o plataformas como Doxy.me; sesiones grupales en Teams
Telepsicología asincrónica	Comunicación diferida entre terapeuta y paciente mediante mensajes o correos	Seguimiento por mensajería segura, feedback sobre tareas terapéuticas vía app
Aplicaciones móviles de salud mental (mHealth)	Herramientas diseñadas para el autocuidado, monitoreo o intervención psicoeducativa	Headspace, MindShift, Sanvello, PTSD Coach
Terapia guiada por tecnología	El terapeuta guía al paciente usando una plataforma estructurada con módulos terapéuticos	Programa SilverCloud (CBT); programas blended como “¡Ánimo!” en depresión

Tipo de intervención	Descripción	Ejemplos
Psicoeducación en línea	Materiales educativos y talleres sobre salud mental mediante recursos digitales	Webinars, podcasts, videos en plataformas institucionales o educativas
Intervenciones basadas en realidad virtual (VR)	Exposición controlada o simulación de escenarios para el tratamiento psicológico	Tratamiento de fobias, ansiedad social o TEPT usando VR; terapia de re-exposición
Plataformas de evaluación digital	Aplicación remota de escalas psicométricas o seguimiento automatizado del estado emocional	Cuestionarios en línea (DASS-21, PHQ-9), detección de síntomas con IA
Chatbots psicológicos	Intervenciones automatizadas que simulan una conversación terapéutica básica	Woebot, Wysa, Tess: guías con técnicas de TCC, apoyo emocional diario
Terapia apoyada en inteligencia artificial	Procesamiento de lenguaje natural y aprendizaje automático para adaptar intervenciones	Plataformas que personalizan contenidos según respuestas

Nota. Esta tabla clasifica las intervenciones psicológicas digitales según su modalidad de aplicación, grado de interacción y uso de tecnología. Con el objetivo de ilustrar la diversidad de recursos disponibles en el campo de la salud mental digital. Elaboración propia a partir de Torous y Roberts (2017) y Yellowlees y Shore (2021).

La diversidad de intervenciones psicológicas mediadas por tecnologías digitales presentadas en la tabla evidencia la amplitud de recursos actualmente disponibles para el abordaje de la salud mental. No obstante, su correcta implementación en el ejercicio profesional requiere una formación estructurada basada en competencias específicas. La adopción efectiva y ética de estas herramientas depende de que los estudiantes de psicología desarrollen habilidades técnicas, comunicativas, clínicas y éticas vinculadas a los distintos tipos de intervención digital.

Por tanto, resulta indispensable que las universidades asuman un compromiso activo en la integración curricular de estas competencias, asegurando que los futuros profesionales de la psicología están preparados para responder, con ética y eficacia, a los desafíos contemporáneos de la atención en salud mental digital.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La transformación digital ha redefinido profundamente el papel de las universidades en la formación de profesionales, especialmente en áreas sensibles como la salud mental. Ante los cambios acelerados en los mo-

dos de atención, comunicación y acceso a los servicios psicológicos, es imprescindible una actualización constante de los planes de estudio y de las prácticas docentes. Esta adaptación no debe limitarse al dominio tecnológico, sino que debe garantizar una formación ética, crítica y contextualizada, capaz de responder a los retos emergentes del ejercicio profesional en entornos digitales.

En este escenario, la ética y la bioética se consolidan como marcos fundamentales para orientar el uso de tecnologías en la evaluación, intervención e investigación en Psicología. Estas disciplinas ofrecen criterios normativos indispensables para resguardar la dignidad, la autonomía y la seguridad de las personas usuarias, especialmente en un contexto donde el manejo de datos sensibles, la virtualización de la atención y la inteligencia artificial adquieren cada vez mayor relevancia.

Por ello, la incorporación de la salud digital en la formación de psicólogos no solo es deseable, sino necesaria. La práctica clínica contemporánea exige que los profesionales sean capaces de seleccionar, aplicar y evaluar herramientas digitales con base en principios éticos, evidencia científica y sensibilidad social. Como lo señalan Car *et al.* (2025), la adquisición de competencias digitales específicas en el ámbito de la salud es clave para garantizar una atención centrada en la persona, eficaz y segura, en un entorno cada vez más tecnologizado.

Finalmente, asumir la salud digital como una competencia fundamental en la formación del estudiantado en Psicología representa una apuesta por la innovación educativa, orientada a mejorar la cobertura, calidad y continuidad de los servicios de salud mental. Esta transformación curricular implica no solo la integración de nuevos contenidos, sino también la promoción de una alfabetización digital crítica y aplicada, que permita a los futuros profesionales desenvolverse con solvencia en contextos virtuales de evaluación, intervención y acompañamiento. La innovación digital, en este sentido, se convierte en un puente entre la formación académica y las exigencias reales del ejercicio profesional, asegurando una preparación integral y comprometida con el bienestar de la sociedad.

## CONFLICTO DE INTERÉS

No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J. C. (2022). Uso del lenguaje ciudadano en redacción de avisos de privacidad y cartas de consentimiento informado [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=DVVohkVzvE8>
- American Psychological Association. (2013). Guidelines for the practice of telepsychology. <https://www.apa.org/practice/guidelines/telepsychology>
- Ballesteros de Valderrama, B., Berrío-Acosta, G., & Sánchez-Ramírez, M. (2021). Evaluación de la formación ética en la psicología colombiana. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 39(3), 1–20. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/apl/a.11401>
- Barro, S. (2018). De la digitalización de las universidades a las universidades digitales. Universidad, Sí. <https://www.universidadsi.es/de-la-digitalizacion-de-las-universidades-a-las-universidades-digitales>
- Cantú-Martínez, P. C. (2018). Profesorado universitario: Emisor de valores éticos y morales en México. *Revista Educación*, 42(1), 1–24. <https://doi.org/10.15517/revedu.v42i1.23479>
- Car, J., Papachristou, N., Urch, C., Atun, R., Majeed, A., & Sheikh, A. (2025). Digital health competencies in medical education: A framework based on a Delphi consensus study. *JAMA Network Open*, 8(1), e2453131. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.53131>
- Cardoso, C. N. P., Mella, R. P. S., & Suárez, N. A. R. (2018). La educación virtual interactiva, el paradigma del futuro. *Atenas*, 4(44), 144–157.
- Carracedo, S. (2022, 30 de junio). Pautas éticas internacionales para la investigación con seres humanos. Sesión 5[Video]. YouTube. [www.youtube.com/watch?v=EaXbrEbpl-s](https://www.youtube.com/watch?v=EaXbrEbpl-s)
- Casado, M., Martínez, M., Neves, M. D. C. P., Ayuste, A., Badia, A., Buxarrais, M. R., Carrio, A., Corcoy, M., Esteban, F., Font, A., Gual, A., Gómez, S., Hogan, P., De Lecuona, I., Leyton, F., López, M. J. B., Marfany, G., Payà, M., Puig, J. M., & Viader, M. (2018). Declaración

- sobre ética e integridad en la docencia universitaria. *FEM: Revista de la Fundación Educación Médica*, 21(2), 65–74. <https://doi.org/10.33588/fem.212.941>
- Código de Ética CA-CNEIP. (s.f.). [https://www.cneip.org/cneip\\_cacnei](https://www.cneip.org/cneip_cacnei)
- Código de Ética CA-CNEIP. (s.f.). <https://www.cneip.org/new/documentos/codigo.pdf>
- Comisión Nacional de Bioética. (2022a). Código de Nuremberg. [http://www.conbioetica-mexico.salud.gob.mx/descargas/pdf/normatividad/normatinternational/2.INTL.\\_Cod\\_Nuremberg.pdf](http://www.conbioetica-mexico.salud.gob.mx/descargas/pdf/normatividad/normatinternational/2.INTL._Cod_Nuremberg.pdf)
- Comisión Nacional de Bioética. (2022b). Declaración de Helsinki de la AMM. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. [http://www.conbioetica-mexico.salud.gob.mx/descargas/pdf/Declaracion\\_Helsinki\\_Brasil.pdf](http://www.conbioetica-mexico.salud.gob.mx/descargas/pdf/Declaracion_Helsinki_Brasil.pdf)
- Consejo Nacional de Enseñanza e Investigación en Psicología. (2022, 8 de julio). <https://www.cneip.org>
- Cueva, D. (2020). Digital transformation in today's university. *Conrado*, 16(77), 483–489. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S199086442020000600483&lng=es&tlang=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S199086442020000600483&lng=es&tlang=en)
- De la Torre-Martí, M., & Pardo-Cebrián, D. (2018). Guía para la intervención telepsicológica. Colegio Oficial de Psicólogos de Madrid. [http://www.cop-madrid.org/web/img\\_db/publicaciones/guia-para-la-intervencion-telepsicologica-5c1b5a8602018.pdf](http://www.cop-madrid.org/web/img_db/publicaciones/guia-para-la-intervencion-telepsicologica-5c1b5a8602018.pdf)
- Espinosa Duque, D., & Ruiz, M. P. (2022). Implementación de intervenciones tecnológicas en salud mental. En J. J. Martí-Noguera (Ed.), *Manual de telesalud mental. Tecnologías digitales en la práctica clínica* (1<sup>a</sup> ed., pp. 207–216). Pirámide.
- Evangelinos, G. (2023). Digital competence in health education (DCiHE): A transferrable framework for curriculum development [Tesis doctoral, Anglia Ruskin University]. ARRO. [https://aru.figshare.com/articles/thesis/Digital\\_competence\\_in\\_health\\_education\\_DCiHE\\_A\\_transferrable\\_framework\\_for\\_curriculum\\_development/23762949?file=42198540](https://aru.figshare.com/articles/thesis/Digital_competence_in_health_education_DCiHE_A_transferrable_framework_for_curriculum_development/23762949?file=42198540)
- González, A., Mar, C., Omar, & González, F. (2024). Ética digital en la salud. Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 17(5), 22–39. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S230624952024000500022&lng=es&tlang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S230624952024000500022&lng=es&tlang=es)

- Grillo, R. V. (2012). Bases de la psicoterapia e intervenciones online. *Intercambios, papeles de psicoanálisis/Intercanvis, papers de psicoanàlisi*, (28), 63–79.
- Haime, Z., Griffiths, G., Linton, M. J., Bould, H., & Biddle, L. (2025). Mental health practitioners' training needs and preferences for addressing online use with children and young people. *Evidence-Based Practice in Child and Adolescent Mental Health*, 10(1), 21–32. <https://doi.org/10.1080/23794925.2024.2400889>
- Lalangui, J., & Valarezo, J. (2017). El aprendizaje, la era del conocimiento y las TICs ante la realidad universitaria ecuatoriana. *Atenas*, 2(38), 51–65. <http://atenas.mes.edu.cu>
- Llamas, M. G., & Diestefano, M. C. (2015). Psicología y tecnología en el nuevo siglo. En V. A. Potenza, M. N. Faust, & D. Faust (Eds.), *The Oxford Handbook of Digital Technologies and Mental Health*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxforddhb/9780190218058.001.0001>
- Ramos-Torio, R., Alemán-Déniz, J. M., Ferrer-Román, C., Miguel-González, G., Prieto-Cabras, V., & Rico-Ferrán, C. (2017). Guía para la práctica de la telepsicología. Consejo General de Psicología de España (COP). <http://www.cop.es/pdf/telepsicologia2017.pdf>
- Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud. (2014). Diario Oficial de la Federación, 6 de enero de 1987 (última reforma publicada DOF 02-04-2014). [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGS\\_MIS.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGS_MIS.pdf)
- Secretaría de Salud & Comisión Nacional de Bioética. (2018). Guía nacional para la integración y el funcionamiento de los comités de ética en investigación (6<sup>a</sup> ed., pp. 127–153). Secretaría de Salud–CONBIOÉTICA.
- Secretaría de Salud & Comisión Nacional de Bioética. (2020). Informe de seguimiento, comités de ética en investigación. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/588784/Informe\\_seguimiento\\_2020.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/588784/Informe_seguimiento_2020.pdf)
- Secretaría de Salud. (2012). Acuerdo por el que se emiten las Disposiciones Generales para la Integración y Funcionamiento de los Comités de Ética en Investigación y se establecen las unidades hospitalarias que deben contar con ellos, de conformidad con los criterios establecidos por la Comisión Nacional de Bioética. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/527610>

- Torous, J., & Roberts, L. (2017). Needed innovation in digital health and smartphone applications for mental health: Transparency and trust. *JAMA Psychiatry*, 74(5), 437–438. <https://jamanetwork.com/journals/jamapsychiatry/article-abstract/2616170>
- Viaplana, G. F., & Segura, J. A. (2021). Aportaciones de la tecnología a la psicoterapia: El potencial de la Realidad Virtual. *Revista de psicoterapia*, 32(119), 81-93.
- WHO (2021) *Global strategy on digital health 2020-2025* <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924>
- Yellowlees, P., & Shore, J. H. (2018). *Telepsychiatry and health technologies: a guide for mental health professionals*. American Psychiatric Pub. <https://acortar.link/xWuZIq>

# La tecnología y su impacto en el ambiente y la salud: costos y estrategias para una tecnología sostenible

*Rosalba Thomas Muñoz*<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

La tecnología ha transformado radicalmente nuestras vidas, ofreciendo innumerables beneficios y comodidades. Sin embargo, su impacto en el ambiente y la salud es una preocupación creciente. La fabricación y desecho de dispositivos electrónicos generan contaminación significativa, por ejemplo, la producción de un solo teléfono celular puede requerir hasta 75 kg de recursos minerales (Avakian, *et al.*, 2019). Este proceso no solo agota recursos naturales, también contamina el aire y el agua, afectando ecosistemas y comunidades.

La producción y el uso indiscriminado de dispositivos tecnológicos ha incrementado la contaminación del aire, agua y suelo. Estos desechos contienen materiales peligrosos como plomo y mercurio, que pueden filtrarse y contaminar el suelo y las fuentes de agua, causando además graves problemas de salud en las poblaciones cercanas. La mala gestión de estos residuos agrava la situación, ya que muchos dispositivos terminan en vertederos donde liberan toxinas dañinas.

Investigaciones realizadas por Vallejo-López, Perdomo, y Peñafiel-Pazmiño (2018), analizan que, la exposición prolongada de las personas a radiaciones electromagnéticas provenientes de dispositivos como teléfonos celulares y routers Wi-Fi, puede causar efectos adversos en la salud. Pérez y Miranda (2020), también han mostrado una correlación entre

<sup>1</sup> Profesora e Investigadora del Centro de Gestión Ambiental de la Universidad de Colima, Colima, México, 28050, <https://orcid.org/0000-0001-9040-2641>

el uso excesivo de estos dispositivos y problemas como el insomnio, el estrés y, en casos extremos, enfermedades más graves como trastornos musculoesqueléticos (Ahmad, *et al.*, 2021). Asimismo, la radiación electromagnética emitida por estos dispositivos es una preocupación constante, tanto, que el Instituto Nacional de Cáncer en Estados Unidos (2021), ha sugerido una posible relación entre la exposición a largo plazo a estas radiaciones y el aumento de riesgo de ciertos tipos de cáncer, aunque se necesitan más investigaciones para confirmar estos hallazgos (National Cancer Institute, 2021).

Adoptar tecnologías sostenibles implica quizá costos iniciales elevados, pero los beneficios a largo plazo superan ampliamente estos gastos. Las tecnologías basadas en la energía solar y eólica no solo reducen la contaminación, también disminuye nuestra dependencia de combustibles fósiles. Países como Alemania y Suecia han demostrado que invertir en tecnologías verdes puede resultar en un entorno más limpio y una población más saludable (Kemfert, Diekmann, *et al.*, 2016; Nilsson, *et al.*, 2017).

Reflexionar sobre estos impactos es crucial para garantizar la sostenibilidad y la salud ambiental y humana. Es necesario fomentar más investigación y adoptar tecnologías responsables que reduzcan la huella ambiental. Además, la implementación de políticas de economía circular, tales como el reciclaje efectivo y el diseño de productos más duraderos y reciclables, son pasos esenciales hacia un futuro más sostenible.

El objetivo de este capítulo es informar y motivar la reflexión del lector sobre los impactos que causa el uso excesivo de tecnología en la salud humana, así como resaltar los impactos que causa la falta de tecnología sostenible en el ambiente. Al abordar este tema, se busca:

1. Sensibilizar sobre la magnitud y gravedad de los efectos de la tecnología actual, tales como la contaminación y los problemas de salud derivados de su uso excesivo y desecho inadecuados.
2. Proveer información basada en estudios y datos científicos que ayuden a comprender mejor las causas y consecuencias de estos impactos.
3. Motivar a los lectores a adoptar prácticas y tecnologías más sostenibles, destacando los beneficios a largo plazo.

4. Mostrar algunas estrategias concretas y viables que usan algunos gobiernos y empresas en el mundo, para la implementación de tecnologías sostenibles.
5. Resaltar la importancia de la cooperación entre gobiernos, empresas y ciudadanos para lograr un futuro más sostenible.

Al final se espera que los lectores no solo estén más informados sobre los problemas actuales relacionados con la tecnología y sus diferentes usos, sino también se sientan inspirados y empoderados para tomar medidas que contribuyan a un desarrollo tecnológico más responsable. La tecnología sostenible es crucial para garantizar un desarrollo equilibrado y responsable, que minimice los impactos negativos en el ambiente y la salud humana.

### **LA HUELLA OCULTA DE LA TECNOLOGÍA EN EL PLANETA**

La producción y el uso de tecnología requieren grandes cantidades de energía, la mayoría de la cual proviene de combustibles fósiles, liberando dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. Los residuos electrónicos contienen además materiales tóxicos como plomo y mercurio, que pueden filtrarse en el suelo y contaminar el agua subterránea (Op Cit). Además, la demanda de recursos naturales para fabricar productos tecnológicos ha llevado, por un lado, a una tala inmoderada de árboles, reduciendo la capacidad del planeta para absorber dióxido de carbono; y, por el otro, a la construcción de infraestructuras tecnológicas que fragmentan hábitats naturales, afectando la biodiversidad. Todo esto sin contar con la rápida obsolescencia de los dispositivos electrónicos, que genera una creciente cantidad de desechos electrónicos, difíciles de gestionar adecuadamente. Es crucial considerar estos impactos y buscar soluciones sostenibles para mitigarlos.

### **CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE CARBONO**

Aunque la tecnología ha avanzado en la eficiencia energética, el volumen absoluto de consumo energético sigue creciendo, cada vez más personas requieren estar conectadas con las tecnologías más avanzadas, lo que

plantea un desafío para alcanzar los objetivos climáticos globales. El creciente consumo de energía por parte de centros de datos, infraestructuras de telecomunicaciones y dispositivos personales contribuye significativamente a las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. La digitalización masiva demanda cantidades enormes de electricidad, gran parte de la cual proviene todavía de fuentes de energía no renovables. Por ejemplo, según Google, Microsoft y Amazon, los centros de datos más grandes que hay actualmente en el mundo, cada vez es más necesario apostar por la energía renovable, debido a la gran cantidad de energía que requieren para sus productos y servicios. De acuerdo con esta información, el estimado es que sus actividades requieren aproximadamente el 1-2% de la electricidad mundial. Esto es comparable con el uso total de electricidad de países como México, que utiliza alrededor del 1.2%, o Indonesia, que representa aproximadamente el 1.25% de la electricidad mundial (Ember, s/f; Environmental Report Google, 2024; Environmental Sustainability Report Microsoft, 2024; Amazon Sustainability Report, 2023).

Estamos entrando en una nueva era de electricidad sin precedentes (AIE, 2025), por lo que será cada vez más indispensable que, no solo estos grandes centros de datos transiten hacia la generación de electricidad proveniente de fuentes renovables, sino también países y personas usuarias de estos dispositivos y equipo electrónicos, de lo contrario, las emisiones de gases de efecto invernadero aumentarán el riesgo de mayores y más acelerados cambios climáticos globales, lo cual tiene consecuencias irreversibles para nuestro planeta y la vida en él.

## GENERACIÓN DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS

La rápida obsolescencia de dispositivos electrónicos, impulsada por el constante avance tecnológico y una cultura exacerbada del consumo, repercute en una acumulación masiva de residuos electrónicos. Estos no únicamente ocupan grandes cantidades de espacio en tiraderos de basura a cielo abierto, sino también contienen sustancias tóxicas como el plomo y el mercurio que pueden filtrarse al suelo y al agua, afectando tanto a los ecosistemas como a la salud humana. Según el Informe Global de Residuos Electrónicos de la ONU (2022), se generan aproximadamente 62 millones de toneladas de desechos electrónicos al año a nivel mundial, de

esta cantidad, menos del 25% se recicla adecuadamente. Además, según el Monitor Global de Residuos Electrónicos 2024, México generó aproximadamente 1.5 millones de toneladas de residuos electrónicos ese año (International Telecommunication Union, 2024).

## EXTRACCIÓN DE RECURSOS Y DEGRADACIÓN DEL HÁBITAT

La fabricación de tecnología requiere la extracción de recursos naturales, como metales raros y minerales, cuya obtención puede llevar a la degradación del hábitat, la deforestación y la contaminación del agua. La minería de estos recursos frecuentemente implica prácticas insostenibles que ponen en peligro ecosistemas enteros y las comunidades que dependen de ellos. Tal es el caso de la minería a cielo abierto, técnica utilizada para extraer minerales y metales como litio, cobalto y tierras raras. Esta actividad requiere remover grandes cantidades de tierra de los cerros y montañas, lo que implica la pérdida de hábitats naturales de especies que viven ahí, así como la deforestación y erosión del suelo.

Además, la minería y el refinamiento de los minerales extraídos requieren enormes cantidades de agua, esto implica desviar o extraer grandes cantidades de agua de comunidades locales y dañar los ecosistemas acuáticos. Los desechos generados por este tipo de minería, como los lixiviados tóxicos, contaminan ríos, lagos y acuíferos. Un ejemplo de ello es el uso de productos químicos como el cianuro y el mercurio para la minería del oro. Todo eso sin contar con que, en muchos países, la extracción de estos recursos se realiza en condiciones laborales inseguras y precarias, poniendo en riesgo a los trabajadores y a las comunidades que dependen de estos empleos frágiles.

## IMPACTO EN LA BIODIVERSIDAD

La tecnología no solo afecta el ambiente a través de la contaminación y el consumo de recursos, también lo hace mediante la alteración directa de los ecosistemas. La construcción de infraestructura tecnológica como antenas de telecomunicaciones, represas hidroeléctricas, y parques solares y eólicos, aunque representan alternativas energéticas más limpias,

pueden alterar hábitats y desplazar especies. Quedarnos estáticos frente a estos impactos no solo perjudica nuestro presente, también compromete gravemente el bienestar de las generaciones futuras.

### LOS IMPACTOS INVISIBLES EN LA SALUD

El uso excesivo de dispositivos electrónicos y la dependencia de servicios en línea aumentan la demanda de energía y recursos, contribuyendo a la huella ecológica. En términos de salud humana, la exposición prolongada a contaminantes tecnológicos como metales pesados y radiación electromagnética podría conducir a un aumento en la prevalencia de enfermedades crónicas. Además, los problemas de salud mental derivados del uso excesivo de dispositivos tecnológicos, como el estrés y la ansiedad, también se convierten en una preocupación mayor.

La exposición prolongada a las radiaciones emitidas por dispositivos tecnológicos, como teléfonos móviles y routers Wi-Fi, puede tener efectos adversos en la salud humana. Huss y otros colegas (2013), han investigado que las radiaciones electromagnéticas pueden causar daños en el ADN y aumentar el riesgo de cáncer, aunque se necesita más investigación para confirmar estos hallazgos. El estudio ha examinado datos a lo largo de varios años para determinar si la proximidad a líneas eléctricas se asocia con un mayor riesgo de mortalidad por enfermedades como el Alzheimer y la esclerosis lateral amiotrófica. Los resultados sugieren que vivir cerca de líneas eléctricas puede estar asociado con un aumento en la mortalidad por estas enfermedades, aunque, como ya se comentó, se necesita más investigación para confirmar estos hallazgos y entender los mecanismos subyacentes.

Por otro lado, el uso excesivo de dispositivos como smartphones, tablets y computadoras puede llevar a problemas físicos como el síndrome del túnel carpiano, fatiga visual, y dolores de cabeza. Pero, además, el uso prolongado puede causar trastornos del sueño, como el insomnio, debido a la exposición a la luz azul de las pantallas. Por su parte, el DKV Instituto de la Vida Saludable y la organización Educar es Todo, publicaron un estudio en 2024 sobre la percepción de la salud mental de los adolescentes y el mal uso de la tecnología. Este estudio analizó la relación entre el uso excesivo de dispositivos tecnológicos y la salud mental de los adoles-

centes, encontrando que el uso prolongado está asociado con problemas emocionales y de comportamiento.

El uso excesivo de dispositivos tecnológicos también se ha relacionado con problemas de salud mental, como el estrés, la ansiedad y la depresión. En el año 2015, Lepp, Barkley y Karpinski publicaron un estudio en el que reportan que el uso intensivo de redes sociales puede aumentar los niveles de estrés y disminuir la satisfacción con la vida. Por su parte, Gentzkow y otros colegas, (2024) analizaron el impacto del uso de teléfonos inteligentes y redes sociales en la salud mental de los jóvenes. El objetivo de dicho estudio fue desarrollar estrategias para limitar el uso de smartphones y evaluar su impacto en el bienestar mental, las interacciones sociales y el rendimiento académico de los adolescentes. Los científicos diseñaron experimentos a gran escala con aproximadamente 3,000 padres y sus hijos para identificar estrategias que pudieran ayudar e informar a padres, legisladores y desarrolladores de aplicaciones de control parental, para promover un uso saludable de los smartphones y las redes sociales entre los jóvenes.

El Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad en colaboración con la Digital Future Society (2023), analizaron cómo el uso intensivo de Internet y redes sociales afectan la salud mental de los jóvenes. Los resultados demostraron que un 11.3% de los jóvenes de entre 15 y 24 años están en riesgo elevado de hacer un uso compulsivo de servicios digitales, y este porcentaje aumenta al 33% en el caso de los adolescentes de 12 a 16 años. El estudio también destaca que el uso problemático de redes sociales está asociado con menores niveles de autoestima y mayores niveles de depresión, ansiedad y sensación de soledad. Además, observaron una reducción en el tiempo que los jóvenes pasan presencialmente con sus amistades, lo que agrava problemas de salud mental.

Como es posible observar, cada vez está más comprobado que el uso prolongado de dispositivos tecnológicos puede causar una serie de problemas físicos, tales como, la fatiga visual, el síndrome del túnel carpiano y otros trastornos musculoesqueléticos que son comunes entre aquellos que pasan largas horas frente a pantallas y teclados. Entender estos problemas es esencial para desarrollar hábitos más saludables y prevenir daños a largo plazo.

La Academia Americana de Oftalmología (2024), señala que la fatiga visual digital es común entre las personas que pasan más de dos horas al día frente a una pantalla. La exposición prolongada a la luz azul de las pantallas puede causar fatiga visual, dolor de cabeza, ojos secos y cansados y visión borrosa. La investigación también ofrece consejos para aliviar la fatiga visual, como parpadear con frecuencia, usar lágrimas artificiales, ajustar el brillo y el contraste de la pantalla, y tomar descansos regulares siguiendo la regla 20-20-20, es decir, mirar algo a 20 pies (6 metros de distancia), durante 20 segundos cada 20 minutos. Además, se recomienda el uso de gafas específicas para la computadora para reducir la tensión ocular.

Como ya se mencionó, el uso repetitivo del teclado y el mouse puede causar el síndrome del túnel carpiano, una afección que provoca dolor y entumecimiento en las manos y muñecas. Balbastre Tejedor y otros (2016), investigaron los factores de riesgo asociados con el desarrollo del síndrome del túnel carpiano. Los resultados muestran que los movimientos repetitivos de hiperflexión e hiperextensión de la muñeca, como los realizados al usar el teclado y el mouse, son factores de riesgo significativos. Además, se identificaron otros factores de riesgo como la edad, el sexo femenino y la comorbilidad.

La revista Computers in Human Behavior también publicó el estudio de Best, Manktelow y Taylor (2014), en el que se encontró una correlación significativa entre el uso intensivo de redes sociales y el aumento de los niveles de estrés y ansiedad. El estudio destaca que la exposición constante a contenido negativo y la comparación social en las redes sociales pueden contribuir a estos efectos en la salud mental. Además, se identifica que, a partir del uso indiscriminado de las redes sociales, los jóvenes tienden a comparar la propia vida con la de otros y esto puede generar sentimientos de inferioridad y baja autoestima. Este fenómeno es especialmente relevante entre los adolescentes, quienes son más susceptibles a la presión social y la comparación constante. Asimismo, se destaca un miedo a perderse algo, como otro factor que contribuye al aumento de los niveles de estrés y ansiedad. Los usuarios de redes sociales sienten la necesidad de estar constantemente actualizados y conectados, lo que puede generar una sensación de urgencia y estrés.

El estudio de Best, Manktelow y Taylor también destaca que el ciberacoso y los comentarios negativos en las redes sociales pueden tener un impacto significativo en la salud mental de los adolescentes. La exposición a críticas y acoso en línea puede aumentar los niveles de ansiedad y depresión. Finalmente, otro de los datos destacados del estudio es que el uso intensivo de redes sociales se asocia con una menor calidad del sueño. La exposición a la luz azul de las pantallas y la estimulación constante pueden interferir con los patrones de sueño, lo que a su vez afecta el bienestar general, algo que ya fue mencionado anteriormente y que se reafirma también en este otro estudio. Al respecto, según la National Sleep Foundation (2014), la exposición a la luz azul de las pantallas antes de dormir puede interferir con la producción de melatonina, una hormona que regula el sueño. Esta investigación descubrió que el uso de dispositivos electrónicos antes de acostarse está relacionado con una peor calidad del sueño y un mayor riesgo de insomnio. Los investigadores recomiendan limitar el uso de dispositivos electrónicos al menos una hora antes de acostarse para mejorar la calidad del sueño.

### EL COSTO IRREMEDIABLE DE LA TECNOLOGÍA INSOSTENIBLE

Hasta hace algunas décadas, los resultados de estos estudios no eran considerados como concluyentes, pero comenzaba a ser evidente la necesidad de legislar el desarrollo tecnológico para prevenir los impactos que ahora son evidentes y, en muchos casos, irreversibles. Algunos países apelaron al principio precautorio, es decir, a que el producto no se liberara al mercado hasta no asegurarse de que no tuviera consecuencias en la salud humana y ambiental, pero no todos han podido tomar tales precauciones, teniendo que pagar con vidas humanas o degradación ambiental.

¿Cuáles son los costos de todo esto? ¿Es posible generar un estimado entre la inversión en tecnologías sostenibles y los impactos del uso de la tecnología insostenible? La respuesta es sí; sin embargo, antes de profundizar, quisiera aclarar qué es considerado un costo ambiental. De acuerdo con Rosas y Hernández (2017), los costos ambientales son los “gastos en los que una empresa incurre debido a que existen o pueden existir potencia-

les daños al medio ambiente por el desarrollo de sus actividades" (p. 33), es decir, aquello que tendría que pagar la empresa si sus actividades ocasionan un daño a la salud humana y/o ambiental. Pero, además, tomando en cuenta que los recursos naturales son bienes públicos, es decir, no le generaron un costo de inversión a nadie, pareciera que no es necesario cuidarlos; sin embargo, calcular cuánto cuesta tener aire, suelo o agua limpios nos daría un estimado de su incalculable valor real, pues, como lo mencionan Rosas y Hernández "en la actualidad, el desconocimiento de su precio provoca, en no pocas actividades económicas, un uso inadecuado y la sobreexplotación de los mismos (p. 197).

Calcular estos impactos es complejo, porque son recursos invaluables y requiere mucho más que ponerle un precio al agua o aire limpio. Sin embargo, se pueden hacer estimaciones aproximadas basadas en los costos económicos asociados con su pérdida o recuperación. Por ejemplo, el precio del agua limpia puede calcularse a partir del costo de potabilizar el agua contaminada, que incluye filtración, tratamiento químico y desinfección. Esto varía por región, pero puede ser de \$5.40 a \$12.60 pesos por metro cúbico de agua tratada (Sistema Nacional de Tarifas de la Comisión Nacional del Agua, 2025). Si el lago de Chapala, el más grande de México, con una capacidad total de aproximadamente 7,897 millones de metros cúbicos, se tratara, costaría un total de entre \$42,643.8 millones de pesos (mínimo) a \$99,496.2 millones de pesos (máximo).

Para Cantú Martínez (2011), el progreso y avance de la ciencia y tecnología aplicada, especialmente en urbanización e industrialización, han llevado a una degradación ambiental significativa. La innovación tecnológica, aunque beneficiosa en muchos aspectos, también ha contribuido a la destrucción de ecosistemas y la pérdida de biodiversidad. Para el autor, no se trata de elegir entre crecimiento económico y calidad del ambiente, sino de encontrar un equilibrio que permita armonizar ambos objetivos, para lo cual propone una redefinición de los modelos de utilización de recursos y métodos de crecimiento para lograr la sostenibilidad.

En la era digital actual, los dispositivos tecnológicos se han convertido en una parte integral de nuestra vida diaria. Desde teléfonos celulares y tabletas hasta computadoras y consolas de videojuegos, estos dispositivos nos mantienen conectados, informados y entretenidos. Sin embargo, su uso excesivo, como se pudo observar, tiene consecuencias significativas

en nuestra salud que podrían agravarse a largo plazo, afectando la calidad de vida de las personas y aumentando la carga sobre los sistemas de salud.

Por otro lado, la inacción también impide el desarrollo de tecnologías sostenibles que podrían ofrecer soluciones innovadoras y económicas a estos problemas. La pérdida de oportunidades para la innovación y el desarrollo de economías sostenibles limitan nuestra capacidad para adaptarnos y prosperar en un futuro con alta incertidumbre. Se pierde la posibilidad de fomentar una cultura de sostenibilidad y responsabilidad ambiental en las generaciones futuras, por lo cual es crucial examinar estos problemas para entender mejor cómo podemos equilibrar su uso por un bienestar común.

### ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

La tecnología sostenible se puede definir como el conjunto de innovaciones y desarrollos tecnológicos que buscan minimizar el impacto ambiental negativo y promueven un uso eficiente y responsable de los recursos naturales (Universitat Carlemany, 2023). Esto implica la creación de productos y servicios que no solo satisfagan los “deseos de la sociedad”, sino que también aseguren la salud del planeta y la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras.

La tecnología sostenible tiene un papel crucial en la reducción de la contaminación ambiental. Por un lado, utiliza fuentes de energía renovable como la solar y la eólica, que disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos, pero, además, ayuda a minimizar la liberación de sustancias tóxicas al ambiente, debido a la implementación de tecnologías de reciclaje avanzado y gestión de residuos electrónicos (Kemfert, y Diekmann, 2016). Las tecnologías sostenibles están diseñadas para utilizar los recursos de manera más eficiente y responsable, esto implica adoptar prácticas de economía circular, donde los materiales se reutilizan y reciclan en lugar de ser desechados. Un ejemplo de ello es la agricultura de precisión y los edificios verdes que optimizan el uso del agua y la energía, reduciendo la demanda de recursos naturales (Nilsson, et. al., 2017).

La adopción de tecnologías sostenibles tiene un impacto positivo en la salud pública, pues la reducción de la contaminación del aire y del agua disminuye también la incidencia de enfermedades respiratorias y otras afecciones relacionadas con la contaminación. De acuerdo con estudios de Ahmad y otros colegas (2021), la exposición a menores niveles de radiaciones electromagnéticas y sustancias tóxicas en el ambiente, mejora el bienestar general de la población. Además, de acuerdo con García (2025), de utilizarse materiales reciclados como aluminio reciclado y plásticos recuperados de los océanos para fabricar dispositivos y accesorios biodegradables como fundas y cargadores compostables, se puede contribuir significativamente en la reducción de la huella de carbono y a la mitigación del cambio climático.

En estudios realizados por Petrov sobre eficiencia energética (2024), se concluye que, diseñar dispositivos que consuman menos energía y prolonguen la vida útil de la batería, así como electrodomésticos inteligentes que tengan funciones de ahorro energético, también pueden reducir las facturas de electricidad y huella de carbono. Mientras que, para Pentcloud (2023), adoptar prácticas más limpias en los procesos de fabricación, como el uso de energía renovable en las fábricas y la optimización de la logística para minimizar las emisiones, ayuda en la reducción de la huella de carbono en la producción. Al respecto, Petrov recomienda que, para prolongar la vida útil de los dispositivos, se debe realizar un mantenimiento adecuado y repararlos en lugar de reemplazarlos, así como optar por la compra de hardware reacondicionado en lugar de adquirir nuevos equipos. Ambos estudios enfatizan en la necesidad de que las personas participen en programas de reciclaje electrónico para asegurar una gestión adecuada de los residuos peligrosos y reducir la cantidad de desechos electrónicos tirados a cielo abierto, así como configurar los dispositivos en el modo de bajo consumo y desconectarlos cuando no estén en uso.

De acuerdo con los estudios consultados, se identifican a continuación los siguientes pilares fundamentales de una tecnología sostenible:

1. **Eficiencia energética:** diseñar y utilizar tecnologías que consuman menos energía y aprovechen las fuentes de energía renovable.
2. **Reducción de residuos:** promover que los procesos y materiales utilizados minimicen la generación de residuos, fomentando el reciclaje,

- la reutilización y, de ser posible, su incorporación al proceso inicial de producción.
3. Materiales sostenibles: utilizar materiales reciclados, biodegradables y/o de bajo impacto ambiental en la fabricación de dispositivos y productos.
  4. Durabilidad y reparabilidad: promover la creación de productos duraderos y fáciles de reparar para prolongar su vida útil y reducir la necesidad de reemplazarlos frecuentemente.
  5. Responsabilidad social: considerar los aspectos éticos y sociales en la producción y uso de tecnologías, asegurando condiciones de trabajo justas y bienestar de las comunidades afectadas con la extracción de sus recursos naturales.

García Gutiérrez y Polo Garrido (2020) desarrollaron un estudio en el que analizan cómo la inversión en tecnologías sostenibles ha evolucionado y cuál ha sido su impacto en la sostenibilidad ambiental. Los autores destacan que la inversión en tecnologías sostenibles no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos naturales, sino que también mejora la eficiencia energética y la competitividad de las empresas. Concluyen que las tecnologías sostenibles pueden generar beneficios económicos a largo plazo, a pesar de los costos iniciales más altos en comparación con las tecnologías convencionales.

## **POLÍTICAS Y REGULACIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS**

El desafío de enfrentar el cambio climático y garantizar un futuro sostenible exige acciones más audaces tanto de los gobiernos como de la iniciativa privada. Es crucial implementar inversiones estratégicas y políticas públicas que impulsen la transición de tecnologías convencionales hacia alternativas sostenibles, capaces de transformar los sistemas de producción y consumo actuales. Entre estos esfuerzos, reducir el uso de dispositivos electrónicos, especialmente aquellos que tienen una vida útil corta o son de difícil reciclaje, debe considerarse como una necesidad urgente. Además, se debe promover la reutilización, el reciclaje eficiente y el desarrollo de productos más duraderos, no solo para disminuir el

impacto ambiental, sino también para reducir la dependencia de recursos no renovables en su fabricación.

En la bibliografía consultada se identifican ejemplos destacados de cooperación como el Memorando de Entendimiento entre el Estado de Sonora, México y la Comisión de Energía de California, Estados Unidos. El acuerdo tiene como objetivos principales “aumentar el acceso a fuentes renovables, mejorar la eficiencia energética en edificios, fortalecer la resiliencia de la cadena de suministro y fomentar la investigación en movilidad eléctrica y tecnologías limpias” (Gobierno de California, 2025). La alianza busca abordar desafíos compartidos, como la contaminación del aire y la confiabilidad energética, mientras se impulsa el liderazgo de ambos estados en sostenibilidad y se generan beneficios económicos y sociales para la región (Idem). Aunque el ejemplo resalta una colaboración entre instancias públicas, el enfoque incluye fomentar el desarrollo de proyectos que podrían involucrar al sector privado, especialmente en áreas como la energía limpia, movilidad eléctrica y tecnologías sostenibles. Esta colaboración entre sector público y privado definitivamente ayuda a encauzar esta transición tecnológica.

Otras políticas identificadas destacan la creación de incentivos fiscales y subvenciones gubernamentales para energías renovables, normativas para la regulación de las emisiones de gases contaminantes, programas para la promoción de investigación y desarrollo tecnológico, programas para la activación de la economía circular y colaboraciones y alianzas. A continuación, se describen algunos ejemplos notorios.

## INCENTIVOS FISCALES Y SUBVENCIONES

Con relación a incentivos fiscales y subvenciones, algunos gobiernos han creado este tipo de políticas para promover la adopción de tecnologías de sostenibilidad. Por ejemplo, Estados Unidos, a través de la Ley de Reducción de la Inflación del 2022, una legislación clave para abordar el cambio climático y promover tecnologías limpias, ha destinado 370 mil millones de dólares en incentivos ambientales. Estos incluyen créditos fiscales y subvenciones para inversiones en tecnologías verdes, así como incentivos para proyectos de construcción y transporte con bajas emisiones llamado Investment Tax Credit (ITC), el cual proporciona un crédito

fiscal del 26% para sistemas de energía solar instalados en propiedades residenciales y comerciales (U.S. Congress, 2022).

Alemania, por su parte, es un país pionero en energías renovables gracias a su Ley de Energías Renovables (EEG), la cual ofrece tarifas fijas para energía solar y eólica, así como incentivos para investigación y desarrollo de tecnologías limpias y financiamiento para pequeñas y medianas empresas que invierten en energías renovables (Deutscher Bundestag, 2023); Dinamarca es reconocida por su liderazgo en energía eólica, el gobierno ofrece subsidios y programas de apoyo para proyectos de energía renovable, además de incentivos fiscales para empresas que adoptan tecnologías sostenibles (Zbotech, 2023); España ha implementado políticas para fomentar la energía solar, incluyendo subvenciones directas y tarifas de alimentación que garantizan precios estables para la energía generada a partir de fuentes renovables (Greenheiss, 2021).

### **ESTÁNDARES VOLUNTARIOS DE SOSTENIBILIDAD**

Los Estándares Voluntarios en Materia de Sustentabilidad (VSS, por sus siglas en inglés), son herramientas diseñadas para promover prácticas de producción y consumo sostenibles, así como fortalecer la protección de los derechos de los trabajadores y facilitar el acceso a mercados internacionales. Estos estándares buscan abordar aspectos económicos, sociales y ambientales, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (Secretaría de Economía, s./f.). Tienen un impacto especial en objetivos como la igualdad de género, el trabajo decente, la reducción de desigualdades y la producción responsable. Su implementación es voluntaria, pero pueden ser adoptados por empresas, gobiernos y organizaciones para mejorar la sostenibilidad en sus operaciones y cadenas de suministro.

Los estándares operan mediante la definición de criterios específicos que las empresas o productores deben cumplir para obtener certificaciones o reconocimientos. Estos criterios pueden incluir el uso eficiente de recursos, la reducción de emisiones de carbono, la protección de los derechos laborales y la promoción de la biodiversidad. Además, suelen ser monitoreados por organismos independientes que verifican el cumplimiento de las normas establecidas.

En México esto se hace a través de la Secretaría de Economía (Op Cit), que crea y fomenta los estándares de sostenibilidad y con ellos busca fortalecer la protección de los derechos laborales y facilitar el acceso a mercados internacionales. Los estándares mexicanos abarcan diversas áreas en las que se promueven prácticas cada vez más responsables y sostenibles. Algunos ejemplos de nuestros estándares son:

- La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que regula los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores, promoviendo la protección de recursos hídricos.
- La Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, enfocada en el ámbito laboral, fomenta la sostenibilidad social al garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables, reduciendo riesgos psico-sociales.
- Las Normas de Información de Sostenibilidad (NIS), establecen indicadores básicos de sostenibilidad relacionados con aspectos ambientales, sociales y de gobernanza. Su objetivo es mejorar la transparencia y el desempeño sostenible de las empresas.
- La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), aunque no es una norma específica, establece lineamientos para la gestión adecuada de residuos, promoviendo la economía circular y la reducción de desechos.

También aparece Alemania como un país promotor de estándares de sostenibilidad en sectores como la agricultura y la energía, promoviendo prácticas responsables en la producción y el comercio. Por ejemplo, este gobierno ha implementado estándares para fomentar el uso de energías renovables, como la energía solar y eólica. Esto incluye incentivos para la instalación de paneles solares y la promoción de parques eólicos; además, promueve prácticas de economía circular, creando estándares que promueven la reutilización y el reciclaje de materiales, reduciendo los residuos y fomentando la sostenibilidad en la producción y el consumo; fomentan la construcción sostenible, apoyando certificaciones como el Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), que establece criterios para edificios sostenibles en términos de eficiencia energética,

materiales y diseño; apoyan la movilidad verde, estableciendo estándares para vehículos eléctricos e infraestructura de carga, apoyando la transición hacia un transporte más limpio (Bundesregierung Deutschland, 2021).

Por su parte, India también ha adoptado estándares en la industria textil para garantizar condiciones laborales justas y reducir el impacto ambiental, el llamado Global Organic Textile Standard (GOTS), el cual se aplica ampliamente en la industria textil del país, promoviendo el uso de materiales orgánicos y prácticas sostenibles en la producción de textiles; también está la llamada Alianza para la Gestión del Agua (Alliance for Water Stewardship), que India ha adoptado para promover el uso eficiente y sostenible del agua en sectores como la agricultura y la industria; otro ejemplo es el mecanismo de negociación llamado Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO), el cual busca garantizar que la producción de aceite de palma en India cumpla con criterios ambientales y sociales responsables (Centre for Responsible Business, s/f).

### **NORMATIVAS DE EMISIONES**

Tener normativas de emisiones es crucial para abordar el cambio climático y sus impactos globales. Es una responsabilidad compartida, ya que los gases de efecto invernadero no respetan fronteras, lo que significa que las emisiones de un país afectan a todo el planeta. Las emisiones no solo contribuyen al calentamiento global, también generan contaminación del aire, causando problemas de salud como enfermedades respiratorias y cardiovasculares que ya se han mencionado anteriormente. Las normativas ayudan a prevenir estas afecciones, evitando desigualdades en los costos de producción entre países, nivelando el terreno para un comercio internacional más justo y sostenible. Además, las normativas de cada país son esenciales para cumplir los compromisos globales como el Acuerdo de París (UNFCCC, 2015), cuyo objetivo es limitar el calentamiento global a menos de 1.5 °C. De esta forma, al reducir las emisiones, se disminuye la intensidad de fenómenos como huracanes, sequías y olas de calor, que tienen efectos devastadores en comunidades de todo el mundo.

La implementación de normativas estrictas sobre emisiones de gases de efecto invernadero obliga a las industrias de cada país a adoptar tec-

nologías más limpias. Por ejemplo, la Unión Europea ha establecido objetivos ambiciosos para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 55% para 2030, en comparación con los niveles que tenía en 1990. Además, cada país determina condiciones especiales, tal es el caso de Alemania y su política de Energiewende (ahorro energético), que incluye estrictas regulaciones para reducir las emisiones de carbono en la generación de electricidad (Pinsent Masons, 2019). Esto ha impulsado el desarrollo de energía solar, eólica y biomasa, además de reducir las emisiones de vehículos, promoviendo el uso de autos eléctricos y la infraestructura de carga en dicho país.

En Suecia, también se han implementado regulaciones para reducir las emisiones en la producción de acero, fomentando tecnologías como el acero libre de fósiles (Proyecto HYBRIT), así como la gestión de residuos, con políticas que incentiven la conversión de residuos en energía, reduciendo las emisiones de metano (Agriciente, 2024).

Estados Unidos lo ha hecho en el sector automotriz, a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), que ha establecido estándares de eficiencia de combustible y emisiones para vehículos, lo que ha llevado a la adopción de tecnologías híbridas y eléctricas; asimismo, ha fomentado la construcción sostenible a través de normativas como el LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) que promueve edificios más eficientes y con menor huella de carbono (EPA, s/f).

China, país reconocido por su alto y rápido crecimiento e impacto ambiental, también lo es en desarrollo tecnológico. Este país ha implementado estrictas regulaciones para reducir las emisiones en fábricas, incentivando el uso de tecnologías limpias y energías renovables. Además, es líder en la instalación de paneles solares y turbinas eólicas, gracias a políticas que fomentan la inversión en energías limpias (UNEP, 2018).

## PARTICIPACIÓN DE LAS EMPRESAS E INDUSTRIAS

La participación activa de las empresas y la industria es crucial para la transición hacia una economía sostenible. Las empresas son responsables de una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero y del uso de recursos. Al adoptar prácticas sostenibles, como la eficiencia energética, el uso de energías renovables o la economía circular, pueden reducir considerablemente su huella ambiental. Igualmente, las indus-

trias poseen los recursos y capacidades para invertir en investigación y desarrollo de tecnologías limpias. Esto impulsa soluciones innovadoras que pueden transformar sectores como la energía, la manufactura y el transporte. Al implementar estándares sostenibles, las empresas pueden influir positivamente en sus cadenas de suministro, fomentando prácticas responsables desde la producción de materias primas hasta la entrega de productos finales.

Sin duda, las empresas también tienen la capacidad de redefinir modelos de negocio, priorizando bienes y servicios que satisfacen necesidades actuales sin comprometer los recursos futuros. Esto incluye desde productos reciclables hasta soluciones basadas en energías limpias. Asimismo, la transición hacia la sostenibilidad genera oportunidades laborales en sectores emergentes como las energías renovables, la gestión de residuos y la tecnología ecológica.

Las empresas pueden adoptar modelos de economía circular que promuevan la reutilización y el reciclaje de materiales. Un informe de la Fundación Ellen MacArthur destaca que la economía circular podría generar ahorros de hasta 700 mil millones de dólares anuales en Europa (Ellen MacArthur Foundation, 2020). También pueden integrar la sostenibilidad en sus estrategias, comprometiéndose a reducir su huella de carbono y mejorar la eficiencia de sus operaciones.

Un estudio de Ioannou y Serafeim publicado en la revista Harvard Business Review (2019), encontró que las empresas con prácticas sostenibles tienen un rendimiento financiero superior a largo plazo. Pueden formar alianzas con organizaciones no gubernamentales y gobiernos para desarrollar e implementar tecnologías sostenibles. La iniciativa RE100, que reúne a empresas comprometidas con el uso de energía 100% renovable, es un ejemplo de colaboración exitosa (The Climate Group, 2021; RE100, 2021).

Sin embargo, la transición hacia una economía sostenible no solo depende de las acciones de las empresas y los gobiernos, también es responsabilidad activa de los consumidores. Comprender el poder de nuestras decisiones de compra es fundamental. Cada producto que elegimos respalda o desafía las prácticas empresariales, incentivando a las compañías a innovar y adoptar modelos más responsables a lo largo de

todo el ciclo de vida de sus productos. Sin embargo, este poder también requiere reflexión.

Es crucial que los consumidores evaluemos nuestras necesidades reales, evitemos el consumismo excesivo y adoptemos hábitos más conscientes, especialmente en lo que respecta al uso de dispositivos electrónicos. La dependencia excesiva a ellos no solo tiene un impacto ambiental, sino también en nuestra calidad de vida, como ya se demostró. Como usuarios, debemos ser responsables de gestionar el tiempo que dedicamos a los dispositivos, asegurándonos de que su uso sea equilibrado y significativo.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La tecnología ha sido un importante motor de progreso, pero también ha traído consigo desafíos ambientales y de salud que no podemos ignorar. Este capítulo tuvo como propósito principal crear conciencia sobre esos impactos, proporcionando información respaldada por datos científicos y mostrando cómo cada acción, por pequeña que parezca, puede marcar la diferencia. La sensibilización sobre los problemas que enfrentamos, como la contaminación por desechos tecnológicos y sus efectos en nuestra salud, es solo el primer paso hacia el cambio.

Es esencial reconocer que la responsabilidad no recae solo en los gobiernos y las empresas, sino también en cada individuo. Reflexionar sobre nuestras necesidades, cuestionar la compra compulsiva y educarnos sobre los efectos del uso excesivo de dispositivos tecnológicos son responsabilidades ineludibles. Asimismo, enseñar a las nuevas generaciones, especialmente a los niños y jóvenes, a utilizar la tecnología de manera consciente y equilibrada asegura un futuro más informado y responsable. Debemos fomentar en ellos una comprensión profunda de los impactos ambientales, sociales y personales que conlleva el uso desmedido de la tecnología, promoviendo así una relación más saludable y sostenible con el entorno digital.

Este capítulo busca no únicamente adoptar tecnologías más sostenibles, sino también destacar la importancia de unir esfuerzos. La cooperación entre gobiernos, empresas y consumidores es la clave para lograr un cambio significativo en la adquisición de energía sustentable. Iniciativas que promuevan el uso de energías renovables, el diseño de productos

reciclables y el desarrollo de normativas ambientales deben ser vistas como oportunidades para avanzar, no como restricciones.

La responsabilidad ética compartida en el desarrollo y uso de la tecnología resulta esencial para afrontar los desafíos socioambientales actuales. Las empresas tecnológicas tienen el deber de integrar la sostenibilidad en el núcleo de sus operaciones, apostando por el diseño de productos que utilicen materiales reciclables, sean energéticamente eficientes y tengan una mayor vida útil. Esto debe complementarse con políticas gubernamentales sólidas que regulen prácticas nocivas como la obsolescencia programada, promoviendo incentivos para modelos de economía circular que minimicen los desechos electrónicos y favorezcan una transición hacia tecnologías más limpias. En este sentido, el papel de los gobiernos no solo consiste en imponer normativas, sino también en fomentar la innovación mediante subsidios y programas de colaboración público-privada enfocados en el desarrollo de tecnologías sostenibles.

Así mismo, las instituciones educativas desempeñan un rol crucial en la formación de ciudadanos conscientes y responsables. Incorporar la enseñanza sobre los impactos ambientales, sociales y éticos del uso de la tecnología en los planes de estudio puede inspirar en las nuevas generaciones una mentalidad más crítica y comprometida. Educar desde edades tempranas no solo permite inculcar hábitos responsables, sino que también despierta el interés por soluciones innovadoras que aborden problemas como la gestión de desechos tecnológicos y el diseño de dispositivos más sostenibles. La educación no debe ser vista como un elemento aislado, sino como un pilar fundamental para garantizar un cambio cultural hacia un modelo de consumo más ético y equilibrado.

Por otro lado, las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas y la biotecnología presentan tanto oportunidades como retos éticos. Su desarrollo debe basarse en principios claros que minimicen los riesgos ambientales y sociales, promoviendo la transparencia en sus procesos y priorizando el bienestar colectivo sobre intereses económicos. Realizar evaluaciones de impacto ético antes de lanzar nuevos productos o servicios al mercado es una práctica que debería convertirse en estándar, asegurando que las innovaciones no comprometan el equilibrio social ni ambiental.

La colaboración internacional es otro aspecto indispensable para abordar problemas globales como el manejo de desechos electrónicos, la contaminación ambiental y el cambio climático. Las alianzas entre países permiten compartir conocimientos, recursos y tecnologías, creando una sinergia que multiplica el impacto de las iniciativas sostenibles. Desde acuerdos para reciclar y reutilizar materiales hasta proyectos conjuntos para el desarrollo de energías renovables, la cooperación global es un instrumento poderoso para enfrentar desafíos que trascienden fronteras.

Finalmente, a nivel individual, los consumidores desempeñan un papel igualmente importante en este paradigma ético y sostenible. Fomentar hábitos de consumo responsable, como la reparación de dispositivos en lugar de su reemplazo, la compra consciente y el reciclaje, es esencial para reducir nuestra huella ambiental. Las campañas globales de sensibilización son herramientas clave para educar al público sobre la importancia de adoptar comportamientos más verdes, mientras que las decisiones informadas de los consumidores pueden influir significativamente en las prácticas de las empresas.

En conjunto, estas acciones resaltan que la tecnología, si bien puede ser un motor de progreso, también debe ser manejada con responsabilidad ética y sostenibilidad. Cada decisión, desde la más individual hasta la más colectiva, tiene el potencial de contribuir a un equilibrio entre el avance tecnológico y el respeto por nuestro planeta. Al asumir este compromiso, no solo garantizamos un futuro más sostenible, sino también un legado de bienestar para las generaciones venideras.

### CONFLICTO DE INTERÉS

La autora declara que no existe ningún conflicto de interés con relación a este capítulo del libro. No se han recibido beneficios económicos, financieros o de otro tipo que pudieran influir en los resultados o interpretaciones presentados en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (s.f.). Leyes y normas – Reglamentos ambientales. <https://espanol.epa.gov/espanol/leyes-y-normas-reglamentos-ambientales>
- Agrificiente. (2024). Reducción de emisiones de carbono en Suecia: Las claves del éxito escandinavo en energía sostenible. <https://www.agrificiente.cl/reduccion-de-emisiones-de-carbono-suecia/>
- Ahmad, M., *et al.* (2021). Impact of excessive mobile phone use on sleep quality and mental health among university students. *Journal of Behavioral Addictions*, 10(3), 567–579. <https://doi.org/10.1556/2006.2021.00053>
- AIE. (2025). Electricidad 2025. París. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0f028d5f-26b1-47ca-ad2a-5ca3103d070a/Electricity2025.pdf>
- Amazon. (2023). 2023 Amazon sustainability report. <https://sustainability.aboutamazon.com/2023-amazon-sustainability-report.pdf>
- American Academy of Ophthalmology. (2024). Computers, digital devices, and eye strain. <https://www.aao.org/eye-health/tips-prevention/computer-usage>
- Avakian, A., *et al.* (2019). The environmental footprint of mobile communication systems: A life cycle assessment of the mobile phone. *Journal of Cleaner Production*, 231, 105–117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.123>
- Balbastre Tejedor, M., Andani Cervera, J., Garrido Lahiguera, R., & López Ferreres, A. (2016). Análisis de factores de riesgo laborales y no laborales en síndrome de túnel carpiano (STC) mediante análisis bivariante y multivariante. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*, 25(3), 1–10. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S3020-11602016000300004](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S3020-11602016000300004)
- Best, P., Manktelow, R., & Taylor, B. (2014). Online communication, social media and adolescent wellbeing: A systematic narrative review. *Computers in Human Behavior*, 41, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.09.008>
- Bundesregierung Deutschland. (2021). Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Nationale und globale Ziele. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1940772/023125be93c31655cfcc88f15fad-d486/2021-07-08-kurzpapier-n-spanisch-data.pdf?download=1>

- Cantú Martínez, P. C. (2011). El costo ambiental por el ascenso en la ciencia y la tecnología. *Ciencia UANL*, 14(2), 127–131. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40218433004.pdf>
- Centre for Responsible Business. (s.f.). India Sustainability Standards (ISS). <https://c4rb.org/india-sustainability-standards-iss/>
- Claus, S. P., & Guillou, H. (2015). The impact of environmental chemicals on the gut microbiome. *Environmental Health Perspectives*, 123(3), 233–240. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408887>
- De Brito Cruz, C. H. (2024). Research funding organizations and the UN Sustainable Development Goals. [https://sdgs.un.org/sites/default/files/2024-05/de%20Brito%20Cruz\\_Research%20Funding%20Organizations%20and%20the%20UN%20Sustainable%20Development.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2024-05/de%20Brito%20Cruz_Research%20Funding%20Organizations%20and%20the%20UN%20Sustainable%20Development.pdf)
- Deutscher Bundestag. (2023). Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und weiterer energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften zur Steigerung des Ausbaus photovoltaischer Energieerzeugung. <https://dserver.bundestag.de/btd/20/086/2008657.pdf>
- DKV Instituto de la Vida Saludable, & Educar es Todo. (2024). I Estudio sobre la percepción de la salud mental de los adolescentes y el mal uso de la tecnología. Confederación Salud Mental España. <https://consaludmental.org/publicaciones/Estudio-percepcion-salud-mental-adolescentes-uso-tecnologia.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. (2020). The circular economy opportunity for urban & industrial innovation. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>
- European Agency for Safety and Health at Work. (2014). Scoping study for a foresight on new and emerging occupational safety and health (OSH) risks and challenges. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2802/32660>
- European Commission. (2021). EU Climate Action. [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en)
- Fondo para la Defensa de la Salud Ambiental (Fodesam). (2009). Mercurio y plomo. <https://www.fondosaludambiental.org/?q=node/125>

- García Gutiérrez, A., & Polo Garrido, F. (2020). Índices de inversión sostenible: Una revisión estructurada de literatura. AECA. <https://aecas.es/wp-content/uploads/ixjor/15.pdf>
- García, J. (2025). Tendencias en tecnología ecológica: Dispositivos sostenibles. Movimur. <https://movimur.com/blog/tendencias-en-tecnologia-ecologica-dispositivos-sostenibles-y-sus-beneficios>
- Gentzkow, M., *et al.* (2024). Tackling smartphone use and the youth mental health crisis. Stanford Institute for Economic Policy Research (SIEPR). <https://siepr.stanford.edu/news/tackling-smartphone-use-and-youth-mental-health-crisis>
- Gobierno de California. (2025). Memorando de entendimiento entre la Comisión de Energía de California y el Gobierno del Estado de Sonora: Colaboración en energía limpia y sostenible. [https://www.gov.ca.gov/wp-content/uploads/2025/03/CEC\\_Sonora\\_MOU\\_ESP.pdf](https://www.gov.ca.gov/wp-content/uploads/2025/03/CEC_Sonora_MOU_ESP.pdf)
- Gobierno de Dinamarca. (s.f.). Sustainability and renewable energy programs. <https://denmark.dk/sustainability>
- Gobierno de México. (2025). Sistema Nacional de Tarifas. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/sistema-nacional-del-tarifas>
- González-Menéndez, E., López-González, M.ª J., González Menéndez, S., García González, G., & Álvarez Bayona, T. (2019). Principales consecuencias para la salud derivadas del uso continuado de nuevos dispositivos electrónicos con PVD. Revista Española de Salud Pública, 93, e201908062. [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272019000100304](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100304)
- Google. (2024). Google environmental report 2024. <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>
- Greenheiss. (2021). Política energética de energías renovables en España 2030. <https://www.greenheiss.com/politica-energetica-espana/?form=MGoAV3>
- Guzmán Sánchez, E. U., Ávila Aguirre, O. L., Avilés Mandujano, P. R., Alfaro Molina, J. R., González Martínez, P. R., & Belmont Moreno, E. J. M. de la S. (s.f.). Evidencia científica sobre las radiaciones electromagnéticas. Medición de Radiaciones. <https://medicionderadiaciones.com/contaminacion-electromagnetica/evidencia-cientifica-sobre-las-radiaciones-electromagneticas/>

- Hardell, L., Carlberg, M., & Hansson Mild, K. (2009). Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumor diseases. *Pathophysiology*, 16(2–3), 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.01.003>
- Harvard Business Review. (2019). The financial impact of sustainability. <https://hbr.org/2019/05/the-financial-impact-of-sustainability>
- Hidalgo Aguilera, L. (2010). La basura electrónica y la contaminación ambiental. *Enfoque UTE*, 1(1), 46–61. <https://www.redalyc.org/pdf/5722/572260832004.pdf>
- Hidalgo Aguilera, L. (2018). La basura electrónica y la contaminación ambiental. *Enfoque UTE*, 9(4), 105–118. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v9n4.422>
- Huss, A., Spoerri, A., Egger, M., Röösli, M., & Swiss National Cohort Study Group. (2013). Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: Longitudinal study of the Swiss population. *American Journal of Epidemiology*, 177(9), 970–978. <https://doi.org/10.1093/aje/kws330>
- International Energy Agency. (2021). World energy outlook 2021. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- International Labour Organization. (2019). A new circular vision for electronics – Time for a global reboot. <https://www.ilo.org/es/resource/news/50-millones-de-toneladas-de-residuos-electronicos-se-desechan-cada-ano>
- International Telecommunication Union. (2024). The global E-waste monitor 2024. [https://www.itu.int/hub/publication/d-gen-e\\_waste-01-2024/](https://www.itu.int/hub/publication/d-gen-e_waste-01-2024/)
- Ioannou, I., & Serafeim, G. (2019). Yes, sustainability can be a strategy. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2019/02/yes-sustainability-can-be-a-strategy>
- Kemfert, C., Diekmann, J., et al. (2016). Germany's Energiewende: A review of the costs and benefits. *Energy Policy*, 99, 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.015>
- Lepp, A., Barkley, J. E., & Karpinski, A. C. (2015). The relationship between cell phone use, academic performance, anxiety, and satisfaction with life in college students. *Computers in Human Behavior*, 31, 343–350. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.041>

- López Turcios, R. I., & Chamizo García, H. A. (2023). Exposición a la contaminación antropogénica por mercurio y sus efectos en la salud. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(2), 105–118. <https://doi.org/10.15359/rca.57-2.12>
- Microsoft. (2024). Microsoft 2024 environmental sustainability report. <https://cdn-dynmedia-1.microsoft.com/is/content/microsoft-corp/microsoft/msc/documents/presentations/CSR/Microsoft-2024-Environmental-Sustainability-Report.pdf>
- Ministry of Economy, Trade and Industry. (2021). Green innovation fund. [https://www.meti.go.jp/english/policy/energy\\_environment/green\\_innovation\\_fund.html](https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/green_innovation_fund.html)
- Moncada Tillca, C., Farromeque Morante, C., Villalobos Calle, J., Aylas Saccaco, N., & Cangahuala Martinez, R. (2023). Los costos ambientales y la sostenibilidad en la gestión empresarial. *Revista Lidera*, 18, 32–37. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/revistalidera/article/view/28547>
- Naciones Unidas. (2022). Informe global de residuos electrónicos 2022. <https://news.un.org/es/story/2024/03/1528476>
- National Cancer Institute. (2021). Los campos electromagnéticos y el cáncer. <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/radiacion/hoja-informativa-campos-electromagneticos>
- National Sleep Foundation. (2014). 2014 Sleep in America Poll: Sleep in the modern family. <https://www.sleepfoundation.org/professionals/sleep-america-polls/2014-sleep-modern-family>
- New Energy and Industrial Technology Development Organization. (s.f.). Overview of the green innovation fund projects. <https://green-innovation.nedo.go.jp/en/about/>
- Nie, N. H., & Erbring, L. (2000). Internet and society: A preliminary report. Stanford Institute for the Quantitative Study of Society. <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/cs201/projects/personal-lives/stanford.html>
- Nilsson, L. J., et al. (2017). The impact of renewable energy policies on air quality and public health in Sweden. *Environmental Research Letters*, 12(4), 045001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa65a5>
- Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad, & Digital Future Society. (2023). Impacto del uso de Internet y las redes sociales en la salud

- mental de jóvenes y adolescentes. <https://consaludmental.org/publicaciones/Impacto-internet-redes-sociales-salud-mental-jovenes.pdf>
- ONU. (2021). Science, technology, and innovation for sustainable development. [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/27892BN\\_HLPF\\_2021\\_\\_Science\\_technology\\_and\\_innovation.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/27892BN_HLPF_2021__Science_technology_and_innovation.pdf)
- Pentcloud. (2023). Cómo reducir la huella de carbono en tecnología: Estrategias para empresas sostenibles. <https://www.pentcloud.com/post/c%C3%B3mo-reducir-la-huella-de-carbono-en-tecnolog%C3%A1-Da-estrategias-para-empresas-sostenibles>
- Pérez Alejo, J. L., & Miranda Leyva, R. (2020). Radiaciones electromagnéticas y salud en la investigación médica. Revista Cubana de Medicina Militar, 49(1), 36–45. <https://doi.org/10.33518/milmed.49.1.36>
- Pinsent Masons. (2019). Umweltrecht in Deutschland. <https://www.pinsentmasons.com/de-de/out-law/leitfaden/umweltrecht-in-deutschland>
- RE100. (2021). Companies committed to 100% renewable power. <https://www.there100.org/>
- Rosas Sánchez, G. A., & Hernández Laos, E. (2017). Costos ambientales y cambio tecnológico en México (1990–2013). Denarius, 33, 195–233. <https://www.redalyc.org/pdf/6956/695676762009.pdf>
- Salgado Selema, G., Rodríguez Sánchez, P. M., López Aballe, M., & Batista Tamayo, E. S. (2021). Aislamiento social, tecnología y salud mental. Multimed, 25(2), 1–10. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-48182021000500011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-48182021000500011)
- Secretaría de Economía. (s.f.). Estándares voluntarios en materia de sustentabilidad (VSS). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/estandares-voluntarias-en-materia-de-sustentabilidad>
- The Climate Group. (2021). RE100 annual disclosure report 2021. <https://www.there100.org/sites/re100/files/2022-01/RE100%202021%20Annual%20Disclosure%20Report.pdf>
- Thomée, S., Härenstam, A., & Hagberg, M. (2011). Mobile phone use and stress, sleep disturbances, and symptoms of depression among young adults – A prospective cohort study. Journal of Occupational Health Psychology, 16(2), 207–219. <https://doi.org/10.1037/a0022752>

- Twenge, J. M., & Campbell, W. K. (2018). Associations between screen time and lower psychological well-being among children and adolescents: Evidence from a population-based study. *Preventive Medicine Reports*, 12, 271–283. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2018.10.003>
- U.S. Congress. (2022). Inflation Reduction Act of 2022 (Public Law No: 117–169). <https://www.congress.gov/>
- U.S. Department of Energy. (2021). Investment tax credit (ITC). <https://www.energy.gov/savings/investment-tax-credit-itc>
- U.S. Environmental Protection Agency. (s.f.). Laws & regulations – Environmental standards. <https://espanol.epa.gov/espanol/leyes-y-normas-reglamentos-ambientales>
- U.S. Green Building Council. (2021). LEED certification. <https://www.usgbc.org/leed>
- UNEP. (2018). Normas de emisiones de diésel de China. <https://www.ccacoalition.org/es/content/china-diesel-emissions-standards>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). Acuerdo de París. [https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_spanish\\_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf)
- Universitat Carlemany. (2023). Tecnología sostenible: Qué es y ejemplos. <https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/blog/tecnologia-sostenible-que-es-caracteristicas-ejemplos/>
- University of Michigan. (2020). Life cycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. <https://www.umich.edu/research/electric-vehicles>
- Vallejo-López, A., Perdomo, T., & Peñafiel-Pazmiño, M. (2018). Exposición de ondas de radiofrecuencia en relación con alteraciones en la salud. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, 27(3), 216–222. <https://doi.org/10.32491/re.v27i3.122>
- Veselin, I. (2024). Impacto ambiental de los dispositivos tecnológicos: ¿Cómo reducir tu huella? <https://veselin.es/impacto-ambiental-dispositivos-tecnologicos/>
- von Wallis, M., & Klein, C. (2015). Ethical requirement and financial interest: A literature review on socially responsible investing. *Business Research*, 8, 61–98. <https://doi.org/10.1007/s40685-014-0015-7>

*Tecnología y salud para el acceso al bienestar. Una mirada crítica*, coordinado por Verónica Miriam Guzmán Sandoval, se terminó de editar el 10 de noviembre de 2025. El diseño, la composición tipográfica y el cuidado editorial se realizó en Editorial Página Seis, S.A. de C.V., Lorenzo Barcelata 5105, col. Paraíso Los Pinos, C.P. 45239, Zapopan, Jalisco, tel. 33 3657 3786. La edición consta de 1 ejemplar digital.

**E**n un mundo marcado por la desigualdad social y económica, el acceso equitativo a la salud sigue siendo uno de los mayores retos para América Latina. Este libro propone una mirada crítica e interdisciplinaria sobre la relación entre tecnología y bienestar, explorando cómo las innovaciones científicas pueden —si se regulan ética y responsablemente— transformar los modelos de atención sanitaria, reducir brechas estructurales y mejorar la calidad de vida de las personas.

A través de cuatro ejes —clínica y salud, neurociencias, modelos de probabilidad y ética—, las autoras y autores analizan el papel de la inteligencia artificial, la telemedicina, la neuroestimulación y otras herramientas emergentes en la construcción de sistemas de salud más accesibles, preventivos y humanos.

*Tecnología y salud para el acceso al bienestar. Una mirada crítica* reúne el trabajo colaborativo de investigadoras e investigadores de distintas universidades mexicanas, en sinergia con la Secretaría de Salud del Estado de Colima, con el propósito de contribuir al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 3: garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos, en todas las edades.

Un libro necesario para comprender los desafíos, posibilidades y dilemas éticos de la salud del futuro.

**PÁGINA SEIS**  
EDITORIAL

ISBN 978-607-8920-70-9



9 786078 920709