

Tecnologías emergentes aplicadas a mejorar tratamientos en pacientes con adicción a las drogas: estado del arte

Emerging technologies applied to improve treatments in patients with drug addiction: state of the art

Cecilia E. Cabanilla B.

cecilia.cabanillac@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil

Codigo ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9360-8451>

Ecuador, Guayaquil

Fabián A. Espinoza B.

fabian.espinozab@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil

Codigo ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4487-0548>

Ecuador, Guayaquil

Francisco G. Palacios O.

francisco.palacios@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil

Codigo ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3705-3862>

Ecuador, Guayaquil

Resumen

Este estudio explora el potencial de las tecnologías emergentes en el tratamiento de la adicción a las drogas, en el que se incluye la aplicación de interfaces cerebro-computadora (BCI, Brain Computer

Interface). La presente investigación analiza el uso de otras alternativas que se basan en los registros electroencefalográficos (EEG) para identificar patrones neuronales característicos en pacientes en proceso de rehabilitación, con el fin de diseñar intervenciones personalizadas adaptadas a las sustancias psicoactivas. Aunque algunos de los procesos y tecnologías han tenido enfoques diferentes como el de BCI, que principalmente se utiliza para restaurar funciones motoras en patologías como esclerosis lateral amiotrófica o lesiones medulares que imposibilitan movimientos, sin embargo, su aplicación en contextos neuropsiquiátricos permite obtener mayores detalles que aporten en la detección temprana de recaídas o mejoras en los tratamientos y rehabilitaciones de los pacientes que tienen esta enfermedad crónica, mediante la obtención de resultados preliminares de los análisis de señales EEG, que determinen el grado de adicción por medio del marcador de craving.

Con este artículo se busca contribuir mediante un marco técnico los descubrimientos de soluciones integrales para ampliar el uso del BCI en adicciones, así como también proporciona una vía para terapias más efectivas y personalizadas.

Palabras clave: BCI, tratamiento, EEG, cerebro, adicción.

Abstract

This study explores the potential of emerging technologies in the treatment of drug addiction, including the application of brain-computer interfaces (BCIs). This research analyzes the use of alternatives based on electroencephalographic (EEG) recordings to identify characteristic neuronal patterns in patients undergoing rehabilitation, in order to design personalized interventions adapted to psychoactive substances. Although some of the processes and technologies have had different approaches, such as BCI, which is primarily used to restore motor functions in pathologies such as amyotrophic lateral sclerosis or spinal cord injuries that impair movement, its application in neuropsychiatric contexts allows for obtaining greater details that contribute to the early detection of relapses or improvements in the treatment and rehabilitation of patients with this chronic disease, by obtaining preliminary results from EEG signal analysis, which determine the degree of addiction through the craving marker.

This article seeks to contribute a technical framework to the discovery of comprehensive solutions to expand the use of BCI in addictions, as well as provide a path to more effective and personalized therapies.

Keywords: BCI, treatment, EEG, brain, addiction.

Introducción

La salud pública enfrenta grandes desafíos en la era digital a nivel global que se encuentran relacionadas con el consumo de sustancias ilícitas. Según el Informe Mundial

sobre Drogas 2023 de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), el número de personas que consumieron drogas aumentó en un 23%, es decir, 56 millones de personas más que en el 2021, en un rango etario que comprende desde los 15 hasta los 64 años, acorde al desarrollo de la población mundial (UNODC, 2023).

De manera general, las drogas se han convertido en un padecimiento crítico en un mundo globalizado e hiperconectado, en la que cada vez es más frecuentes se observa el desarrollo de las adicciones con desenlaces que pueden ser fatales, así como otras afectaciones graves que implican deterioros en la salud física y mental, con conductas y comportamientos erráticos.

En este contexto, las adicciones se vuelven uno de los problemas más complejos de abordar para este siglo, provocando alteraciones severas en la salud de los pacientes que pueden experimentar secuelas permanentes al ocasionar daños neurobiológicos, con impactos tanto el desarrollo cerebral como la estabilidad psicosocial del paciente. Fundación Kronos (2020).

Esta enfermedad crónica, ataca el cerebro impidiendo un proceso regular de neurogénesis y proceso sináptico, ya que desequilibra los efectos generados por la dopamina, debido al incremento del neurotransmisor durante el proceso de consumo, que estimula el sistema de motivación-recompensas, liberando en exceso neuromoduladores como endorfinas y endocannabinoides, desencadenando la sensación de placer. Estas interacciones, dejan rastros en el sistema de memoria, en el que se registran las características, según la sustancia de consumo y asociando como positivo el resultado, aunque sean altamente nocivas, esto describe brevemente cómo se crea el proceso inicial de la dependencia, visto desde la parte mental. Dicho esto, de manera más técnica, significa que el uso reiterado de drogas, además de afectar los circuitos de recompensa y motivación, refuerza conductas compulsivas a través de mecanismos de memoria que registran estas experiencias como positivas, pese a sus consecuencias negativas. De acuerdo con Volkow, Koob y McLellan (2016) en su artículo sobre “Neurobiologic Advances from the Brain Disease Model of Addiction”, se hace énfasis en los hallazgos realizados sobre la desensibilización de los circuitos de recompensa y el impacto que este presenta al reducir la capacidad de sentir placer y motivación para realizar actividades cotidianas, debilitando regiones fundamentales para la toma de decisiones, déficits de atención y la autoregulación, que conduce al incremento de recaídas, lo que implica un aumento de la vulnerabilidad a trastornos psiquiátricos.

Ante este panorama, es urgente explorar enfoques interdisciplinarios que integren la tecnología con la neurorehabilitación. En particular, las tecnologías no invasivas basadas en interfaces cerebro-computadora (BCI, por sus siglas en inglés) representan una

alternativa innovadora para la identificación de patrones neurológicos asociados al consumo de drogas, con el objetivo de intervenir sobre los circuitos cerebrales disfuncionales. Así como otras tecnologías emergentes utilizadas en este campo, cuyo uso pueden potenciar y mejorar los tratamientos actuales, contribuyendo positivamente en la lucha por erradicar el consumo de droga y sus efectos actuales, adecuadas o personalizadas, conforme las características del consumidor y las sustancias a las que son adictos.

También se abordará un poco los principales resultados obtenidos de algunos de estos experimentos en los que se ha combinado la tecnología como parte de los tratamientos, como los descubrimientos que pueden sin duda aportar con nuevos criterios sobre el funcionamiento del cerebro de un consumidor y la forma en la que se les puede brindar una ayuda sustentable y oportuna dirigida para sus características principales

Como parte de este estudio, se plantea el siguiente cuestionamiento que se tratará de despejar:

¿Cómo pueden las tecnologías emergentes aportar activamente a la identificación de nuevas oportunidades que mejoren la calidad de los procesos de diagnóstico, rehabilitación y tratamientos en pacientes con trastornos por consumo de drogas?

2. Materiales Y Métodos

2.1 Estado del Arte

El presente trabajo analiza y explora diferentes formas de tratamientos en los que se incorpora la tecnología emergente como un eje fundamental en los procesos de rehabilitación en pacientes con problemas de adicción a las drogas. Estos presentan una nueva perspectiva a las que tradicionalmente se vienen realizando y cuyo potencial evidencia significativas mejoras en la eficacia clínica y reinserción sociolaboral.

La investigación contempla información publicada entre el 2018 y 2024, incluyendo aquellas referencias fundacionales que muestran un alto grado de fiabilidad, al establecer las bases conceptuales para construir metodologías de intervención que integren técnicas tradicionales y tecnológicas.

2.2 Metodología de revisión

La investigación se realizó mediante la búsqueda bibliográfica en bases de datos indexadas como Scopus, Web of Science, Latindex 2.0, Dialnet, entre otros, utilizando combinaciones de palabras claves en español e inglés relacionadas con: rehabilitación, neurotecnología, brain-computer interface (BCI), realidad virtual (VR), estimulación cerebral no invasiva, y reinserción social.

a. Criterios de Inclusión:

En esta revisión se aplicaron criterios para determinar la información más relevante como:

- Estudios experimentales, cuasi-experimentales y revisiones sistemáticas.
- Poblaciones con trastornos neurológicos, lesiones cerebrales, o adicciones.
- Intervenciones basadas en tecnologías emergentes con aplicación clínica documentada.
- Artículos científicos validados o indexados, alineados al estudio y análisis de estas tecnologías emergentes y enfocados en esta problemática de la adicción a las drogas.

b. Criterios de exclusión:

Lo que no se incluyó como parte de esta investigación porque se consideran detalles e información parcial son aquellos que no cuentan con una base científica, previamente certificada o validada. Estos se detallan, a continuación:

- Reportes anecdóticos sin validación científica.
- Estudios sin disponibilidad de texto completo.



- Publicaciones sin medición objetiva de resultados o sin algún respaldo científico.

c. Análisis crítico

Los estudios revisados muestran que las tecnologías como BCI, VR y estimulación transcraneal ofrecen implican oportunidades potenciales para la personalización y seguimientos de los pacientes en las terapias, mejorando indicadores de adherencia, motivación y disminuyendo los riesgos de futuras recaídas. No obstante, como estos planteamientos aún se encuentran en modalidad empírica presentan limitaciones por:

- Existir experimentos con tamaño reducido de muestra.
- Escasa estandarización de protocolos.
- Falta de seguimiento a largo plazo.

De acuerdo, a lo mencionado en Michael J Young, David J Lin, Leigh R Hochberg (2021), en el artículo de “Brain-computer interfaces in neurorecovery and neurorehabilitation”, donde se evidencia la función emergente del BCI, aplicado en la precisión diagnóstica en los trastornos de conciencia, lo que permite identificar opciones sólidas para crear la neurorrehabilitación, lo que representa una posibilidad importante de colaborar en los desarrollos de tratamientos personalizados y optimizados para los pacientes que tienen problemas de adicción a las drogas.

Esta tecnología combinada con otras opciones como RV (Realidad Virtual) y el neurofeedback, permiten identificar el aumento de la actividad Alfa, a través de la estimulación como el crecimiento de flores en un escenario virtual, esto se da mediante el uso de una estrategia mental adecuada, como cita (Davelaar et al., 2018; Kober et al., 2013; Wimmer et al., 2023), en el que se establece que para modular con éxito ciertos parámetros de EEG (Electro Encefalográficas), en un entrenamiento de NF (Neurofeedback), se espera mejoras importantes en el dominio cognitivo, motor, conductual o afectivo resultado de repetidas sesiones de entrenamiento (Gruzelier, 2014).

Sin embargo, concluye Kober, Wood y Berger (2024), que la retroalimentación basada en VR tiene un gran potencial y es prometedora, no obstante, requiere contar con mayor investigación que establezca los efectos positivos y negativos del entrenamiento NF basado en VR.

d. Relevancia y aportes

La consolidación de estas tecnologías contribuye de forma destacada en la recuperación funcional, así como el hecho establecer opciones funcionales y

prácticas para crear una reinserción en el aparato productivo a los pacientes, con herramientas personalizadas y adaptadas a las necesidades particulares de cada uno de los individuos.

Con este artículo se apoya el proceso sistematizado, a través de la evidencia disponible, identificando brechas investigativas, con campos que pueden ser mayor explotados y potencializados para su aplicación, con propuestas claras y mejoras específicas en la implementación clínica de tratamientos y rehabilitaciones en pacientes con problemas de dependencia a las drogas.

3. Análisis de los resultados

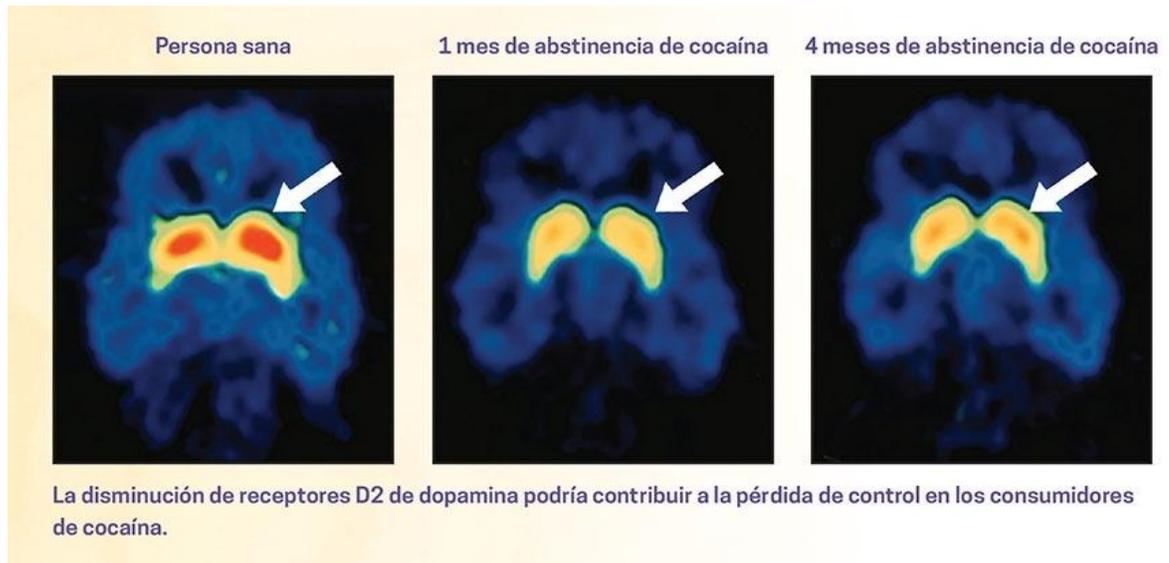
3.1 Funcionamiento y actividad de un cerebro bajo el uso de drogas.

Para tener una mayor comprensión de los tratamientos actuales y los nuevos con la tecnología emergente, es importante realizar una validación de manera general del comportamiento y afectación del cerebro humano que ha sido expuesto al abuso de las drogas, y que dependiendo de la edad puede desarrollar afectaciones y secuelas permanentes a largo plazo.

Dentro de este estudio, hemos evaluado como el cerebro sufre grandes impactos en su estructura y desempeño, debido al abuso, entorpeciendo actividades cotidianas como: tomar de decisiones, resolución de problemas, entre otros, que impiden que tengan la capacidad para ejercer autocontrol en sus decisiones.

Este trastorno crónico y recurrente, que según NIDA, 2020, genera cambios funcionales en los circuitos del cerebro que participan en la recompensa, el estrés y el autocontrol. Esos cambios pueden persistir aún mucho tiempo después de que la persona haya dejado de consumir drogas. Como podemos observar en la Figura 1

Figura 1. Tomografía que compara a una persona sana con una persona que está en abstinencia de cocaína en diferentes periodos.



Fuente: *Facing Addiction in America: The Surgeon General's Report on Alcohol, Drugs, and Health*

Modificado con autorización de Volkow et ál. 1993.

En la imagen anterior podemos detectar cómo las imágenes donde se encuentra el cerebro de una persona que consumió cocaína, refleja niveles más bajos del receptor de la dopamina D2 (resaltado en rojo en la figura), y cómo evoluciona a medida que se mantiene en un estado de abstinencia, aunque no se normaliza mejora del estado con el que inició.

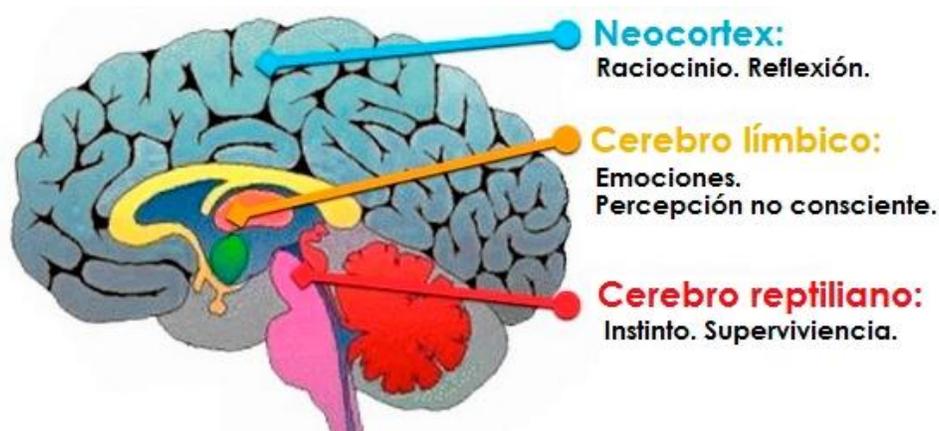
Esto también apunta a que estos pacientes, pueden tener mayor o menor nivel de dependencia y daños que, en algunos casos pueden ser reversibles, mientras que, en otros sus lesiones se manejan de forma permanente, y esto se encuentra dado principalmente por el tipo de sustancia que consuma, así como la edad en la que se hizo dependiente de las drogas.

Según este mismo artículo de "Las drogas, el cerebro y la conducta: la ciencia de la adicción, el uso indebido de drogas y la adicción", publicado por NIDA, 2020, mencionan que, las personas que inician en la droga toman la decisión de manera voluntaria, sin embargo, estudios de imágenes cerebrales, revelan que durante el proceso de adicción existen cambios físicos que se presentan en la zona del cerebro anulando el buen juicio, la toma de decisiones, el aprendizaje, la memoria y el control del comportamiento. Por lo que, se puede ver exteriorizado en ese comportamiento compulsivo característico de la persona que son dependientes.

3.2 Modelo del cerebro triúnico y las adicciones

El Modelo del cerebro triúnico, propuesto por el neurocientífico Paul D. MacLean, sugiere que el cerebro humano se compone de tres capas evolutivas: el cerebro reptiliano, el sistema límbico y el neocórtex. Basado en este contexto, se asocia que los comportamientos adictivos involucran el sistema límbico y neocórtex, en el cual el primero realiza varias respuestas emocionales intensas, formando relaciones sólidas entre la sustancia tóxica, el comportamiento adictivo y las recompensas. Mientras que, de forma simultánea el neocórtex, influye en la toma de decisiones y planificación, lo que refuerza los comportamientos adictivos y sus consecuencias negativas. (Orbium, 2021).

Figura 1. Modelo del cerebro triúnico.



Fuente: <https://psicologiaviva.com/blog/el-cerebro-triuno-tres-en-uno/>

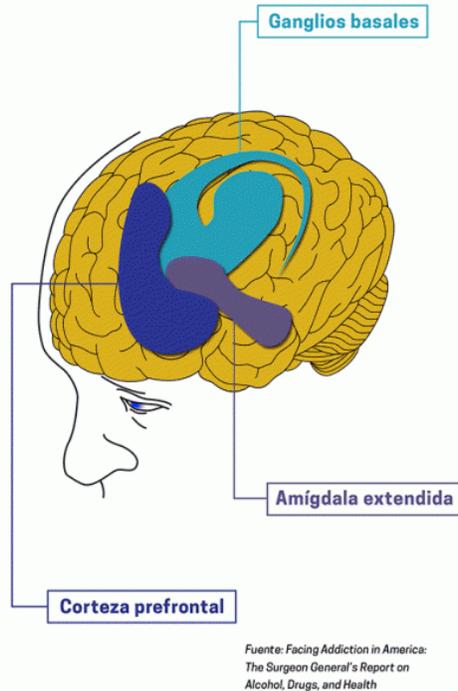
Elaborado por: Psicología Viva

3.3 Zonas del cerebro que se afectan con las drogas

Estas zonas manejan temas vitales y pueden provocar el impulso compulsivo que luego se deriva en un consumo descontrolado y excesivo, con consecuencias fatales. (NIDA (Instituto Nacional sobre el Abuso de Drogas), 2022)

En la siguiente imagen, podemos observar de manera detallada las zonas que forman parte del circuito de recompensa, y que se ven gravemente afectadas en estos procesos:

Figura 2. Ganglios basales que contienen el circuito de recompensa del cerebro.



Fuente: <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/las-drogas-el-cerebro-y-la-conducta-la-ciencia-de-la-adiccion/las-drogas-y-el-cerebro>

Elaborado por: NIDA (Instituto Nacional sobre el Abuso de Drogas)

Los daños que se provocan en el cerebro pueden ser severos e incluso permanentes, debido a la interrupción de la comunicación normal entre los neurotransmisores, durante el envío, recepción y procesamiento de las señales transmitidas. Estas zonas son fundamentales, ya que inciden en el circuito de recompensa del cerebro, sin embargo, por el consumo excesivo de drogas ocasionan hiperactividad. Durante el consumo de las drogas, los dependientes desarrollan una falsa y temporal sensación que provocan efectos placenteros y euforia que dependiendo del tipo de droga o sustancia que consume puede presentar características específicas, como se detalla el siguiente cuadro o tabla comparativa que:

Tabla 1. Descripción por tipo de sustancias e impacto

Categoría de la Droga	Tipo de Droga	Afectación en la Salud Física	Afectación en la Salud Mental	Afectación en el Comportamiento	Observaciones en la Abstinencia	Reacciones Durante el Consumo
Estimulantes	Cocaína, anfetaminas	Aumento de la frecuencia cardíaca, hipertensión, insomnio	Ansiedad, paranoia, episodios psicóticos	Agresividad, impulsividad, hiperactividad	Fatiga extrema, depresión profunda, anhedonia, deseos intensos (craving)	Euforia, aumento de energía, sensación de poder o invulnerabilidad
Depresores	Alcohol, benzodiazepinas	Daño hepático, debilitamiento muscular, problemas respiratorios	Depresión, deterioro cognitivo	Falta de coordinación, apatía, aislamiento	Insomnio, temblores, alucinaciones, convulsiones	Relajación, disminución de la ansiedad, inhibición reducida
Opioides	Heroína, morfina	Supresión respiratoria, estreñimiento, infecciones	Confusión, tolerancia a emociones negativas	Dependencia extrema, comportamientos riesgosos	Dolor corporal generalizado, vómitos, diarrea, ansiedad severa	Alivio del dolor, relajación, somnolencia
Alucinógenos	LSD, psilocibina	Dilatación de pupilas, aumento de la temperatura corporal	Despersonalización, percepción distorsionada	Conductas impredecibles, posible agresividad	Flashbacks psicológicos, dificultad para procesar emociones	Distorsión sensorial, alucinaciones visuales o auditivas
Cannabinoides	Marihuana, hachís	Sequedad bucal, taquicardia, daño pulmonar (fumada)	Deterioro de la memoria, ansiedad, posibles psicosis	Motivación reducida, deterioro del juicio	Irritabilidad, insomnio, cambios de humor, disminución del apetito	Relajación, euforia moderada, aumento del apetito
Drogas de Diseño	MDMA (éxtasis), ketamina	Deshidratación, daño renal, hipertermia	Ansiedad, episodios depresivos	Desinhibición extrema, empatía aumentada	Depresión severa, agotamiento, falta de concentración	Sensación de conexión emocional, aumento de percepción táctil
Inhalantes	Pegamentos, disolventes	Daño en el sistema nervioso central, arritmias	Deterioro cognitivo grave, pérdida de memoria	Conductas erráticas, alucinaciones	Ansiedad, dolores de cabeza, irritabilidad	Breves estados de euforia, mareos, pérdida de conciencia

Elaborado por: Cecilia E. Cabanilla B.

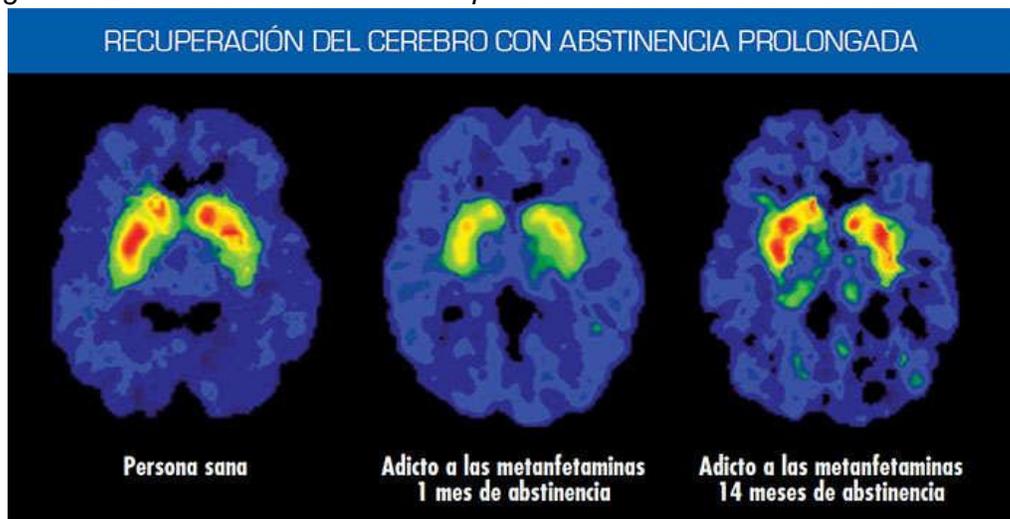
Complementando lo antes expuesto, también existe factores adicionales, que agravan estos procesos, ya que dependen de la recurrencia y abuso de estas sustancias, lo que ocasiona que se pierda la sensibilidad y disminuyendo esta sensación de placer, puesto que, el circuito se adapta. (NIDA (Instituto Nacional sobre el Abuso de Drogas), 2022).

3.4 Recaídas en procesos de rehabilitación

Un factor muy importante que se deriva de estos tratamientos tradicionales de rehabilitación en pacientes con problemas de adicción es que existe una alta tasa de recaídas que oscila entre el 40 y 60%, según indican las estadísticas más realistas, lo cual implica que se deben continuar trabajando en mejorar estos procesos y las personalizaciones para mitigar las posibilidades de recaídas. No obstante, las personas con problemas de adicción a las drogas que han terminado un tratamiento de rehabilitación tienen la posibilidad de contar con herramientas claves, que les permita enfrentar esta lucha diaria y contrarrestar los efectos negativos y perjudiciales, para lograr ser reinsertarlo con éxito en la sociedad. (NIDA, 2023).

Las siguientes, son imágenes gráficas (Figura 3) que corresponden a la evolución del cerebro, en la que se muestra la densidad de los transportadores de dopamina durante su proceso de abstinencia y rehabilitación, al menos de manera parcial, considerando el uso y consumo de la metanfetamina, como se muestra a continuación:

Figura 3. Evolución del cerebro de un paciente con abstinencia a las metanfetaminas.



Fuente: <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/las-drogas-el-cerebro-y-la-conducta-la-ciencia-de-la-adiccion/tratamiento-y-recuperacion>

Elaborado por: *The Journal of Neuroscience*, 21(23):9414-9418. 2001

Como parte de este proceso degenerativo, es necesario entender un poco el esquema de la neuroplasticidad, que en los individuos con problemas de adicción a las drogas desarrolla la Plasticidad Maladaptativa, es decir, que desencadena la Potenciación a Largo Plazo (LTP) y Depresión A Largo Plazo (LTD) en las sinapsis del circuito de recompensa, fortaleciendo conexiones asociadas al consumo. Estas alteraciones dificultan la capacidad del cerebro para regular conductas de autocontrol y generar respuestas adaptativas al estrés (Hyman, 2006).

Sin embargo, también brinda al cerebro que, al estar en un proceso de abstinencia dentro de un tratamiento, desarrolle la capacidad de regenerar las neuronas y las partes o zonas más afectadas por el consumo de las drogas, no obstante, esto requiere un largo periodo para restaurar, ya que el deterioro neuronal es más rápido que la restitución.

Por ello, dentro de los tratamientos actuales se incluye actividades lúdicas que promueven la neuroplasticidad, por medio de intervenciones terapéuticas como el neurofeedback, ejercicios cognitivos, lúdicos y entornos enriquecidos, que revierten y favorecen la formación de las nuevas conexiones sinápticas de manera saludable.

Aunque hay una alta tasa de recaídas, no desestima el 100% del tratamiento realizado, al contrario, en muchos casos lo hace parte del proceso de rehabilitación, sin embargo, hay que considerar que existen más probabilidades y riesgos de recaer cuando un paciente se aleja de su plan de tratamiento. (NIDA, 2023).

De hecho, muchos de los Centros de Tratamientos especializados en problemas de adicción se han acogido al modelo de transteórico de Prochaska y DiClemente, que hablan de 6 fases contemplando entre ellas la recaída como parte de este proceso de reinserción en la sociedad del paciente, dentro de lo que se conoce como la rueda del cambio, y que se amplía en el gráfico a continuación:

Figura 4. Las Fases del Cambio: El Modelo Transteórico de Prochaska y DiClemente.



Fuente: <https://tejedordehistorias.wordpress.com/2015/12/10/las-fases-del-cambio-el-modelo-transteorico-de-prochaska-y-diclemente/>

Elaborado por: Cecilia E. Cabanilla

Por ello, es importante contar con tratamientos adecuados y lugares autorizados que cumplan con los lineamientos necesarios para que puedan aportar en este desafío de enfrentar y combatir el consumo de drogas, ya que es un tema de interés mundial, como lo menciona la directora ejecutiva de UNODC, la Sra. Ghada Waly, en la que declaró: “Estamos constatando un aumento continuo del número de personas que sufren trastornos por consumo de drogas en el mundo, mientras que los tratamientos no llegan a todas las personas que los necesitan.” (UNODC, 2023).

En este contexto, es necesario mencionar que como el mundo está cambiando de una forma vertiginosa, se requiere incluir la tecnología como uno de los pilares fundamentales en los procesos investigativos en la búsqueda de mejorar los tratamientos disponibles, por lo que, el uso de nuevos dispositivos resulta imperante, para colaborar en los descubrimientos científicos, que aporten en la creación de tratamientos personalizados, conforme a los perfiles y cuadros particulares que presente cada individuo, según su historial clínico, personal, mental, social y comportamiento, relacionados con el consumo de las drogas. (NIDA, 2023).

3.5 Tratamientos y efectividad

La tecnología juega un rol fundamental en la salud, su participación implica aportes importantes al descifrar comportamientos y establecer parámetros o patrones para ayudarlos a desarrollar soluciones con tratamientos personalizados, conforme el perfil de cada subgrupo identificado. Sin embargo, esta revolución tecnológica ha impactado el ámbito de la salud, ocasionando que existan diferentes tratamientos, que revisaremos a continuación:

a. Neurotecnología y Brain-Computer Interface (BCI) en el Tratamiento de Adicciones

La tecnología BCI (Brain Computer Interface), es una tecnología emergente cuya aplicación vinculada con el ámbito de la salud ha estado orientada usualmente con la fisioterapia, para la recuperación de movilidad a través de prótesis y sensibilización de las extremidades, en el que se han logrado grandes avances como el realizado por la Universidad Carnegie Mellon y la Universidad de Minnesota, que desarrollaron un brazo robótico controlado por la mente, mostrando la capacidad de seguir un cursor ordenador. (ISNCA, 2021).

Sin embargo, su aplicación de la salud mental es un tema que debe seguir explotándose para descubrir el potencial y contribuir con nuevos hallazgos en el comportamiento de los individuos y pacientes que son objetos de estos estudios, como lo que se realizó para trabajar la depresión en conjunto con el uso de la estimulación magnética transcraneal (EMT), una enfermedad crónica no transmisible que afecta alrededor de 300 millones de personas a nivel mundial, como lo señala la OMS (Organización Mundial de la Salud), y que provoca incapacidad en muchos casos (Mayo Clinic, 2023).

b. Tratamientos Disruptivos con el BCI (Brain Computer Interface)

El uso de esta tecnología de BCI (Brain Computer Interface), no ha sido explotada en su totalidad en tratamientos disruptivos enfocados en pacientes con problemas de adicción a las drogas, lo que sugiere una gran oportunidad para descubrir las necesidades primarias y el comportamiento del cerebro, de esta manera entender mejor los criterios y parámetros que favorecen la recuperación de estos individuos permitiendo desarrollar soluciones personalizadas para mejorar y acelerar los procesos de rehabilitación, así como disminuir las recaídas.

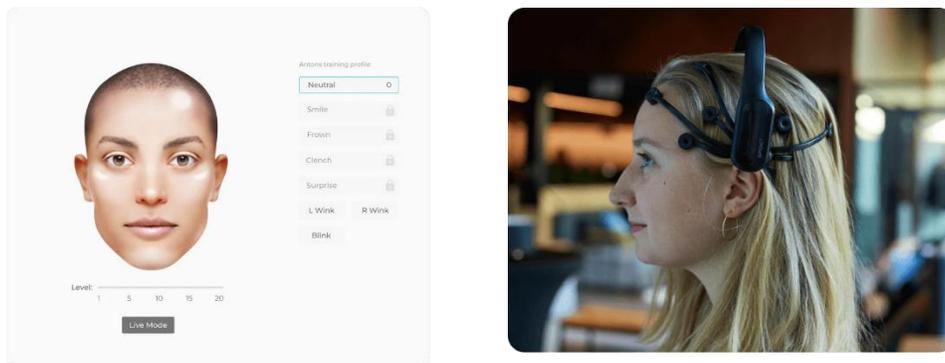
La tecnología emergente, aporta al proceso de Neurofeedback desde un enfoque terapéutico, como una herramienta para aprender a entender mejor las necesidades de los pacientes que tienen problemas de adicciones a las drogas, mediante la

captación de la lectura de las Ondas Electroencefalográficas que ayudan a monitorear la actividad cerebral en tiempo real.

Estudios recientes muestran que el neurofeedback puede reducir los antojos y mejorar la capacidad de atención y autocontrol en pacientes adictos (Hammond, 2011). Sin embargo, su efectividad varía entre individuos y requiere personal capacitado y acceso a tecnología avanzada.

El funcionamiento de esta técnica se presenta a continuación:

Figura 5: Representación esquemática de la detección de las ondas EEG y su aplicación en pacientes con problemas de adicción a las drogas.



Fuente: <https://www.emotiv.com/products/emotiv-bci>

En la imagen, se puede observar cómo los electrodos o sensores, se colocan de manera no invasiva sobre el cuero cabelludo del paciente, lo cual mide las ondas cerebrales, y monitorea su comportamiento en tiempo real sobre los diferentes estímulos en un software, que proporciona una retroalimentación visual para identificar patrones predominantes, escenarios satisfactorios o negativos en su tratamiento que les ayude a descubrir nuevos parámetros para alterar o modificar positivamente su actividad cerebral. Con ello, se reducen patrones negativos o disfuncionales que se asocian al estrés o deseo compulsivo de consumir sustancias.

En el esquema observado, se destaca que la actividad cerebral tiene dos tipos de cambios, que son: eléctricos y magnéticos, presentes en las neuronas. Los sensores o electrodos captan estos cambios y sus comportamientos en diferentes zonas del cerebro. Existen varios métodos para medir esta actividad cerebral (CORRALEJO, 2016), tales como:

- Métodos de tomografía.

- Métodos que adquieren señales electromagnéticas como ser: Resonancia magnética espectroscópica (MRS), resonancia espectroscópica funcional infrarroja (fNIRS).
- Métodos que adquieren señales electromagnéticas originadas por el cerebro como ser: Electroencefalograma (EEG), electrocortigramas (ECoG), magnetoencefalograma (MEG) y adquisición introcortical.

Las lecturas de señales cerebrales de EEG son detectadas y clasificadas, según la actividad, tarea o evento específico y se pueden dividir en dos grupos, que son:

1. BCI endógeno: Requiere de tiempos de entrenamientos extensos, y mide el comportamiento del cerebro sobre una banda de frecuencia específica. Usualmente, son imágenes motoras y potenciales corticales lentos (SCPs por sus siglas en inglés).
2. BCI exógeno: En este caso la actividad electrofisiológica, se origina externamente, debido a un estímulo específico, se requiere establecer un entorno estructurado. Pertenecen los potenciales P300 y potenciales evocados visuales estables (SSVEPs por sus siglas en inglés).

Para entender mejor estos conceptos podríamos profundizar sobre lo que significa:

- Potenciales Corticales Lentos: Consiste en los cambios de voltajes que se presentan en el córtex cerebral entre los 0.5s. a 10s., están relacionados con el movimiento y otras funciones que involucra la activación del córtex. Por ejemplo: realizar dos actividades similares, pero contrarias, como abrir y cerrar los ojos.
- Potenciales P300: Se encargan de usar estímulos visuales que parpadean en una secuencia aleatoria. El estímulo evoca una característica llamada P300, que aparece en la región parietal y central del córtex cerebral; tomando en cuenta el sistema 10-20 de localización de electrodos este estímulo evocado estaría situado en el electrodo Pz. Después de 300ms se puede captar la respuesta evocada (HE *et al*, 2013: 109). No requiere mucho tiempo de entrenamiento.
- Potenciales Evocados Visuales: Requiere un estímulo externo de tipo: auditivo, táctil, motor o visual, por ejemplo: los estímulos que se generan cuando se parpadea continuamente a diferentes frecuencias en un rango comprendido entre los 6 y 30 Hz.

Este estudio detalla como el uso del cerebro en sus diferentes frecuencias y actividad cerebral pueden aportar de manera significativa para realizar diferentes tipos de investigaciones y sus impulsos eléctricos y magnéticos abren la posibilidad de una interacción y monitoreo del cerebro humano frente a diferentes estímulos (Villegas B. y

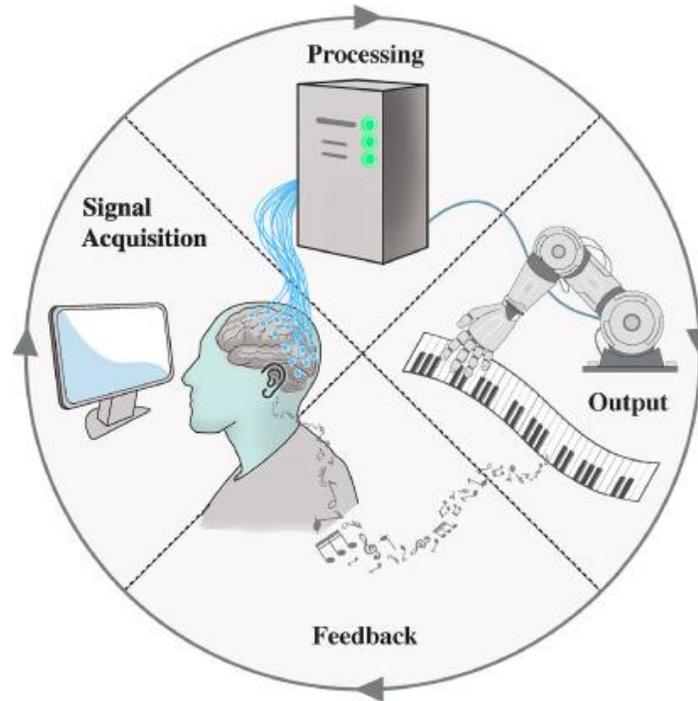
Rojas M., 2018). Lo que, apunta a que el uso de este tipo de sistemas BCI, también pueden tener diferentes aplicaciones prácticas y funcionales, como lo es en el ámbito de la salud y su uso para mejorar tratamientos que se están aplicando a las personas con problemas de adicción.

Los dispositivos BCI permiten el análisis de patrones neurológicos, especialmente las ondas EEG, para identificar señales asociadas a la adicción. Este enfoque es útil en la detección de deseos de consumo o episodios de recaída. Sin embargo, otro estudio de Alonso y Serrano (2021), sugiere que el uso de BCI en pacientes con adicciones mostró una mejora en la reducción de antojos, en el que se experimentó con un equipo de pacientes, que fueron monitoreados durante su rehabilitación, logrando reducir los episodios de recaída en un 30%.

El proceso de respuesta del cerebro se mide validando qué tipo de estímulos ha obtenido y clasificándolos en negativos y positivos, estableciendo los parámetros y patrones que son más funcionales en cada subgrupo de individuos, con el propósito de entender mejor los comportamientos de los pacientes y mejorar los tratamientos de adicción a las drogas.

En un proceso de sistema de interfaz cerebro – computadora (BCI), se encuentra clasificado en cuatro partes que son: adquisición de señales, procesamiento, salida y retroalimentación, según la representación gráfica presentada en el artículo de “Signal acquisition of brain–computer interfaces: A medical-engineering crossover perspective review”, (Yike Suna, 2024), que se presenta a continuación:

Figura 6: System structure of a typical BCI. It includes four parts: signal acquisition, processing, output, and feedback



Fuente: <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2024.04.011>

Elaborado por: Ay, Sun, Xiaogang Chen, Bingchuan Liu, Liyan Liang, Yijun Wang, Shangkai Gao, Xiaorong Gao

También se menciona que, este tipo de tecnología no implantable ni invasiva, facilitan la accesibilidad, debido a que son portables y al ser señales electroencefalograma (EEG), tienen buena resolución de tiempo, sin embargo, tiene como desafío la calidad, porque esta se puede degradar por los tejidos y otras interferencias bioeléctricas, destacando que este tipo de tecnología en la mayoría de los casos requiere que sus electrodos requieran estar húmedos para la captación de las señales. (Yike Suna, 2024).

b. Inteligencia Artificial y Modelos Predictivos

La IA (Inteligencia Artificial) ha permitido la creación de algoritmos predictivos que analizan datos de comportamiento y patrones cerebrales para anticipar recaídas (Hernández et al., 2019). Estos modelos consideran variables como el entorno, historiales clínicos, médicos y el estado emocional para predecir episodios de riesgo.

Un estudio realizado por Martin et al. (2020) desarrolló un modelo de IA (Inteligencia Artificial) basado en redes neuronales que predijo con un 85% de precisión los momentos de mayor riesgo de recaída en pacientes.

Los modelos de IA (Inteligencia Artificial) deben abordar el problema de la privacidad, dado que el procesamiento de datos cerebrales es altamente sensible (Santos y León, 2021).

c. Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA) en Terapias de Exposición

La RV (Realidad Virtual) permite a los pacientes exponerse a situaciones controladas que podrían desencadenar antojos, ayudándoles a desarrollar habilidades de afrontamiento (Cárdenas y Ruiz, 2020).

Un ensayo clínico en Elliot y Marks (2018) mostró que el 60% de los pacientes que usaron RV para simular entornos de alto riesgo lograron una disminución significativa en sus antojos de drogas. La terapia de exposición en entornos virtuales también reduce la ansiedad social, común en pacientes en rehabilitación.

Aunque la RV es una herramienta efectiva, su implementación es costosa, y puede no estar disponible en todas las clínicas de rehabilitación (Lee y Park, 2020).

d. Estimulación Eléctrica Transcraneal Repetitiva (EMTr) aplicado a pacientes con problemas de adicción a las drogas

Una técnica novedosa e innovadora que también se ha utilizado en los tratamientos de adicción a las drogas, es la conocida como: Estimulación Magnética Transcraneal Repetitiva (EMTr), que consiste en colocar una bobina electromagnética cerca del cuero cabelludo del paciente, de manera no invasiva, lo que provoca pulsos magnéticos breves, pero intensos provocando corrientes eléctricas en las neuronas cercanas que disminuyen o aumentan la actividad cerebral, según la configuración del dispositivo y la frecuencia de pulsos.

La aplicación de esta tecnología tiene múltiples alcances, sin embargo, su uso experimental en pacientes con adicciones a drogas específicas como: alcohol,

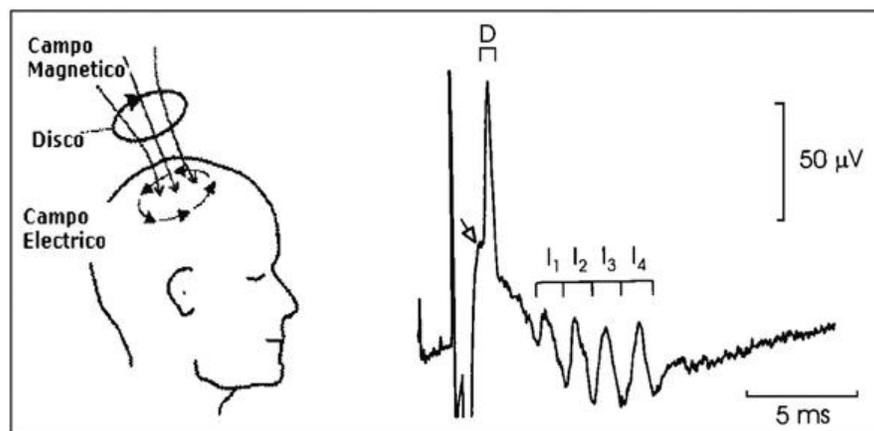
tabaco, cocaína y metanfetaminas, son algunas de las que se ha demostrado su eficiencia reduciendo la necesidad de consumos, antojos y dependencia.

Para los casos de tratamientos de adicciones a las drogas en sustancias específicas, el tratamiento consiste generar pulsos electromagnéticos a la ínsula bilateral y la corteza prefrontal, así como a aquellas zonas del cerebro que participan en los procesos de adicción, de tal manera que el paciente pueda controlar sus deseos intensos por consumir (Fundación Cromos, 2019).

Los pulsos que se generan de la terapia de EMTr, tienen la misma intensidad y tipos que los pulsos magnéticos utilizados en máquinas de IRM (MRI, por sus siglas en inglés), por lo que su se considera seguro, no requieren de sedación o tiempo de recuperación, ni tiene efectos secundarios derivados en la memoria o cognición (HelpGuide.org, 2024).

Para ser más explícitos de cómo funciona un proceso como el EMTr, se presenta la siguiente imagen:

Figura 7: Principio de EMT. La corriente que fluye brevemente en la bobina genera un campo magnético que induce una corriente eléctrica de dirección opuesta, en los tejidos subyacentes. Se evocan múltiples respuestas, la primera u onda directa (D) seguidas por varias ondas, denominadas I.

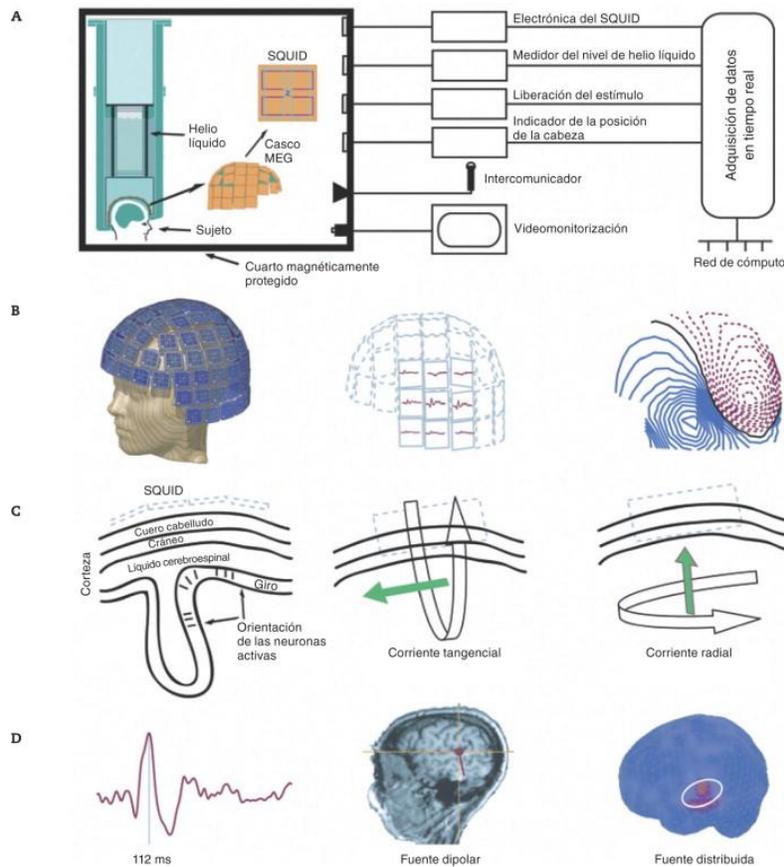


Fuente: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600009

Elaborado por: M.A. Ibiricu, G. Morales

Según lo que se muestra en la figura anterior, en la que se observa cómo se genera la corriente eléctrica de dirección opuesta en la bobina dentro de un campo magnético en los tejidos subyacentes, que captan múltiples respuestas.

Figura 8: Diagrama de bloques de un sistema típico de MEG



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/A-diagrama-de-bloques-de-un-sistema-tipico-de-MEG-El-arreglo-de-sensores-SQUID-esta_fig1_268516882

Elaborado por: <https://www.researchgate.net/>

Es importante rescatar que los equipos magnetoencefalograma (MEG), aunque presentan una excelente resolución temporal, estos equipos tienen un núcleo SQUID (Superconductor De Interferencia Cuántica), lo que trata de adquirir los campos electromagnéticos generados a partir de corrientes eléctricas, sin embargo, el uso de estos dispositivos significa un costo representativo debido a un blindaje magnético

excepcionalmente alto y nitrógeno líquido para enfriarse. (Yike Suna, 2024). En el siguiente gráfico se presenta un diagrama de MEG:

e. Plataformas Digitales y Aplicaciones Móviles para el Seguimiento de Pacientes

Las aplicaciones móviles ofrecen acceso remoto a terapias y apoyo emocional, además de permitir el monitoreo diario de los pacientes. Estas herramientas facilitan el seguimiento de hábitos, la asignación de metas y el envío de recordatorios.

En un estudio de Rojas (2021), una aplicación móvil para la autogestión de la adicción mostró un aumento en la adherencia al tratamiento en un 40%.

La dependencia tecnológica puede ser un obstáculo, especialmente en pacientes de áreas rurales con poco acceso a tecnología y conectividad (Hernández, 2022).

- **Terapias Basadas en Aplicaciones Móviles y Plataformas Digitales**

Las aplicaciones móviles son muy frecuentes en los estudios relacionados con la salud mental. Entre estas aplicaciones, surgen como una alternativa para generar nuevos tratamientos en pacientes que tienen problemas de consumo de drogas.

Si bien es cierto, estas tecnologías tienen un futuro prometedor, lo cierto es que, en la actualidad su efecto es reducido en la gestión de los síntomas que puedan aportar en la mejora de los estilos de vida de los pacientes con esta enfermedad crónica no transmisible.

Uno de los principales retos que tienen estas aplicaciones es poder acompañarlos como elemento complementario en su proceso de mejora para disminuyendo la probabilidad de las recaídas en estos individuos. (Sindy Julieth Valencia Sterling, 2021)

- **Aplicaciones más comunes**

Entre las aplicaciones que se le pueden dar en el ámbito de la salud, se encuentran:

- Terapia cognitivo-conductual (TCC): Esta técnica consiste en la reestructuración cognitiva, a través de la resolución de problemas y la prevención de recaídas.
- Seguimiento del consumo: Mediante las aplicaciones y plataformas digitales, se abren nuevas posibilidades que permite a los usuarios

registrar su consumo, factores desencadenantes y estados de ánimo, que son un insumo importante al momento de determinar e identificar patrones y desarrollar estrategias de afrontamiento.

- Comunidades de apoyo: Este tipo de aportes permite que los pacientes que están en un entorno real puedan aplicar herramientas aprendidas en su proceso de rehabilitación, asimismo les ofrece la posibilidad de intercambiar experiencias y afrontar los desafíos en compañía de otros usuarios que han pasado por situaciones similares, creando un sentido de comunidad y apoyo.
 - Educación: Es fundamental compartir y promover información relacionado con el problema y los efectos de las drogas y adicciones, así como consecuencias, lugares para solicitar ayuda y las estrategias de recuperación.
 - Mindfulness y relajación: Se incluyen técnicas de meditación y respiración para reducir el estrés y la ansiedad.
- **Realidad Virtual, Asistentes virtuales e inteligencia artificial aplicada a los pacientes con consumo de drogas o sustancias**

La complejidad de las aplicaciones aplicadas en la salud mental y más aun enfocada en brindar nuevas herramientas para que se pueda ayudar en los tratamientos de adicción a las drogas, significan una experiencia interesante al utilizar tecnologías inmersivas, como se describen a continuación:

- (C2Addict, 2023) **Terapia de Exposición en Realidad Virtual (TERV):** Provee entornos virtuales con ambientes amigables que funcionan de una forma práctica para mejorar el tratamiento de adicciones a las drogas, particularmente en: alcohol, tabaco, juego de azar y drogas.

El uso de la Realidad Virtual propicia la creación de un ambiente seguro que emula el real, que está diseñado para que provoque antojos intensos en los pacientes y genera reacciones cognitivas, emocionales y conductuales ante estos eventos, permitiendo que logren entrenarse y aplicar las herramientas y recursos aprendidos durante las terapias recibidas en sus tratamientos, de tal manera que, se encuentren listos para enfrentar los desafíos que implica estar nuevamente en las calles y reinsertarse en la , como se menciona en (C2Addict, 2023).

Los tratamientos SUD (Trastorno por Consumo de Sustancias), constituyen una oportunidad práctica y eficiente en entornos simulados, generando experiencias tridimensional, interactiva e inmersiva, en las que se incluyen la retroalimentación háptica (táctil) y un audio espacial para mejorar los tratamientos y la inmersión de los usuarios que son pacientes sometidos a este proceso.

- **Asistentes virtuales:** Hoy en día existe un sinnúmero de alternativas que se ofrecen en el mercado para facilitar y favorecer los actuales tratamientos de los pacientes que se encuentran en proceso de rehabilitación de drogas.

Si bien es cierto, el uso de chatbots en la vida diaria se vuelve frecuente con plataformas como la de SIRI y Alexa, que permiten configurar o programar medicinas, gestionar citas médicas, entre otras, sin embargo, también existen chatbots que han revolucionado el esquema y estructura de seguimiento a pacientes como lo hacen Florence y Pahola. Ambos chatbots, realizan preguntas de manera interactiva con el propósito de aportar a las personas con respuestas útiles, en temas como, la gestión de estrés, trastornos mentales, riesgos asociados con el consumo de alcohol, hábitos de alimentación saludables, actividad física, entre otros, y en diferentes idiomas. Incluso, Florence se convirtió una trabajadora virtual de la salud de la OMS. (Roche, 2023)

- **Inteligencia Artificial:** La Inteligencia Artificial está revolucionando los procesos de terapias digitales combinados con los chatbots son una potente herramienta que desarrollan programas de TCC (Terapia cognitivo-conductual automatizadas, con recursos disponibles 24/7 (horas/días), con información actualizada y contenido en línea para poder solventar las necesidades reales, así como medir los progresos de manera personalizados e individualizados, con apoyos continuos a los pacientes, así como motivación focalizada en reducir la sensación de aislamiento.

Conclusiones (Izquierda)

Las tecnologías emergentes constituyen una gran oportunidad para mejorar los tratamientos que actualmente se realizan con los pacientes que tienen problemas de adicción a las drogas. En este contexto, la combinación de esquemas basados en teorías sobre el comportamiento del cerebro y cómo estos pueden reaccionar frente a estímulos, nos permiten tener una visión más integral y amplia sobre los procesos tecnológicos aplicables de manera personalizada, por lo que representa una importante contribución, según las necesidades específicas de los usuarios.

Una persona dependiente, tiene graves afectaciones en la actividad cerebral, en la que se evidencian alteraciones en el circuito de recompensas, cuyos resultados pueden ser a corto, mediano o largo plazo, con secuelas que dependiendo de varios factores podrían considerarse en algunos casos permanentes.

Los pacientes que padecen de este tipo de trastorno crónico y recurrente tienen graves problemas para tomar decisiones y manejar el autocontrol, lo cual significa el punto fundamental de lo que es un problema de adicción, que depende de las sustancias que consumen.

El uso de las diferentes tecnologías sugiere una gran alternativa, en las que aplicaciones como el BCI (Brain Computer Interface), ayudan a resolver e interpretar nuevas tendencias y patrones de la actividad cerebral de las personas dependientes, así como la inteligencia artificial con sus mecanismos de modelos predictivos que permiten identificar las posibles recaídas en los pacientes. También se abordaron como impactan dentro de las consultas, diagnósticos y tratamientos los procesos inmersivos con Realidad Virtual y aumentada.

Asimismo, se plantean nuevos tratamientos con Estimulación Eléctrica Transcraneal Repetitiva (EMTr), que ha tenido excelentes resultados en personas con adicción a la cocaína. También, es notable destacar como a estos esquemas se pueden ir agregando nuevas plataformas y aplicaciones web que permitan efectuar monitoreos eficientes y prácticos.

Este tipo de opciones, proponen una nueva solución para enfrentar los desafíos que implica esta enfermedad crónica, para reinsertar a los pacientes a la sociedad, con procesos de rehabilitación que mejoren su calidad y estilo de vida, con diagnósticos, seguimientos y monitoreos.

Los avances en el campo de la salud con la tecnología ofrecen soluciones prometedoras para mejorar las posibles soluciones

Referencias (Izquierdo)

- NIDA. 2020, Agosto 31. Las drogas y el cerebro. Obtenido de <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/las-drogas-el-cerebro-y-la-conducta-la-ciencia-de-la-adiccion/las-drogas-y-el-cerebro>
- NIDA. 2023, Marzo 23. Tratamiento y recuperación. Retrieved from <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/las-drogas-el-cerebro-y-la-conducta-la-ciencia-de-la-adiccion/tratamiento-y-recuperacion> en 2024, June 26
- Hammond, C. (2008) What is neurofeedback? Journal of Neurotherapy: Investigations in Neuromodulation, Neurofeedback and Applied Neuroscience, 10(4), 25-36. http://dx.doi.org/10.1300/J184v10n04_04
- Hammond, C. (2011). What is neurofeedback: An update. Journal of Neurotherapy, 15(4), 305-336. <http://dx.doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>
- Méndez, M. (2010). El cerebro y las drogas, sus mecanismos neurobiológicos. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252010000500009
- Adictalía. (2022). Síndrome de abstinencia de la heroína. <https://www.adictalia.es/noticias/sindrome-de-abstinencia-de-la-heroina/#:~:text=De%20hecho%2C%20quiz%C3%A1%20la%20hero%C3%ADna,abstinencia%20es%20intenso%20cuando%20hablamos%20>.

Nora D. Volkow, M.D., George F. Koob, Ph.D., and A. Thomas McLellan, Ph.D. (2016). Neurobiologic Advances from the Brain Disease Model of Addiction. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMra1511480>

Michael J Young, David J Lin, Leigh R Hochberg. (2021). Brain-computer interfaces in neurorecovery and neurorehabilitation. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8768507/>

Jóvenes TEPA. (2012). Las drogas, el cerebro y el comportamiento: La ciencia de la adicción. <https://jovenestepa.wordpress.com/2012/12/21/las-drogas-el-cerebro-y-el-comportamiento-la-ciencia-de-la-adiccion/>

Villegas, B., Rojas M. (2019). Interfaz cerebro ordenador BCI mediante el uso de Emotiv Insight. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892019000100002

Tena, J., (2021). El modelo del Cerebro Triúnico de MacLean, la Teoría de los dos hemisferios cerebrales y su relación con las adicciones. <https://orbiumadicciones.com/tratamientos-adicciones/>

Fajardo, A., Guzmán, A. (2016). NEUROFEEDBACK, APLICACIONES Y EFICACIA. <https://informe-alcohol.blogspot.com/2011/06/porcentaje-de-recaidas.html>

Rojas, M. (2012). TRABAJAR CON DROGADICTOS EN BARCELONA. <https://marianrojas.com/trabajar-con-drogadictos-en-barcelona/>

Fundación Cronos. (2024). Innovación: Estimulación Magnética Transcraneal Repetitiva para una Recuperación Neurológica Excepcional. <https://www.fundacioncromos.org/estimulacion-magnetica-transcraneal/>

Jóvenes TEPA. (2015). El Proceso de Recaída. <https://jovenestepa.wordpress.com/2015/08/24/el-proceso-de-recaida/>

Radiologyinfo. (2024). Magnetoencefalografía. <https://www.radiologyinfo.org/es/info/meg>

NIDA. (2020). El uso indebido de drogas y la adicción. Obtenido de <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/las-drogas-el-cerebro-y-la-conducta-la-ciencia-de-la-adiccion/abuso-y-adiccion-las-drogas>

Universidad Politécnica de Madrid. (2024). REGISTRO DE MAGNETOENCEFALOGRAFÍA (MEG). <https://www.upm.es/recursosidi/offers-resources/servicios-cientifico-tecnologico/servicios-servicios-cientifico-tecnologico/servicio-de-magnetoencefalografia-meg/>

Abdessalem, H. B., Boukadida, M., & Frasson, C. (2018). *Virtual reality game adaptation using neurofeedback*. Orlando: The Florida AI Research Society. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10484-024-09677-8>

Ay, Sun, Xiaogang, C., Bingchuan, L., Liyang, L., Yijun, W., Shang kai, G., Xiaorong, G. (2024). Adquisición de señales de interfaces cerebro-ordenador: una revisión de la perspectiva cruzada entre la medicina y la ingeniería – ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667325824001559>

Marques, A. (2023). El cerebro triuno, tres en uno.
<https://psicologiaviva.com/blog/el-cerebro-triuno-tres-en-uno/>

López, G. (2024). ¿Qué dice la ciencia sobre el uso de intervenciones basadas en aplicaciones móviles en salud mental?
<https://cipsico.org/ponencia/que-dice-la-ciencia-sobre-el-uso-de-intervenciones-basadas-en-aplicaciones-moviles-en-salud-mental/>

C2Addict. (2024). LA ADICTOLOGÍA Y LA TERV : DESDE EL PUNTO DE VISTA CIENTÍFICO. <https://www.c2.care/es/c2-addict/>

XR Health. (2023). Realidad virtual para el trastorno por consumo de sustancias.
<https://www.xr.health/es/trastorno-consumo-sustancias/>

Taubin, D., Berger, A., Greenwald, D., Colin, B., Gongora, D., Wilens, T. (2022). Una revisión sistemática de las terapias de realidad virtual para los trastornos por consumo de sustancias: impacto en los resultados del tratamiento secundario.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10557052/#R29>

WeeCompany. (2023). 4 soluciones de la Realidad Virtual en adicciones y enfermedades. <https://www.linkedin.com/pulse/4-soluciones-de-la-realidad-virtual-en-adicciones-y-enfermedades/>

Segawa, T., Baudry, T., Bourla, A., Blanc, J., Siegfried, C., Mouchabac, S., Ferreri, F. (2020). Realidad virtual (RV) en la evaluación y el tratamiento de los trastornos adictivos: una revisión sistemática.
<https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2019.01409/full#F1>

- Forbes Staff. (2024). ¿Puede la realidad virtual usarse para combatir adicciones? <https://forbes.com.mx/puede-la-realidad-virtual-usarse-para-combatir-adicciones/>
- Hyman, S. E., Malenka, R. C., & Nestler, E. J. (2006). Neural mechanisms of addiction: the role of reward-related learning and memory. *Annual review of neuroscience*, 29, 565–598.
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.29.051605.113009>
- Yang, S., Hwang, H. S., Zhu, B. H., Chen, J., Enkhzaya, G., Wang, Z. J., Kim, E. S., & Kim, N. Y. (2022). Evaluating the Alterations Induced by Virtual Reality in Cerebral Small-World Networks Using Graph Theory Analysis with Electroencephalography. *Brain sciences*, 12(12), 1630. <https://doi.org/10.3390/brainsci12121630>
- F. Ortiz, J. G. González, A. Montes, N. González and A. M. Peña. (2016). "Induction of emotional states in people with disabilities through film clips using brain computer interfaces," in IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no. 2, pp. 563-568, Feb. 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7437193.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7437193>
- Peksa, J., & Mamchur, D. (2023). State-of-the-Art on Brain-Computer Interface Technology. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(13), 6001.
<https://doi.org/10.3390/s23136001>
- Rocheplus. (2022). Asistentes virtuales para dejar las adicciones y cuidar la salud mental. <https://www.rocheplus.es/innovacion/inteligencia-artificial/florence-pahola.html>
- Hartch, C. E., Dietrich, M. S., & Stollendorf, D. P. (2023). Effect of a Medication Adherence Mobile Phone App on Medically Underserved Patients with Chronic Illness: Preliminary Efficacy Study. *JMIR formative research*, 7, e50579. <https://doi.org/10.2196/50579>



Rocheplus. (2021). Asistentes de voz: la revolución virtual llega al ámbito de la salud. <https://www.rocheplus.es/innovacion/tecnologia/asistentes-de-voz.html>

Observatorio de Inteligencia Artificial. (2024). La IA: Una nueva esperanza en la lucha contra las adicciones. <https://observatorio-ia.com/la-ia-una-nueva-esperanza-en-la-lucha-contra-las-adicciones>