




---

Artículo original

**Retroalimentación neuropsicológica de la corteza prefrontal en policonsumidores y abstemios, con incidencia en las metanfetaminas**


Neuropsychological feedback of the prefrontal cortex in polydrug users and abstainers, with incidence in methamphetamine


Charles Y. da Silva Rodrigues<sup>1,2</sup>  

Paula A. Carvalho de Figueiredo<sup>1,3</sup> 

José Félix Gómez Calderón<sup>4</sup> 

Zuriel Tonatiuh Ceja de la Cruz<sup>1</sup> 

Omar Guadalupe Martínez Troncoso<sup>1</sup> 

María Alejandra Hernández Vera<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato. México.

<sup>2</sup>Sistema Nacional de Investigadores (SIN). México.

<sup>3</sup>Universidad Abierta de Lisboa, investigadora invitada en Centro de Estudos das Migrações e das Relações Interculturais. Lisboa, Portugal.

<sup>4</sup>Centro de Integración Juvenil. Guanajuato, México.

Recibido: 24/11/2020

Aceptado: 17/12/2020

## RESUMEN

**Introducción:** Los policonsumidores con ingesta preferencial de metanfetamina o, incluso, los abstemios que hayan estado en condiciones similares, pueden presentar importantes alteraciones funcionales al nivel de la corteza prefrontal.



*Este material es publicado según los términos de la Licencia Creative Commons Atribución–NoComercial 4.0. Se permite el uso, distribución y reproducción no comerciales y sin restricciones en cualquier medio, siempre que sea debidamente citada la fuente primaria de publicación.*

**Objetivo:** Comparar las alteraciones neuropsicológicas en policonsumidores con ingesta preferencial de metanfetamina y participantes de abstinencia.

**Métodos:** En la muestra participaron 30 jóvenes, divididos en 3 grupos: consumo activo, abstinencia y no consumo; evaluados a partir de la Batería de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales (BANFE II), y monitoreados por el *ProCom Infiniti*, un equipo de retroalimentación biológica y neurológica.

**Resultados:** Se observaron diferencias estadísticamente significativas en los grupos de consumo activo y abstemios, para los procesos neuropsicológicos generales y de la región dorsolateral, así como en la retroalimentación hemisférica y de la presión del volumen sanguíneo.

**Conclusiones:** El policonsumo de metanfetaminas como droga de impacto puede asociarse con la presencia de importantes alteraciones neuropsicológicas, sin embargo, durante el proceso de abstinencia se observaron mejoras en los resultados de las pruebas, sugiriendo reajustes cerebrales.

**Palabras clave:** corteza prefrontal; neurofeedback; policonsumo; abstinencia.

## ABSTRACT

**Introduction:** Polydrug users with a preferential intake of methamphetamine or even abstainers who have been in similar conditions, may present significant functional alterations at the level of the prefrontal cortex.

**Objective:** Identify the neuropsychological alterations of these users and the changes that can be compare with participants in abstinence.

**Methods:** 30 young people participated in the sample, divided into 3 groups: active consumption, abstinence and no consumption; evaluated by the Battery of Executive Functions and Frontal Lobes (BANFE II), and monitored by ProCom Infiniti, a neurological and biological feedback team.

**Results:** There were significant statistically differences in the groups of active consumption and abstainers, for the general neuropsychological processes and of the dorsolateral region, as well as in the hemispheric feedback and blood pressure volume.

**Conclusions:** The poly-users who use methamphetamine as an impact drug can trigger important neuropsychological alterations, however, the withdrawal process can provide certain brain readjustments.

**Key words:** Prefrontal Cortex; Neurofeedback; Polydrug Use; Abstinence.



## Introducción

El policonsumo de sustancias psicoactivas por parte de la población más joven representa un importante problema de salud pública, sobre todo cuando existe una incidencia preferencial en la ingesta de metanfetaminas.<sup>(1,2)</sup> Con base en el desarrollo del modelo animal se ha podido relacionar la modificación de los mensajeros químicos de la dopamina, así como el incremento de este neurotransmisor en el circuito de recompensa, por consumo de drogas, con el efecto de gratificación y formación de hábitos que se producen en el usuario.<sup>(3,4,5)</sup> Estos cambios bioquímicos en la estructura cerebral afectan igualmente al buen funcionamiento de la corteza prefrontal (CPF), así como sus procesos cognitivos y neuropsicológicos.<sup>(6,7)</sup>

La CPF presenta una funcionalidad dinámica entre sus porciones anatómicas, misma que permite el procesamiento de la información emocional y racional de manera simultánea, la inhibición de conductas desadaptativas y la gestión de la recompensa o gratificación; siendo que estos procesos son esenciales para que el individuo pueda presentar una buena autorregulación conductual y adaptabilidad al entorno y a la interacción con las demás personas.<sup>(8,9)</sup> Interesa referir que la ingesta continua de las sustancias psicoactivas puede generar tolerancia y abstinencia, así como alteraciones cerebrales permanentes, tanto en su funcionalidad como en el procesamiento de la información.<sup>(6,7,10)</sup>

Con el fin de un mejor entendimiento, tanto del proceso adictivo como del impacto de la metanfetamina en los policonsumidores, debe referirse que en la fase inicial del consumo de drogas sintéticas, estas pueden generar una sensación de euforia y mejoramiento del estado de ánimo, aumento de la energía, de la actividad física, la libido y la capacidad sexual, así como disminución de la fatiga y de la necesidad de dormir.<sup>(8,11,12)</sup> Cuando la sustancia presenta una buena calidad, considerando el grado de pureza y concentración de sus componentes tras el proceso de sintetización, el usuario percibe un aumento exponencial en el rendimiento de tareas mentales y procesos neurocognitivos, como la atención y la memoria.<sup>(8,11)</sup>

El consumo de sustancias también ejerce cambios emocionales en la CPF, debido a los cambios bioquímicos en las células relacionadas con el núcleo accumbens: proyecciones límbicas, inscritas a las alteraciones en el proceso de empatía, sexualidad y activación del círculo de odio, ubicado en el putamen y que se encarga de producir los sentimientos de ira, miedo y temor;<sup>(1,4)</sup> y proyecciones extra límbicas, asociadas, por una parte, a estructuras filogenéticamente más primitivas que generan la sensación de deseo adictivo incontrolable y, por otra parte a los núcleos de rafe que son responsable por los síntomas de ansiedad y angustia, sobre todo en el proceso inicial de la abstinencia.<sup>(1,13,14)</sup>

Asimismo, la privación continua del policonsumo de drogas psicoactivas con incidencia en las metanfetaminas y consecuentemente la falta de recompensa o ausencia de la acción placentera de la sustancia en el organismo, a causa de una disminución drástica de sintetización de dopamina en el núcleo accumbens, puede provocar perturbaciones



en el sistema mesolímbico.<sup>(15,16)</sup> Estas afectaciones, con frecuencia, son los altos niveles de estrés o síntomas de ansiedad y depresión; sin embargo, investigaciones previas indican que la abstinencia también puede causar un reajuste progresivo de las funciones cognitivas en la CPF e, incluso, esta normalización puede iniciarse en la fase inicial del abstencionismo.<sup>(16,17,18,19)</sup>

Por lo anterior, el propósito de esta investigación se orientó hacia la evaluación de las alteraciones neuropsicológicas de policonsumidores y abstemios, con incidencia en la ingesta de metanfetaminas; al mismo tiempo que se realizaba un mapeo de la CPF, a través de la retroalimentación neurológica, con el objetivo de explorar los cambios neurofisiológicos involuntarios de los participantes con los datos de la evaluación neuropsicológica. Estos hallazgos podrían ser importantes para reforzar las teorías que asumen el cambio de la CPF como principal cambio en los primeros años de la adicción y abstinencia, sin que, probablemente, existan alteraciones cognitivas permanentes.

## Métodos

Esta investigación se basa en un estudio descriptivo y comparativo que busca conocer las consecuencias del policonsumo asociado a una ingesta preferencial de metanfetamina, con un enfoque cuantitativo, a través de medición de variables independientes.

## Participantes

La muestra de este trabajo fue compuesta por 30 jóvenes, de los cuales 13 eran mujeres (43,3 %) y 17 eran hombres (56,7 %). La edad media de los participantes fue de 19,8 años. Fueron divididos homogéneamente en tres grupos: un grupo de consumidores activos, siendo estos, policonsumidores con incidencia en drogas de diseño de tipo metanfetamínicos (G1); un grupo de abstemios, o sea, participantes en régimen de internamiento y abstinencia, que anteriormente habían sido policonsumidores con incidencia en drogas de diseño de tipo metanfetamínicos (G2); y un grupo de no consumidores (G3).

Los grupos se categorizaron de la siguiente forma: en el G1 se reunieron 10 participantes, en fase de consumo activo, considerando que su promedio de edad era de 18 años, variando entre los 18 y 19 años de edad; en el G2 participaron otros 10 sujetos, en fase inicial de abstinencia y en régimen de internamiento, su promedio de edad fue de 20 años, con una variación de edades entre los 18 y los 23 años; y en el G3 se encontraban 10 participantes, no consumidores, con edad media de 20 años, variando entre los 18 y los 23 años de edad.

En cuanto a los criterios de inclusión: para G1, que hubieran sido consumidores de dos o más sustancias con incidencia en el consumo de metanfetamina, que el tiempo de



*Este material es publicado según los términos de la Licencia Creative Commons Atribución–NoComercial 4.0. Se permite el uso, distribución y reproducción no comerciales y sin restricciones en cualquier medio, siempre que sea debidamente citada la fuente primaria de publicación.*

consumo se registrara en un espacio temporal de entre 5 y 10 años y que en el día de la evaluación presentaran un mínimo de 48 horas de abstinencia; para G2, que hubieran sido consumidores de dos o más sustancias con incidencia en el consumo de metanfetamina, que hasta el inicio de la abstinencia hubieran presentado un espacio temporal de consumo de entre 5 y 10 años, y que el tiempo de abstinencia no fuera inferior a 1 mes o superior a 3 meses; mientras que para G3, el único criterio era que nunca hubieran consumido sustancias psicoactivas.

## Instrumentos

Para la evaluación de los procesos neuropsicológicos se utilizó la Batería de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales - BANFE II, con el propósito de analizar el desempeño de las funciones corticales de la CPF en policonsumidores con incidencia en las metanfetaminas. Esta batería evalúa quince procesos operativos de las funciones ejecutivas, agrupados en tres áreas específicas: orbitomedial, prefrontal anterior y dorsolateral, de esta última dependen la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas.<sup>(20)</sup>

En la valoración del área orbitomedial se aplican 3 pruebas: laberintos, para medir el control motriz y planeación visoespacial; juego de cartas, para determinar la capacidad que un individuo tiene al momento de relacionar el riesgo-beneficio de una determinada acción; y el *Stroop*, para mensurar la habilidad de inhibir respuestas altamente automatizadas.

En cuanto a la evaluación del área prefrontal anterior, se aplicaron también tres pruebas: clasificación semántica, para verificar la capacidad de abstracción y creación de categorías semánticas; selección de refranes, para indagar sobre el significado abstracto a partir de diferentes alternativas; y metamemoria, que indaga sobre los procesos de monitoreo y control metacognitivo.<sup>(20,21)</sup>

Para la medición funcional del área dorsolateral debe considerarse, por un lado, los aspectos asociados a la memoria de trabajo, que implican la medición mnésica, aritmética y del lenguaje, considerando las siguientes pruebas: señalamiento autodirigido, resta consecutiva, suma consecutiva, ordenamiento alfabético de palabras y memoria de trabajo visoespacial; y, por otro lado, los factores vinculados con las funciones ejecutivas, que obedecen a la valoración de las habilidades de planeación, flexibilidad mental y abstracción, a partir de las pruebas: laberintos, clasificación de cartas, clasificación semántica, fluidez verbal y torre de Hanoi.

La evaluación realizada con la BANFE II permite obtener un índice global del desempeño y un índice de la operatividad asociadas a las áreas prefrontales medidas. Esta batería puede aplicarse a personas desde los seis años hasta la edad adulta y tiene un coeficiente de confiabilidad de 0,80 para los hispanohablantes.<sup>(20)</sup>



Para el monitoreo de los cambios fisiológicos involuntarios con retroalimentación biológica y neurológica se utilizó el ProCom Infiniti (número de serie: CA3443), un aparato electrónico de retroalimentación neurológica (*neurofeedback*) que registra en tiempo real el *input* de 8 canales. Los dos primeros canales (A y B) de 3dB, con rango de muestreo de DC - 512 Hz, se aplican a la retroalimentación neurológica debido a su capacidad de registrar hasta 2048 datos por segundo (dps), y los restantes canales (C, D, E, F, G y H), con un rango de muestreo de entre los 8 Hz y los 64 Hz, y que reportan 256 dps.<sup>(22)</sup>

En este sentido, la retroalimentación neurológica se realizó a partir de los canales A y B, ambos con 3 electrodos (potencial de acción, potencial de reposo y neutro, conectado en el cartílago de la oreja), evaluando la actividad cerebral izquierda y derecha, respectivamente. Estos midieron fp1 y f7 del lóbulo frontal izquierdo, y el fp2 y f8 del lóbulo frontal derecho, considerando el método internacional de conexión 10-20. Se omitieron las conexiones en f3 y f4 debido a su incidencia en el área motora del lóbulo prefrontal. En la retroalimentación biológica los canales C y D realizaron la medición galvánica de la piel en los participantes, considerando la temperatura del cuerpo y la sudoración (impedancia eléctrica de la piel), el canal E midió la tasa o frecuencia respiratoria, y en el canal F valoró la frecuencia cardíaca - volumen y flujo sanguíneo.<sup>(23,24)</sup>

## Procedimiento

Se realizaron tres sesiones por participante, en la primera se les explicó las condiciones de formar parte de este estudio, se recopilaron los consentimientos informados y se realizaron las entrevistas clínicas. En la segunda sesión se aplicó la prueba de evaluación BANFE II, monitoreada a partir del equipo de retroalimentación neurológica (*neurofeedback*); y en la tercera y última sesión, en conjunto con los participantes se verificaron los expedientes y se realizó la entrega de resultados de la evaluación. Todo el proceso se efectuó en las instalaciones de una institución ambulatoria para las adicciones, que por cuestiones de anonimato no se identificará.

## Consideraciones éticas

Los participantes fueron informados sobre la investigación, su participación fue voluntaria y correspondiente tanto a los criterios éticos de confidencialidad y anonimato, como a los metodológicos establecidos por la American Psychological Association<sup>(13)</sup> y por la Ley General de la Salud en México.<sup>(14)</sup>



## Resultados

Para la realización del análisis de los datos arrojados por la evaluación se utilizó el *software RStudio* versión 1.4.1 en un sistema operativo Mac OS. Se aplicó un análisis *one-way ANOVA* para identificar las diferencias estadísticamente significativas entre grupos, así como las correlaciones entre variables; para validar la significancia de dichas diferencias se aplicó una prueba *Tukey post hoc*. Adicionalmente, las correlaciones fueron implementadas con la fórmula de Pearson, para explorar posibles correlaciones entre las variables.

El análisis de los datos arrojados por la evaluación neuropsicológica reveló dos diferencias estadísticamente significativas, en primer lugar, el puntaje total de la prueba BANFE II, determinado por una prueba *one-way ANOVA*  $F(2,27) = 3,217$ ,  $p = 0,055$  (Tabla 1) y verificado a través de la prueba *Tukey post hoc*, que incide sobre el puntaje significativamente bajo entre el grupo consumo ( $1,8 \pm 0,63$  min,  $p = 0,050$ ) y el grupo de no consumidores ( $2,8 \pm 0,79$  min), esto quiere decir que el grupo de consumo activo tuvo un desempeño menor que el grupo de no consumidores. En segundo lugar, la diferencia en el puntaje normalizado del área prefrontal dorsolateral determinada por una prueba *one-way ANOVA*  $F(2,27) = 2,754$ ,  $p = 0,081$  (Tabla 2) y verificado a través de la prueba *Tukey post hoc*, que determina el puntaje significativamente bajo entre el grupo consumo ( $75,2 \pm 16,41$  min,  $p = 0,069$ ) comparado con el grupo de no consumidores ( $95,1 \pm 19,86$  min), esto quiere decir que el grupo de no consumidores mostró un mejor rendimiento en las tareas asociadas al área prefrontal dorsolateral.

**Tabla 1** - Resumen de estadísticos de ANOVA de los puntajes totales de la prueba BANFE II

		gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Pr (> F)
Orbitomedial	Grupo	2	0,867	0,4333	0,411	0,667
	Residuales	27	28,5	1,0556		
Prefrontal anterior	Grupo	2	1,267	0,6333	0,851	0,438
	Residuales	27	20,1	0,7444		
Dorsolateral	Grupo	2	4,2	2,1	2,566	0,0955
	Residuales	27	22,1	0,8185		
Puntaje total	Grupo	2	5,267	2,6333	3,217	0,0558
	Residuales	27	22,1	0,8185		

*Nota:* Resumen estadístico de la prueba ANOVA donde se pueden identificar valores significativos en el grupo de pruebas que evalúan el área dorsolateral ( $p < 0,01$ ) y en el puntaje total de la prueba ( $p < 0,01$ ).

**Tabla 2** - Resumen de estadísticos de ANOVA puntajes normalizados de la prueba BANFE II

		gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Pr (> F)
Orbitomedial	Grupo	2	483	241,7	0,312	0,735
	Residuales	27	20952	776		
Prefrontal anterior	Grupo	2	239	119,6	0,471	0,629
	Residuales	27	6857	254		
Dorsolateral	Grupo	2	2023	1011,7	2,754	0,0816
	Residuales	27	9919	367,4		



*Este material es publicado según los términos de la Licencia Creative Commons Atribución–NoComercial 4.0. Se permite el uso, distribución y reproducción no comerciales y sin restricciones en cualquier medio, siempre que sea debidamente citada la fuente primaria de publicación.*

Puntaje total	Grupo	2	1758	878,8	1,733	0,196
	Residuales	27	13695	507,2		

Nota: Resumen estadístico de la prueba ANOVA donde se pueden identificar valores significativos en el grupo de pruebas que evalúan el área dorsolateral ( $p < 0,01$ ) y en el puntaje total de la prueba ( $p < 0,01$ ).

En lo que respecta a la monitorización de la retroalimentación neurológica (*neurofeedback*) durante la aplicación de la prueba BANFE II a los participantes de esta investigación, se pudieron constatar diferencias estadísticamente significativas en dos ámbitos: activación electroencefalográfica en ambos hemisferios y una variable fisiológica. Para la retroalimentación neurológica se obtuvieron diferencias significativas en EEG A y B, o sea, en los electrodos de lectura de potencial eléctrico izquierdo y derecho, respectivamente (Tabla 3).

**Tabla 3 - Resumen de estadísticos de ANOVA de las variables fisiológicas**

		gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Pr (> F)
EEG A	Grupo	2	122347	61174	3,334	0,0508
	Residuales	27	495469	18351		
EEG B	Grupo	2	395100	197550	12,83	0,000121
	Residuales	27	415805	15400		
Medición galvánica (Impedancia eléctrica de la piel)	Grupo	2	101	50,51	1,198	0,317
	Residuales	27	1138	42,17		
Frecuencia respiratoria	Grupo	2	49,7	24,86	0,629	0,541
	Residuales	27	1067,2	39,53		
Presión del volumen sanguíneo (PVS)	Grupo	2	14506	7253	5,223	0,0121
	Residuales	27	37495	1389		

Nota: Resumen de estadísticos de la ANOVA categorizando las mediciones neurofisiológicas que se aplicaron a los participantes. Se pueden identificar valores significativos en ambos electrodos colocados en el cráneo para medir la actividad eléctrica de la superficie cerebral o electroencefalograma (EKG) con significancias menores a  $p < 0,05$ . Adicionalmente, la presión de volumen sanguíneo (BPV) arrojó diferencias significativas, igualmente menores a  $p < 0,05$ .

Con respecto a la variable electroencefalográfica, se utilizó una prueba *one-way* ANOVA  $F(2,27) = 3,334$ ,  $p = 0,050$  para detectar diferencias en el hemisferio izquierdo (A) entre el grupo de no consumidores ( $349 \pm 94,85$  min,  $p = 0,040$ ) y el grupo de abstemios ( $192,8 \pm 175,68$  min). El grupo de no consumidores presentó una mayor activación en dicha región encefálica (Tabla 4).

**Tabla 4 - Resultados prueba Tukey *post hoc* para variable EEG A**

Grupo	Diferencia	Bajo	Alto	P adj
Abstinencia-Consumo activo	-85,4	-236	64,80734	0,3501921
No consumo-Consumo activo	70,8	-79	221,00734	0,4815754
No consumo-Abstinencia	156,2	6	306,40734	0,0403219

Nota: El resultado arroja una diferencia significativa de 156,2 puntos entre el grupo de no consumo y el grupo de abstinencia, con una significancia igual a  $p < 0,05$ .



Este material es publicado según los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-NonComercial 4.0. Se permite el uso, distribución y reproducción no comerciales y sin restricciones en cualquier medio, siempre que sea debidamente citada la fuente primaria de publicación.



Con respecto al hemisferio derecho (B) la prueba *one-way* ANOVA  $F(2,27) = 12,83$ ,  $p = 0,001$  reveló diferencias significativas en la activación de este hemisferio entre grupos. Las diferencias encontradas fueron en el grupo abstinencia ( $122,8 \pm 177,49$  min,  $p = 0,001$ ) y el grupo de no consumidores ( $383.2 \pm 83.32$  min,  $p = 0,001$ ) en comparación con el grupo consumo activo ( $344,7 \pm 88,07$  min) (Tabla 5).

**Tabla 5** - Resultados prueba Tukey *post hoc* para variable EEG B

Grupo	Diferencia	Bajo	Alto	P adj
Abstinencia-Consumo activo	-221,9	-360	-84,29703	0,0012528
No consumo-Consumo activo	38,5	-99	176,10297	0,769147
No consumo-Abstinencia	260,4	123	398,00297	0,0002001

Notas: El resultado arroja dos diferencias significativas de -221,9 y 260.4 puntos entre los grupos de abstinencia y grupo de consumo activo; y grupo de no consumo y abstinencia, respectivamente. La significancia fue igual a  $p < 0,05$ .

Lo anterior refuerza la idea de que durante la prueba el grupo de consumo activo mostró una menor activación cerebral que el grupo de abstinencia, y el grupo de abstinencia tuvo menor activación neurológica que el grupo de no consumidores, pero no se encontró una diferencia significativa entre el grupo de no consumidores y el grupo de consumo activo ( $p = 0,769$ ).

En cuanto al análisis de la retroalimentación fisiológica, debe referirse que no se encontró un valor estándar para la conductancia, con resultados para la temperatura del cuerpo de  $37^\circ\text{C}$ , frecuencia respiratoria 12-20 RPM y para la frecuencia cardiaca de 60-80 PPM (Tabla 4). No obstante, la única diferencia estadísticamente significativa con relación a la retroalimentación fisiológica es el de PVS (Tabla 6).

**Tabla 6** - Resultados prueba Tukey *post hoc* para variable PVS

Grupo	Diferencia	Bajo	Alto	P adj
Abstinencia-Consumo activo	15,0951	-26	56,41619	0,6413883
No consumo-Consumo activo	52,32556	11	93,64665	0,010982
No consumo-Abstinencia	37,23047	4,1	78,55156	0,0834172

Nota: El resultado arroja una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de consumidores activos y el grupo de no consumidores, con una significancia igual a  $p < 0,05$ .

## Discusión

Los resultados de esta investigación son determinantes para indagar en la hipótesis de que los policonsumidores que utilizan las metanfetaminas como droga de impacto, pueden presentar derivado del consumo alteraciones neuropsicológicas en toda la CPF de forma total o parcial.<sup>(1,8,9)</sup> Esta teoría se fundamenta en la diferencia estadísticamente significativa arrojada por la puntuación total de la BANFE II, y que se refiere a la correlación funcional entre la región orbitomedial, prefrontal anterior y



Este material es publicado según los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-NonComercial 4.0. Se permite el uso, distribución y reproducción no comerciales y sin restricciones en cualquier medio, siempre que sea debidamente citada la fuente primaria de publicación.

dorsolateral de la CPF; así como en la coincidencia de resultados con otras investigaciones previamente analizadas.<sup>(11,12)</sup>

Asimismo, es importante referir que, esta alteración global de los recursos funcionales se verificó, sobre todo, a nivel de la memoria de trabajo, considerando también la memoria espacial, de corto plazo, codificación, reconocimiento, recuperación de datos y memoria prospectiva; del lenguaje, con incidencia en el procesamiento semántico, comprensión, fluencia verbal, clasificación semántica y procesamiento no verbal; entre otros, como la atención, el procesamiento de estímulos emocionales y la respuesta a ciertos tipos de afectos.<sup>(1,7,8)</sup> Estas limitaciones neuropsicológicas parecen tener una relación directa con el bajo desempeño de las funciones ejecutivas y metacognitivas, componentes básicos del funcionamiento dorsolateral.<sup>(10,11)</sup>

En cuestiones de la operatividad del área dorsolateral debe considerarse la eficiencia ejecutiva, desde la flexibilidad mental y la creación, supervisión y resolución de problemas; y la metacognición, mayormente desde sus relaciones con el monitoreo y ajustes de la actividad, con relación a acciones continuadas.<sup>(15,20,21)</sup>

Los cambios identificados durante este estudio, entre consumidores activos y no consumidores, presentan diferencias altas, pero no necesariamente significativas. Respecto a esto, se podría indagar sobre un reajuste funcional y progresivo de la CPF y, consecuentemente, de las funciones neurocognitivas, aunque los resultados de la BANFE II no permitan identificar dicho reajuste, pero la retroalimentación neuropsicológica sí lo permite.<sup>(17,20)</sup>

Los electrodos de retroalimentación de la actividad neurológica, representados en la retroalimentación neurológica (*neurofeedback*) como canal A y B, electrodo izquierdo y derecho, respectivamente, reportan diferencias estadísticamente significativas cuando se comparan las lecturas del grupo de abstinencia con el grupo de no consumo. Estas puntuaciones altas y significativas en el hemisferio izquierdo de los participantes del grupo de abstinencia indican una activación hemisférica más constante y activa, o sea, un desempeño mayor en las conductas logísticas y repetitivas, en el establecimiento y consolidación de rutinas, pensando que su periodo de rehabilitación está absolutamente relacionado con procedimientos sistematizados y horarios preestablecidos.<sup>(22,23)</sup>

Si consideramos que el hemisferio izquierdo es más lógico y analítico y, como tal, con mayor relación hacia los procesos cognitivos y operaciones mentales que permiten una interacción social adaptativa, entre los principales procesos se encuentra la capacidad de inferir o suponer situaciones o acciones casuales, comprender el comportamiento ajeno, empatizar y procesar emociones; entonces, se puede indagar sobre ciertas mejorías.<sup>(1,6,7)</sup> Aunque estos procesos pueden verse afectados como consecuencia de otros elementos cognitivos, como son los esquemas mentales, que representan las conceptualizaciones acerca de la persona y de las cosas del mundo, bien se pueden considerar como las representaciones de un constructo debidamente organizado que infiere sobre situaciones, acciones, creencias, principios y demás abstracciones sociales que son necesarias para adaptarse a lo social.<sup>(6,8,9)</sup>



En cambio, la retroalimentación neurológica de la CPF derecha presentó alteraciones estadísticamente significativas, tanto en los participantes del grupo de consumidores activos como del grupo de los abstemios, comparados con el grupo de no consumidores. Estos datos permiten establecer limitaciones en las conductas creativas, pensamiento libre, percepción y orientación de los aspectos generales y en la intuitividad, o sea, en las conductas o decisiones subjetivas y adaptativas; la percepción de valores positivos y negativos con respecto a las demás personas y, sobre todo, la resolución de problemas, aunque no siempre el individuo detiene la información de respuesta almacenada y preparada para solucionar una acción, sino que a partir de la imaginación y capacidad inventiva se pueden relacionar e integrar conocimientos concretos con abstractos y encontrar soluciones específicas.<sup>(10,11,12,13)</sup>

En cuanto a la retroalimentación fisiológica, importa referir que apenas se identificó una diferencia estadísticamente significativa, y que esta se refiere a la presión del volumen sanguíneo en los participantes del grupo de abstinencia. La PVS está asociada a síntomas de ansiedad, sensación de mucha tensión, de peligro inminente, pánico, sudoración, temblores, debilidad física, esto debido a la preocupación o a la intención de hacer una actividad lo mejor posible, lo que de cierta manera también estaría en concordancia con la evidencia de una mejoría cognitiva.<sup>(5,7,23,24)</sup> Esta idea de una mejoría neuropsicológica por vía de la abstinencia, en un periodo inicial de hasta 5 años de consumo, dependiendo de todos los factores que contribuyen para estas alteraciones, se ha explorado en la parte neurocognitiva y funcional de la CPF, conforme referimos inicialmente. No obstante, parece que los cambios emocionales son bastante más duraderos y que en algunos casos se pueden transformar en un problema crónico.

Los policonsumidores que usan las metanfetaminas como droga de impacto pueden desencadenar importantes alteraciones neuropsicológicas, sobre todo en la corteza prefrontal, considerando su funcionamiento global y la calidad operativa del área dorsolateral. A esta constatación, debe agregarse la evidencia de un posible reajuste del funcionamiento cerebral en los abstemios, en lo que hay que considerar, en primer lugar, la lectura neurológica de puntuaciones altas y significativas en el hemisferio izquierdo de los participantes abstemios, describiendo así, un pensamiento más organizado y adaptativo; y, en segundo lugar, que el alto nivel de PVS evidencia una cierta preocupación hacia la conducta asertiva.

Finalmente, importa referir que, aunque la estructura cerebral se pueda reajustar, lo cierto es que el consumo de metanfetaminas provoca alteraciones concretas en los ámbitos de la funcionalidad neuropsicológica, cognición social y metacognición. Estas situaciones incapacitan al consumidor de mantener una mínima cualidad en sus relaciones interpersonales, limitando sus acciones mnésicas, resolución y toma de decisiones, flexibilidad mental para la adaptación y supervisión del entorno y de la actividad de las demás personas, limitaciones en el monitoreo y ajustes de actividades que están asociadas a acciones continuadas, nuevas situaciones o, inclusive, con respecto a situaciones familiares a la persona.



## Reconocimientos

La investigación ha sido parcialmente financiada por el Instituto de Salud Pública del Estado de Guanajuato, a través de la Convocatoria de Apoyos Adicionales a Proyectos de Investigación en el Área de la Salud Mental 2019. Se agradece al Laboratorio de Innovación en la Investigación y Aprendizaje en Psicología y Salud Interdisciplinaria, del Departamento de Psicología de la Universidad de Guanajuato, por haber puesto a disposición de ellos investigadores el equipo de *neurofeedback* (ProCom Infiniti).

## Referencias bibliográficas

1. Adams JL, Collins RO. Prefrontal Cortex: Developmental Differences, Executive and Cognitive Functions and Role in Neurological Disorders, New York: Nova Science Publishers, Inc; 2013.
2. Lu T, Kim P, Greig N, Luo Y. Dopaminergic Neuron-Specific Deletion of p53 Gene Attenuates Methamphetamine Neurotoxicity. *Neurotoxicity Research*. 2017;32(2):218-30. DOI: [10.1007/s12640-017-9723-z](https://doi.org/10.1007/s12640-017-9723-z)
3. Alexander PD, Gicas KM, Willi TS, Kim, CN, Boyeva V, Procyshyn RM, Barr AM. A comparison of psychotic symptoms in subjects with methamphetamine versus cocaine dependence. *Psychopharmacology*. 2017;234(9-10):1535-47. DOI: [10.1007/s00213-017-4551-7](https://doi.org/10.1007/s00213-017-4551-7)
4. Beckley JT, Randall PK, Smith RJ, Hughes BA, Kalivas PW, Woodward JJ. Phenotype-dependent inhibition of glutamatergic transmission on nucleus accumbens medium spiny neurons by the abused inhalant toluene. *Addiction Biology*. 2015; 21(3):530-46. DOI: [10.1111/adb.12235](https://doi.org/10.1111/adb.12235)
5. Lindsley CW, Hopkins CR. Return of D4 Dopamine Receptor Antagonists in Drug Discovery. *Journal of Medicinal Chemistry*. 2017;60(17):7233-43. DOI: [10.1021/acs.jmed-chem.7b00151](https://doi.org/10.1021/acs.jmed-chem.7b00151)
6. Brenhouse HC, Lukkes JL, Andersen SL. Early Life Adversity Alters the Developmental Profiles of Addiction-Related Prefrontal Cortex Circuitry. *Brain Sciences*. 2013;3(1):143-58. DOI: [10.3390/brainsci3010143](https://doi.org/10.3390/brainsci3010143)
7. Goldstein RZ, Volkow ND. Dysfunction of the prefrontal cortex in addiction: neuroimaging findings and clinical implications. *Nature Reviews Neuroscience*. 2011;12(1):652-69. DOI: [10.1038/nrn3119](https://doi.org/10.1038/nrn3119)
8. Fuster JM. Executive Frontal Functions. *Experimental Brain Research*. 2000;133(1):66-70. DOI: [10.1007/s002210000401](https://doi.org/10.1007/s002210000401)



9. Fuster JM. The prefrontal cortex - an update: time is of the essence. *Neuron*. 2001;30(2):319-33. DOI: [10.1016/s0896-6273\(01\)00285-9](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(01)00285-9)
10. Pandya DN, Yeterian EH. Comparison of prefrontal architecture and connections. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 1996;351(1346):1423-32. DOI: [10.1098/rstb.1996.0127](https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0127)
11. Da Silva CYR, Carvalho PAF, Pombo PM, Gómez, JFC. Alteraciones neuropsicológicas asociadas al consumo de la Dextro-metil-anfetamina en adolescentes mexicanos. *Revista Internacional de Investigación en Adicciones*. 2019;5(1):15-22.
12. Da Silva CYR, Olivares, JLP, Carvalho PAF, Pombo PM. Descripción anatómo-funcional de un suicidio por consumo adictivo de inhalables, estudio de caso post-mortem. *Revista Internacional de Investigación en Adicciones*. 2019;5(2):38-47.
13. Stuss DT, Levine B. Adult clinical neuropsychology: lessons from studies of the frontal lobes. *Annual Review of Psychology*. 2002;53:401-33. DOI: [10.1146/annurev.psych.53.100901.135220](https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135220)
14. Van Eden CG, Buijs R.M. Functional Neuroanatomy of the Prefrontal Cortex: Autonomic Interactions. *Progress in Brain Research*. 2000;126:49-62. DOI: [10.1016/S0079-6123\(00\)26006-8](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(00)26006-8)
15. Fuster JM. *The Prefrontal Cortex*. Fourth Edition. Boston: Academic Press; 2008.
16. Dawe S, Gullo MJ, Loxton NJ. Reward drive and rash impulsiveness as dimensions of impulsivity: implications for substance misuse. *Addictive Behaviors*. 2004;29(7):1389-405. DOI: [10.1016/j.addbeh.2004.06.004](https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2004.06.004)
17. Forcada R, Pardo N, Bondía B. Impulsividad en dependientes de cocaína que abandonan el consumo. *Adicciones*. 2006;18(2):111-8.
18. Janetsian SS, Linsenbardt DN, Lapish CC. Memory impairment and alterations in prefrontal cortex gamma band activity following methamphetamine sensitization. *Psychopharmacology*. 2015;232:2083-2095. DOI: [10.1007/s00213-014-3840-7](https://doi.org/10.1007/s00213-014-3840-7)
19. Bagheri M, Mokri A, Khosravi A, Kabir K. Effect of Abstinence on Depression, Anxiety, and Quality of Life in Chronic Methamphetamine Users in a Therapeutic Community. *International journal of high-risk behaviors & addiction*. 2015;4(3):1-5. DOI: [10.5812/ijhrba.23903](https://doi.org/10.5812/ijhrba.23903)
20. Flores JC, Ostrosky F, Lozano A. *BANFE II: Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales*. México, D. F.: Manual Moderno; 2011.



21. Lázaro JCL, Ostrosky SF. Neuropsicología de lóbulos frontales, funciones ejecutivas y conducta humana. Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias. 2008;8(1):47-58.
22. Carrobles JA. Bio/neurofeedback. Clínica y Salud. 2016;27(3):125-131. DOI: [10.1016/j.clysa.2016.09.003](https://doi.org/10.1016/j.clysa.2016.09.003)
23. Fajardo A, Guzmán AL. Neurofeedback, aplicaciones y eficacia. Revista Interdisciplinaria. 2016;33(1):81-93.
24. Jackson AF, Bolger, DJ. The neurophysiological bases of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. Psychophysiology. 2014;51:1061-71. DOI: [10.1111/psyp.12283](https://doi.org/10.1111/psyp.12283)

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

### Contribuciones de los autores

*Conceptualización:* Charles Y. da Silva Rodrigues, Paula A. Carvalho de Figueiredo, José Félix Gómez Calderón.

*Curación de datos:* Charles Y. da Silva Rodrigues.

*Análisis formal:* Zuriel Tonatiuh Ceja de la Cruz.

*Investigación:* Charles Y. da Silva Rodrigues, Paula A. Carvalho de Figueiredo, José Félix Gómez Calderón.

*Administración del proyecto:* Charles Y. da Silva Rodrigues.

*Realización de trabajo de campo, evaluaciones, instrumentalización de los participantes y gestión de pruebas y equipo:* Omar Guadalupe Martínez Troncoso, María Alejandra Hernández Vera.

*Redacción - borrador original:* Charles Y. da Silva Rodrigues.

*Redacción - revisión y edición:* Charles Y. da Silva Rodrigues.

