



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

BIOLOGÍA EXPERIMENTAL

Funcionamiento Dinámico Cerebral de Base en Poblaciones Indígenas Me'phaa y de la Ciudad de México

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

JESÚS ESPINOSA DE LOS MONTEROS LÓPEZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. Isaac González Santoyo
Facultad de Psicología, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. Pablo Padilla Longoria
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. Gabriel Roldán Roldán
Instituto de Fisiología Celular, UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

BIOLOGÍA EXPERIMENTAL

Funcionamiento Dinámico Cerebral de Base en Poblaciones Indígenas Me'phaa y de la Ciudad de México

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

JESÚS ESPINOSA DE LOS MONTEROS LÓPEZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. Isaac González Santoyo
Facultad de Psicología, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. Pablo Padilla Longoria
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. Gabriel Roldán Roldán
Instituto de Fisiología Celular, UNAM

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ENTIDAD INSTITUTO DE ECOLOGÍA

OFICIO CPCB/967/2022

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM

Presente

Me permito informar a usted que, que el Comité Académico, del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su reunión ordinaria del día 30 de mayo de 2022, aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Biología Experimental**, del alumno **ESPINOSA DE LOS MONTEROS LÓPEZ JESÚS**, con número de cuenta: **308083455** con la tesis titulada: **“FUNCIONAMIENTO DINÁMICO CEREBRAL DE BASE EN POBLACIONES INDÍGENAS ME’PHAA Y DE LA CIUDAD DE MÉXICO”**, bajo la dirección del **DR. ISAAC GÓNZALEZ-SANTOYO** Tutor Principal, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DR. FRANCISCO ROBERTO VERGARA SILVA
Vocal: DRA. ELIZABETH GUADALUPE IBARRA CORONADO
Vocal: DRA. ELVIA MARÍA RAMÍREZ CARRILLO
Vocal: DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
Secretario: DR. PABLO PADILLA LONGORIA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 17 de octubre de 2022

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



Agradecimientos institucionales:

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por brindarme todas las herramientas para mi formación como científico.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la conclusión de esta tesis.

Agradezco a mi tutor, el Dr. Isaac González Santoyo por su dirección y apoyo durante el desarrollo y conclusión de este proyecto.

Finalmente agradezco a los miembros de mi comité: el Dr. Pablo Padilla Longoria y el Dr. Gabriel Roldán Roldán. Por su tiempo, comentarios y observaciones que enriquecieron y ayudaron a concluir este trabajo.

Agradecimientos Personales

A mis padres, por su amor incondicional y su guía, los amo.

A Chris, por su calidez, paciencia y espíritu creativo, que siempre me motiva y apoya para probar nuevas ideas.

A Serch y Su, por su apoyo, entrenamientos, expos, aventuras y pláticas, en las que he gozado del lujo de su amistad y compañía.

A Jake, por su cariño, apoyo y confianza, sin tu apoyo y el de tu familia tal vez no hubiera terminado esta odisea.

A Exa, Pau y Ale, por las historias interminables, amistad invaluable y su motivación para seguir escribiendo.

A Jesús, Noemi y Alfredo, por su amistad, cariño y los sábados de conciertos, donde nos volvíamos ídolos del rock.

A Leticia e Iván, por su guía psicológica y espiritual y por el universo que me han mostrado.

Contenido

1. Resumen.....	1
Abstract	3
2. Marco teórico.....	5
2.1 Neuroecología.....	5
2.2 Dinámica funcional del cerebro	9
2.2.1 ¿Cómo se puede medir?.....	9
2.2.2 Marcadores en EEG de funcionalidad cerebral.....	11
2.2.3 Actividad de base o en estado de reposo.	15
2.3 Neurodesarrollo y dinámica cerebral.....	17
2.4 Dinámica cerebral y variaciones ecológicas en humanos	19
2.5 Pobreza, Nutrición y Neurodesarrollo.....	21
2.5.1. Nutrición y neurodesarrollo. Caso particular de los lípidos y proteínas.....	24
2.6 Comunidades indígenas. Situaciones de pobreza y marginación	28
2.6.1 El caso de la población Me'phaa	29
3. Planteamiento del problema.....	31
4. Justificación	32
5. Objetivo general	33
5.1 Objetivos particulares	33
6. Hipótesis.....	35
Hipótesis 1.....	35
Hipótesis 2.....	35
Hipótesis 3.....	35
7. Predicciones	36
Predicción 1.....	36
Predicción 2.....	36
Predicción 3.....	36
Predicción 4.....	36

8. Metodología	37
8.1. Tipo de estudio, espacio muestral y características de la muestra.....	37
8.2. Ingesta de alimentos y antropometría.....	39
8.3 Registro de EEG y determinación cuantitativa de la Actividad eléctrica cerebral.	43
8.3.1. Procedimiento de Registro de Señal	46
8.3.2 Procesamiento de la señal eléctrica para su análisis	46
8.3.3 Potencia y diferencias intra e interhemisféricas	48
8.3.4 Análisis Estadísticos.....	50
8.4 Actividad eléctrica cerebral e ingesta de lípidos y proteínas.....	50
9. Resultados	52
9.1 Antropometría y nutrición	52
9.2 Actividad eléctrica cerebral.....	53
9.3 Actividad eléctrica cerebral y alimentación	55
10. Discusión	58
Temas complementarios.....	65
11. Conclusiones.....	70
12. Bibliografía	72
Anexo I. Cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos.....	86
ANEXO II. Tabla de medidas antropométricas.	89
Anexo III. Otras mediciones antropométricas (IMC, PB, PCE).....	90

1. Resumen

En el presente trabajo se compararon características nutricionales y actividad eléctrica cerebral de dos poblaciones provenientes de contextos socio-ecológicos contrastantes: niños de dos comunidades Me'phaa ubicadas en La Montaña Alta de Guerrero y niños de la zona sur de la ciudad de México de 6 a 11 años de edad. También se observó la relación entre ambas características.

La nutrición se evaluó a partir de la realización de encuestas sobre la frecuencia de consumo de lípidos y proteínas de origen animal. Estas encuestas se basaron en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición y, a partir de la información obtenida, se calcularon las porciones consumidas mediante el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes (SMAE). Se tomó la información de alimentos de origen animal debido al alto contenido proteínico y de lípidos indispensables en el desarrollo del Sistema Nervioso Central. A su vez, la actividad eléctrica cerebral se evaluó mediante la comparación de diferencias de potencia absoluta (PA) intra e interhemisféricas entre los dos grupos poblacionales y se registró mediante electroencefalografía (EEG) en un programa llamado Profusion. Dicha técnica consiste en la colocación de electrodos sobre la superficie de la cabeza siguiendo un conjunto de reglas estandarizadas que permiten el correcto registro de la señal y su interpretación. El registro se acotó a un rango de 1 – 40 Hz, dentro del cual se observan las bandas de frecuencia delta (1-3 Hz), theta (4-7 Hz), alfa (8-13 Hz) y beta (14-33 Hz), las cuales se analizaron para estudiar distintas características funcionales de la actividad de base de los sujetos.

A partir de los procedimientos mencionados se observaron diferencias en la actividad cerebral en las bandas theta y alfa, asociadas al consumo de macronutrientes y no asociadas a éste. También se observó, en el grupo de niños Me'phaa, relación negativa entre la cantidad de macronutrientes y las diferencias inter e intrahemisféricas, lo que indica que el consumo de lípidos y proteínas tiene efecto en la actividad cerebral. Además, el efecto es mayor en el grupo Me'phaa, lo cual sugiere que las condiciones limitantes de su entorno los vuelve más susceptibles a modificaciones en la dieta. Las diferencias inter e intrahemisféricas independientes a la nutrición muestran que hay diferencias en la actividad cerebral asociadas a características particulares de cada población, las cuales no fueron medidas en este estudio y podrían incluir desde rasgos genéticos hasta aspectos socioculturales propios de cada grupo.

Palabras clave: Electroencefalografía, Me'phaa, bandas de frecuencia, funcionamiento dinámico, nutrición.

Abstract

In this study, nutrition and brain electric activity features between two socio-ecological contrasting populations were compared. The chosen groups were the following: Me'phaa kids from two communities from La Montaña Alta of Guerrero and kids from the south of Mexico city, 6 to 11 years old both. Also, it was shown the relationship between nutrition and brain electrical activity.

Nutrition was evaluated through surveys about the frequency of animal source lipids and proteins consumption. These surveys were based on the Encuesta Nacional de Salud y Nutrición and, from the resultant information, it were calculated the consumed portions through the Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes (SMAE). Food of animal origin was chosen because of the high lipid and protein content of importance for Central Nervous System development. Moreover, brain electrical activity was evaluated through intra and interhemispheric absolute power (PA) differences comparison between the two groups mentioned before and was registered through electroencephalography (EEG) in a program named Profusion. Such technique consist of placing the electrodes over the head surface and following a group of standardized rules allowing the right signal record and its interpretation. The record was narrowed to a range of 1 – 40 Hz, within which the frequency bands deltha (1-3 Hz), theta (4-7 Hz), alpha (8-13 Hz) and betha (14-33 Hz) were observed. Those bands were analyzed in order to study different rest state functional features from subjects.

From the procedures mentioned above differences in brain activity in bands theta and alpha were observed, related and no related to the macronutrients consumption. . It was seen in

the group of the Me'phaa children negative relationship between inter and intrahemispheric differences and nutrient amount, which indicates that protein and lipid consumption has effect on brain activity. Besides, the Me'phaa group showed a greater effect, which indicates that the limiting conditions of their environment make them more susceptible to modifications in the diet. Nutrition independent inter and intrahemispheric differences show that there are differences in brain activity related to each individual population features, which were not measured in this study and could include since genetic traits to particular group sociocultural features.

Key words: Electroencephalography, Me'phaa, frequency bands, dynamic functioning, nutrition.

2. Marco teórico

2.1 Neuroecología

La neuroecología es un área de la ciencia que combina el estudio de las bases neurofisiológicas del comportamiento con sus efectos e implicaciones a nivel ecológico y evolutivo. Se consolidó como disciplina en la década de los 80's a partir de estudios etológicos dirigidos hacia los mecanismos neurales de la cognición (Sherry, 2006). Esta disciplina busca entender el impacto que tiene el ambiente en el cerebro animal y el comportamiento. Con este interés, ha estudiado las diversas características cognitivas y cerebrales de individuos expuestos a diferentes estímulos durante su desarrollo mediante diferentes métodos comparativos y experimentales en modelos animales, principalmente no humanos. Algunos de sus enfoques muestran perspectivas inclinadas hacia el estudio del genotipo y su efecto en el comportamiento bajo diferentes contextos ambientales, mientras que otros resaltan los cambios anatómicos surgidos a partir de la exposición del individuo a diferentes estímulos durante su desarrollo (Stiles y Jernigan, 2010).

Berman et al. (2019) resume diversos modelos cuyo estudio ha aportado mayor conocimiento a la relación ambiente-cerebro. Por ejemplo, Markham y Greenough (2004) presentan información de estudios histológicos en diversos modelos animales que advierten cambios en el cerebro a nivel morfológico después de estar expuestos a diferentes paradigmas de aprendizaje, a diferencia de grupos carentes de estos paradigmas. En dichos estudios se observaron diferencias en el número de sinapsis, oligodendrocitos, en la cantidad de mielinización y en el sistema cerebrovascular. Además, algunos de estos ejemplos incluyen modelos murinos en los que se ha observado mayor crecimiento

dendrítico en ratones con interacciones ambientales más enriquecidas (Markham et al., 2004), o mayor desarrollo de áreas frontales de la corteza cerebral en aves con exposición diversificada al canto de conspecíficos y heteroespecíficos, durante su crecimiento (Kelly et al., 2018).

Kempermann (2019), presenta una revisión de diferentes estudios con el paradigma de “ambientes enriquecidos”, el cual propone que la experiencia y conducta puede tener efectos estructurales que, con el tiempo, pueden contribuir a moldear la personalidad. El análisis de cambios anatómicos a partir de la interacción del sujeto con el entorno ha traído observaciones interesantes, e. g. la neurogénesis hipocampal a partir de la interacción con ambientes enriquecidos que fue reportada por Kempermann et al. (1997), donde muestra un aumento de la neurogénesis y supervivencia neuronal en el giro dentado del hipocampo de ratones colocados en cajas enriquecidas con juguetes y más espacio que ratones en cajas estándar no enriquecidas.

A su vez, Rattenborg et al. (2017) revisa diferentes metodologías para analizar patrones de sueño y la relación de esta función con las condiciones ambientales. También resalta la importancia de aproximar las metodologías normalmente usadas dentro del laboratorio a ambientes ecológicos naturales, en los cuales se puede contar con las condiciones e interacciones que evolutivamente han moldeado la fisiología de los organismos, dando como resultado las características que actualmente se observan, por ejemplo, en los patrones de sueño.

También, aunque en menor cantidad, se han realizado estudios con humanos, mostrando la influencia del ambiente en el desarrollo del cerebro. Solo por mencionar un ejemplo, Belsky et al. (2009) presenta un modelo de diátesis en el cual explora la relación gen-ambiente a partir de la monoamina oxidasa-A, 5-HTTLPR y su influencia en la

susceptibilidad hacia algunas enfermedades mentales como la depresión. En dicho trabajo sugiere la categoría de “genes de vulnerabilidad”, los cuales, en entornos muy estresantes, pueden desencadenar enfermedades mentales ya que tienden a aumentar la susceptibilidad de los individuos a dichos padecimientos. Estos estudios han puesto de manifiesto la capacidad del cerebro para autoorganizarse, modificando su morfología o su dinámica de comunicación neuronal a partir de la experiencia y de la interacción del sujeto con el ambiente. Así, la interacción del cerebro con el ambiente ocurre de manera continua. No obstante, a pesar de que se han llevado a cabo muchas aproximaciones en laboratorio, el acercamiento de estos modelos a escenarios ecológicos más complejos podría favorecer una comprensión más precisa sobre cómo el ambiente afecta el desarrollo de diversos mecanismos cognitivos humanos.

De este modo, se han realizado estudios que muestran el efecto del ambiente en el cerebro analizados desde diferentes perspectivas: anatómico, histológico, conductual y funcional. A su vez, en el campo de la dinámica funcional medida por EEG se han realizado investigaciones enfocadas en la actividad de base y la interacción de este estado de reposo con el ambiente. En la tabla 1 se muestran estudios relevantes que representan el estado del arte en el área de la neuroecología, principalmente asociados con el estudio de la dinámica funcional de base, la nutrición y el neurodesarrollo, que son los temas primordiales de este trabajo y que se desglosan de manera descriptiva en los capítulos siguientes. Los temas presentados en la tabla 1 se dividieron en 3: El tema I muestra estudios con modelos humanos y animales no humanos que involucran cambios en el entorno del sujeto de estudio y su efecto en parámetros neurológicos; El tema II trata de trabajos representativos con EEG que han otorgado información sobre el neurodesarrollo; El tema III muestra trabajos donde se midió el funcionamiento cerebral de base en sujetos provenientes de

diferentes contextos, así como trabajos en los cuales se midieron parámetros cognitivos en sujetos provenientes de ambientes con valores altos en indicadores de pobreza.

Tema	Tipos de estudios	Referencias
I. Interacción ambiente-cerebro. Modelos humanos y no humanos.	Crecimiento dendrítico en ratones ambientes enriquecidos; desarrollo de corteza cerebral en aves y estímulos auditivos; efecto del calentamiento global sobre patrones de sueño en murciélagos; potenciales evocados auditivos de estado estable con tareas de diferente grado de dificultad.	Markham et al. 2004; Kelly et al. 2018; Downs et al. 2015; Yokota et al. 2017.
II. EEG y neurodesarrollo	Coherencia intrahemisférica en maduración de regiones cerebrales en diferentes etapas del crecimiento; Espectro de potencia y topografía en hemisferios cerebrales en niños, jóvenes y adultos con EEGc; Revisión crítica sobre la pobreza y su relación con el neurodesarrollo.	Hudspeth y Pribram 1992; Brust-Carmona et al. 2016; Lipina y Segretin 2019
III. Funcionamiento dinámico de base y diferencias socioculturales y ecológicas	Comparación de potencia en bandas de frecuencia típicas entre niños suizos y saudíes; Diferencias en EEG de base durante preguntas de retrospección entre grupos de diferentes culturas; Revisión sobre estudios asociados con el área emergente de la neuroantropología; Consumo deficiente de proteínas y desarrollo cognitivo; Importancia del consumo de alimentos de origen animal durante el desarrollo.	Alhamadi et al. 2016; Knyazev et al. 2012; Lende y Downey 2020; Kar et al. 2008; Balehegn et al. 2019.

Tabla 1. En esta tabla se presentan algunos estudios relevantes que sustentan el conocimiento teórico de este trabajo y que se explican de manera más amplia a lo largo del presente escrito. En el tema 1 se muestran estudios que evidencian el efecto del entorno sobre diferentes parámetros cerebrales que abarcan cambios en la conectividad neuronal, neuroanatomía y etológicos. En el tema 2 se observa el análisis de la dinámica funcional mediante EEG con un enfoque ontogenético. En este tema, el libro de Lipina y Segretin (2019) muestra un panorama amplio sobre la pobreza como fenómeno y su relación con el desarrollo del cerebro y del individuo. El tema 3 muestra tanto trabajos propios del campo emergente de la neuroantropología, que muestran el efecto de la cultura sobre el funcionamiento cerebral, así como una revisión más profunda sobre el surgimiento de esta área (Lende y Downey, 2020) y un estudio sobre la alimentación, enfocada a la comida de origen animal y su importancia en el neurodesarrollo.

2.2 Dinámica funcional del cerebro

McKenna et al. (1994) propone que se puede entender al cerebro como un sistema dinámico, es decir, un sistema cuyas variables pueden cambiar con respecto al tiempo (Sanjuán, 2016). De este modo, MacKenna menciona que la caracterización de la dinámica cerebral es fundamental para entender su función. De esta función deriva el movimiento, la cognición y percepción de los individuos. La actividad colectiva neuronal dentro de los circuitos neuronales y entre los diferentes sistemas de neuronas que componen el cerebro y el estudio de su evolución a lo largo del tiempo permite comprender la dinámica funcional de este órgano (Breakspear, 2017).

El estudio dinámico del cerebro está fundamentado en el desarrollo de diferentes ideas que surgen de la transición del marco reduccionista de la física al estudio de la materia compleja adaptativa (Laughlin y Pines, 2000; Sanjuán, 2016).

2.2.1 ¿Cómo se puede medir?

La electroencefalografía es la técnica que se encarga del registro de las ondas producidas por la actividad eléctrica del cerebro (Ramos et al., 2009). Las raíces de la electroencefalografía se remontan a la época de los estudios de Luigi Galvani (1737-1789), Alessandro Volta (1755-1832), George Ohm (1787-1854) y Michael Faraday (1791-1867), quienes establecieron los principios del potencial eléctrico, las corrientes y de las propiedades eléctricas en organismos vivos (Collura, 1993). Por ende, el EEG es una herramienta electrofisiológica que tiene la capacidad de proveer información sobre la

actividad cerebral a partir de los patrones de actividad eléctrica. Gracias a esto, ha permitido determinar diferentes tipos de funcionalidad cerebral, por ejemplo, en la conectividad cerebral relacionada con la audición (Yokota et al., 2017). Así, al proveer información sobre la dinámica funcional del cerebro, esta técnica es muy útil para analizar la respuesta del cerebro a diferentes situaciones y a la interacción del organismo con el entorno. Los impulsos eléctricos observados en el registro de EEG se originan a partir de los cambios en las concentraciones iónicas ocurridos en las células neuronales. Wu et al. (2019), toma a la neurona como un cuerpo complejo con carga que también puede generar un campo electromagnético variable. Se ha observado que la actividad de dicho campo puede reflejar incluso estados emocionales del organismo (Li et al., 2019), por lo cual su estudio puede ser de gran relevancia para entender el efecto de procesos cognitivos complejos. Las corrientes iónicas ocurridas en los circuitos neuronales son responsables de la actividad eléctrica espontánea y evocada. En otras palabras, la actividad eléctrica del cerebro es generada por el proceso de comunicación entre distintas neuronas (Holmes, 2007). Los circuitos neuronales se forman a partir de la unión entre diferentes neuronas, a estas conexiones se les llama sinapsis. Las sinapsis pueden ser de dos tipos: Químicas y eléctricas. Ambos tipos de sinapsis actúan en la comunicación neuronal. Las sinapsis químicas se caracterizan por la liberación del neurotransmisor de una neurona y el recibimiento de éste en otra, mientras que en las eléctricas el citoplasma de las células adyacentes está conectado por canales denominados “gap junctions”. Las sinapsis normalmente ocurren entre la terminal axónica de una neurona y las dendritas o el soma de otra (Pereda, 2014). Las dendritas juegan un papel importante en la comunicación sináptica ya que son los principales sensores de estas células; se estima que cerca del 75% de la membrana dendrítica participa en la transmisión sináptica (Dharani, 2014). Además, tienen

espinas dendríticas, que son protuberancias neuronales reguladas y mantenidas por la actividad sináptica (Nimchinsky et al., 2002) y están relacionadas con procesos de aprendizaje y memoria, así como desórdenes del neurodesarrollo (Ptchitskaya y Bezprozvanny, 2020).

La actividad eléctrica cerebral se debe principalmente a dos fenómenos: los potenciales de acción (AP) y los potenciales postsinápticos (PPS). Estos últimos, resultan de corrientes relativamente lentas seguidas de la transmisión de neurotransmisores en el botón terminal axónico (Biasiucci et al., 2019). Los potenciales postsinápticos se producen en las dendritas neuronales y, a diferencia de los PA que se producen en el axón, son más duraderos; por ello tienen mayor posibilidad de coincidir con los PPS de otras neuronas, lo cual es clave para detectar la actividad eléctrica de la superficie (Biasiucci et al., 2019). Las neuronas son las principales candidatas para generar actividad eléctrica, debido a su arreglo estructural abierto que favorece la potenciación iónica mutua, a diferencia de otros grupos celulares (Kirchstein y Köhling, 2009).

Los biopotenciales se generan a partir de la diferencia de potencial entre compartimentos biológicos, generalmente delimitados por membranas (Van Drongelen, 2018).

2.2.2 Marcadores en EEG de funcionalidad cerebral

En el registro de EEG, la potencia representa la cantidad de actividad en ciertas bandas de frecuencia de señal (Xiao et al., 2018). Las bandas de frecuencia dentro de las cuales se caracteriza típicamente el poder de la señal de la actividad eléctrica cerebral son las

siguientes: Delta (1-3 Hz), Theta (4-7 Hz), Alpha (8-12 Hz), Beta (13-30 Hz) y Gamma (30-100 Hz) (Saby y Marshall, 2012).

Esta técnica permite representar gráficamente diferencias de voltaje entre dos lugares distintos en tiempo real (Olejniczak, 2006). En humanos, se realiza mediante la colocación de electrodos sobre la superficie de la cabeza y de manera típica se emplea acomodando los electrodos de acuerdo con el Sistema Internacional 10 – 20 (Figura 1 I y II) o mediante el sistema extendido 10 – 10 (Figura 1 III), un sistema estandarizado usado internacionalmente que permite el registro de la señal eléctrica cerebral mediante la colocación de los electrodos en un orden determinado (Gómez, 2016).

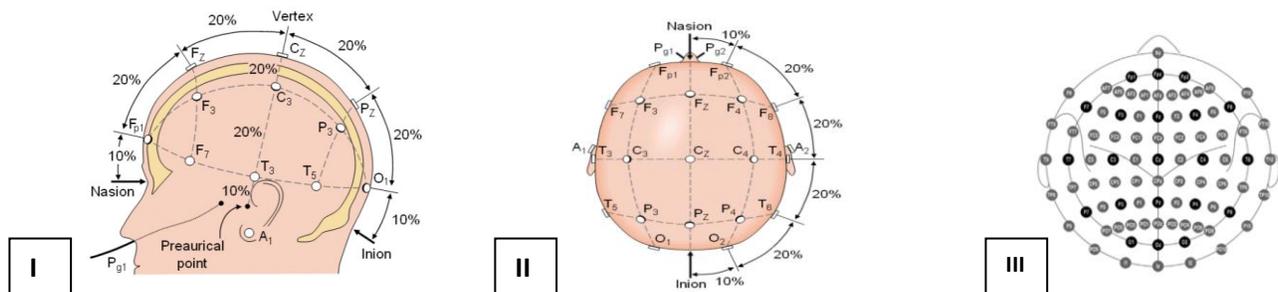


Figura 1. Se observa la localización de los electrodos mediante el Sistema Internacional 10-20, el cual se denomina así porque los electrodos están espaciados entre el 10 y el 20% de la distancia total entre puntos reconocibles del cráneo (I y II). Actualmente se utilizan gorros que tienen 19 electrodos y se colocan sobre la cabeza del sujeto (I y II). Los electrodos son nombrados por un código que indica el lóbulo o área y el hemisferio en el que está posicionado. Para los lóbulos o el área se usan las siguientes letras: Frontal (F), Temporal (T), Central (C), Parietal (P) y Occipital (O). La z (zero) hace referencia a la mitad de la cabeza, los números 2, 4, 6 y 8 son los electrodos colocados en el hemisferio derecho y los 1, 3, 5, 7 y 9 los electrodos del hemisferio izquierdo. También se observan los puntos clave a partir de los cuales se realizan las medidas: Punto preauricular (A), Nasion e Inión (B). En la figura III se observan los electrodos del Sistema Internacional 10 – 20 representados por círculos de color negro y los electrodos del Sistema Internacional extendido 10 – 10 representados por círculos de color gris. Tomado de Talamillo (2011) y Van Drongelen (2018).

A pesar de las técnicas que han surgido después de la electroencefalografía para medir la actividad cerebral, el EEG ha mantenido su relevancia gracias a diferentes ventajas como su bajo costo, métodos de aplicación relativamente sencillos, opciones variadas de software y hardware y su precisión temporal de análisis en una escala de milisegundos (Saby y Marshall, 2012).

Los cambios en la potencia pueden reflejar ciertas características cognitivas, e. g. el aumento de potencia en banda gamma durante la ejecución de tareas relacionadas con aprendizaje, lectura u operaciones matemáticas (Fitzgibbon et al., 2004), o la correlación entre la potencia de la banda theta en adultos con tareas que reflejan el desempeño cognitivo (Finnigan y Robertson, 2011). Inclusive, en estudios recientes se ha observado que el campo electromagnético del cerebro puede influir en la comunicación entre distintos organismos, tanto humanos como animales no humanos (Hosseini, 2021).

La tecnología involucrada en el registro de EEG incluye la combinación de electrodos, compuestos de materiales conductivos y amplificadores. El contacto entre el electrodo y la piel generalmente está acompañado de geles electrolíticos o sales. Un electrodo de superficie mide la actividad PPS generada por un gran número de neuronas, cada una de las cuales genera un campo eléctrico que cambia en el tiempo. El EEG registra la actividad sincrónica de estas células (Ramos et al., 2009).

Las señales bioeléctricas son análogas, esto es, son continuas en amplitud y tiempo. Usualmente el procesamiento de la señal implica su transformación en valores discretos para analizarla de manera digital. Los sistemas de adquisición de señal eléctrica cerebral se componen de una parte análoga y una digital. Durante la parte análoga la señal es registrada, amplificada y filtrada. Los instrumentos mismos de medición pueden tener

valores propios de impedancia y resistencia, por ejemplo, los electrodos usados durante la medición de EEG tienen una impedancia de cerca de $5\text{ k}\Omega$ (Ramos et al., 2009).

Para realizar el análisis visual del EEG es importante que la contaminación con artificios de origen extracerebral sea la menos posible. En un registro típico de EEG se pueden observar oscilaciones formadas por varios trazos dispuestos en líneas horizontales. Cada uno de estos trazos corresponde a un canal y, las oscilaciones por unidad de tiempo, a los distintos ritmos cerebrales (Morillo, 2008). Los diferentes canales representan los electrodos que corresponden a diferentes áreas del cerebro. Cuando se colocan todos los electrodos sobre el tejido capaz de generar actividad rítmica, se considera que el tipo de registro es bipolar, ya que ambos electrodos están alimentando al amplificador de señal. Sin embargo, también se puede realizar el registro colocando el electrodo de referencia en tejido “inactivo” como puede ser el lóbulo de la oreja; en este caso se le denomina al registro “de referencia” o, en algunos casos “unipolar” o “monopolar”, aunque este último término no se considera completamente correcto debido a que se siguen usando dos electrodos (Morillo, 2008).

Los diferentes canales representan los electrodos que corresponden a diferentes áreas del cerebro. Las oscilaciones observadas resultan de la sumatoria de los potenciales excitatorios e inhibitorios. Estas señales se magnifican para su análisis mediante amplificadores (Morillo, 2008).

La descomposición de la potencia general registrada en el EEG en bandas individuales normalmente se realiza mediante transformada de Fourier y métodos relacionados de análisis espectral (Saby y Marshall, 2012). El método de Fourier transforma la señal, definida en el dominio del tiempo, en una definida en el dominio de frecuencia (Buzsaki, 2006). Mediante esta representación se puede conocer la relación entre la potencia de cada una de las frecuencias.

2.2.3 Actividad de base o en estado de reposo.

La actividad eléctrica cerebral se caracteriza por la repetición periódica de impulsos eléctricos provenientes de la actividad biológica del sistema neuronal del organismo. A esta actividad rítmica generada espontáneamente o en respuesta a estímulos se le denomina como “osciladores neurales” (Basar, 2013). Algunos de estos osciladores están relacionados con ritmos circadianos como el generado por el núcleo supraquiasmático (Begemann, 2020) mientras que otros pueden estar asociados a estímulos (Keitel, 2014) o tener ritmos en escalas no circadianas (Philippu, 2019). Por ejemplo, desde los primeros experimentos realizados por Hans Berger sobre la variación de voltaje se observó mayor actividad en la parte occipital del cráneo al tener los ojos cerrados en vigilia (Buzsaki, 2006). La primera señal observada fue de 10 Hz en condición de ojos abiertos en reposo, por lo cual se le denominó frecuencia alfa. Las ondas de mayor frecuencia y menor amplitud que observó después, durante la condición de ojos abiertos fueron llamadas ondas beta (Buzsaki, 2006). Otros ritmos durante vigilia se han descrito, lo que actualmente conocemos como ondas delta (1-3 Hz), theta (4-7 Hz) e inclusive gamma (>30 Hz) (Amo et al., 2017; Díaz, 2019). Los estudios de dinámica cerebral permiten establecer patrones de actividad e identificar cambios en la configuración neuronal de los individuos; algunos de estos estudios se han realizado con sujetos en reposo, para evaluar la actividad intrínseca neuronal (Ekhtiari y Paulus, 2016). A la actividad registrada en estado de reposo se le denomina actividad de base. La actividad de base no está temporalmente ligada a un estímulo específico, sino que se caracteriza por estar presente de manera constante al estar en reposo (Toga, 2015). Existen algunas características que permiten reconocer el estado del sujeto durante el registro electroencefalográfico en estado de reposo. Por ejemplo, en adultos sanos se

observan con mayor claridad bandas alfa al tener ojos cerrados. Estas bandas desaparecen al dormir o cuando hay concentración en alguna tarea específica. Se observan principalmente en el área occipital y son reemplazadas por ondas beta en periodos de atención a tareas (Moini y Piran, 2020). Se considera que esto puede deberse a la activación del sistema de visión reticular al estimular la visión (Barry et al., 2007). Además, se ha observado que las ondas delta disminuyen su potencia al abrir los ojos principalmente en áreas frontales y laterales. A su vez, la actividad theta disminuye principalmente en regiones occipitales al abrir los ojos mientras que beta aumenta su actividad en regiones frontales al abrir los ojos (Barry et al., 2007).

El reconocimiento de este tipo de actividad ha ayudado a estudiar algunos trastornos en los cuales hay alteraciones del sistema neuronal, como desórdenes del espectro autista (Wang et al., 2013), epilepsia idiopática (Faimian et al., 2021) o síndrome de Alzheimer (Cassani et al., 2018). A partir de estos estudios se han logrado reconocer ciertos patrones en la actividad cerebral. Uno de los patrones más claros y en el que convergen distintos desórdenes neuronales es el aumento de potencia de frecuencias bajas como delta y theta y la disminución en potencia de bandas de alta frecuencia (alfa, beta, gamma) en adultos (Newson y Thiagarajan, 2019).

2.3 Neurodesarrollo y dinámica cerebral.

Durante los primeros 20 años de vida del ser humano, ocurren los principales procesos de maduración del cerebro, que implican la poda sináptica, mielinización axonal, el aumento de materia blanca, entre otros (Alahmadi, 2016).

La plasticidad cerebral y la remodelación neuronal que se lleva a cabo durante la infancia (Kolb y Gibb, 2011) y permiten que el cerebro sea moldeado tanto por factores intrínsecos del organismo como procesos celulares y fisiológicos, así como por la experiencia y la educación. Todos estos factores ejercen su influencia en las capacidades cognitivas del individuo y pueden verse reflejados en la dinámica del cerebro (Posner y Rotbarth, 2005).

Diferentes investigaciones con EEG cuantitativo (EEGc) han mostrado relación entre la disminución de ondas lentas y el aumento de ondas rápidas como alfa, beta y gamma conforme avanza la maduración cerebral. Se han relacionado las frecuencias rápidas con procesos cognitivos y las lentas con alteraciones cerebrales. Sin embargo, se ha observado que las ondas lentas como delta y theta participan en funciones vegetativas, emocionales y, particularmente, las ondas theta participan en procesos de memoria, ya sea por sí solas o interactuando con otras frecuencias (Brust-Carmona et al., 2016).

Harmony et al. (1990) realiza un recuento sobre algunas de las observaciones que se han realizado sobre el neurodesarrollo en niños con respecto a la potencia absoluta (PA) y relativa (PR) en delta, theta, alfa y beta: así, menciona que la PA y la PR de las bandas delta y theta disminuyen con la edad siguiendo una expresión cuadrática polinomial, mientras que lo contrario ocurre con alfa y beta, que aumentan mientras delta y theta disminuye. También, se han observado diferencias en la PR de las bandas con relación al sexo conforme más se acercan los niños a la pubertad. A su vez, Fernández-Bouzas et al. (1991)

realizó un estudio comparativo en el que analizó la maduración de la actividad cerebral medida por EEG en niños con niveles socioeconómicos distintos y observó que en niños con niveles socioeconómicos bajos no se podía establecer una correlación clara entre la edad (medida en este trabajo mediante el desarrollo óseo de distintos huesos apendiculares superiores) y los valores de potencia en bandas delta y theta, lo cual podría indicar procesos de maduración cerebral incompletos, mientras que los niños con niveles socioeconómicos altos mostraban una clara asociación entre la edad y los valores de potencia en bandas delta, theta y alfa.

A partir de la medición de las diferencias inter e intrahemisféricas se puede obtener información sobre la conectividad estructural y funcional entre diferentes regiones corticales (Sánchez et al., 2018). Koolen et al. (2014) resalta la importancia de realizar análisis sobre simetría interhemisférica en recién nacidos para obtener información sobre el estado neuronal y el posible desarrollo de disfunciones neurológicas desde etapas tempranas. A su vez, Hudspeth y Pribram (1992), a partir del estudio de diferencias y similitudes intrahemisféricas, estudiaron el avance de la maduración de diferentes regiones cerebrales y observaron que el desarrollo cerebral ocurre en diferentes etapas, las cuales tienen periodos de mayor aceleración y que las regiones cerebro-corticales se desarrollan a diferentes ritmos, según la etapa de desarrollo en la que se encuentren. La segunda etapa, delimitada de los seis a los diez y medio años mostró mucha sincronización entre regiones al presentar éstas, pocas diferencias significativas.

2.4 Dinámica cerebral y variaciones ecológicas en humanos

A partir de la actividad eléctrica cerebral se han realizado diferentes estudios que permiten observar el efecto de variables ecológicas en la neurofisiología en distintos grupos humanos.

Toppi et al. (2016) analiza la actividad cerebral mediante EEG de pilotos en diferentes fases de un vuelo simulado para analizar el efecto de la cooperación en la actividad cerebral. En este experimento se observó que los patrones de conectividad cambiaban con respecto a la evolución del vuelo y a la aparición de determinados percances que habían sido diseñados para que ocurrieran durante el experimento. Así mismo, se midió la sincronización intercerebral en las diferentes fases de la prueba, a partir de la medición de los patrones de actividad en los participantes. De manera similar, se han realizado experimentos en los que se mide la actividad cerebral en diferentes escenarios de interacción entre distintos sujetos o durante la realización de determinadas actividades, e. g. el estudio de Yokota et al. (2017) en el que registra la actividad cerebral mientras los sujetos se encontraban caminando y realizaban una prueba de memoria denominada “N-back”. Durante el registro y realización de estas pruebas, se midió la carga cognitiva a través del potencial evocado auditivo de estado estable y se observó que éste se veía modificado con respecto a la dificultad de la tarea.

La neurociencia cultural surge cuando el campo de la neuroecología interacciona con el estudio de las manifestaciones culturales humanas. Para Chiao et al. (2010), la investigación en neurociencia cultural se basa en dos preguntas: ¿Cómo los rasgos culturales moldean la neurobiología y comportamiento? Y ¿Cómo los mecanismos neurobiológicos facilitan el surgimiento y transmisión de los rasgos culturales? Algunas de

las técnicas y perspectivas que se han mencionado antes sirven como herramientas para contestar las preguntas planteadas. Con el método de EEG se ha buscado determinar si existen patrones de actividad eléctrica cerebral asociados a características culturales o ecológicas propias a ciertos grupos humanos. Siguiendo esta idea, Alahmadi et al. (2016) analizó la señal cerebral mediante EEG de dos grupos poblacionales de niños provenientes de diferentes contextos culturales y geográficos; un grupo estaba compuesto de niños suizos y el otro de niños saudíes y el análisis se realizó en estado de reposo para determinar las características predispuestas en cada grupo. En este estudio se reportaron algunas diferencias en la composición funcional de la actividad eléctrica cerebral de cada grupo, tales como mayor potencia delta en el área frontal media de niños suizos y más potencia alfa en la corteza motora-sensorial en niños sauditas, más potencia occipital para delta, theta y beta en niños suizos y más potencia delta en Fz (región central de la corteza cerebral) en niños suizos. Estas observaciones llevan al autor a reflexionar sobre las características culturales de ambos grupos y resalta el aspecto religioso y ritual de los niños saudíes en comparación de los niños suizos y su posible conexión con la medición de más potencia alfa en el área sensorial motora de niños saudíes, ya que esta característica neurofisiológica está relacionada con la inhibición de redes sensoriales que no están siendo necesitadas, por lo cual, la mayor cantidad de potencia alfa en esta zona en estado de reposo podría ser causado por la capacidad de estos niños para generar atención introspectiva, lo cual a su vez, podría estar asociado a características culturales de su grupo social como la realización de rituales y rezos.

También se han realizado algunos otros estudios con un enfoque intercultural con EEG como herramienta principal y con sujetos en estado de reposo comparando las diferencias entre las potencias de ambos hemisferios, e. g. Moss et al. (1985), comparó la actividad

cerebral entre sujetos japoneses y occidentales mediante EEGc. El registro se realizó en estado de reposo y después de realizar ejercicios cognitivos a partir de la medición de ondas alfa se comparó la asimetría mediante la medición de la PR en zonas parietales y temporales y se observó que los sujetos japoneses presentan más actividad parietal derecha en condición de ojos cerrados con respecto a los sujetos occidentales que presentaron más actividad hemisférica izquierda. El cambio en la activación de diferentes zonas del cerebro fue asociado con diferentes estrategias cognitivas relacionadas con el uso de los hemisferios cerebrales de manera diferente. De este modo se ha observado que el contexto cultural de los individuos puede estar afectando la manera de procesar información y de responder a las situaciones que se presentan en la vida diaria. En otro trabajo, Knyazev et al. (2012) propone que las diferentes visiones filosóficas del ser en sujetos provenientes de distintas culturas pueden afectar los patrones de actividad cerebral en estado reposo y esto puede verse reflejado en las áreas del cerebro activas durante procesos de introspección y reposo.

2.5 Pobreza, Nutrición y Neurodesarrollo.

La relación entre condiciones limitantes durante el crecimiento y los patrones de actividad cerebral es un tema de gran interés social y político pues se entrelaza con la implementación de políticas públicas destinadas a la prevención e intervención en situaciones de pobreza. A pesar de que el concepto de pobreza puede tener diferentes interpretaciones y se ha abordado desde diferentes perspectivas, parece existir cierta

tendencia hacia la conceptualización integrativa de este fenómeno, descartando que sólo la visión económica se tome en cuenta (Sánchez et al., 2020). Es importante destacar que la naturaleza de los estudios hasta ahora realizados sobre relación entre pobreza y características anatomo-funcionales del cerebro son principalmente asociativas. Se han realizado trabajos de este tipo que asocian el ingreso familiar y la educación materna con el volumen del hipocampo y la amígdala entre los 4 y 22 años de edad, entre el nivel educativo materno y cambios en el grosor cortical y volumen de redes neuronales, entre ingreso y educación parental y patrones de conectividad entre diferentes tipos de redes neurales, ocupación paterna y cambios en la activación de redes neurales en niños y niñas de 4 a 8 años entre muchos otros (Lipina y Segretin, 2019). Hay que recordar que la pobreza es un fenómeno que ocurre junto con otros factores adversos, por lo cual el estudio del impacto de eventos hostiles durante el desarrollo de individuos provenientes de diferentes contextos y su implicación en la estructura conductual, anatómica y fisiológica del organismo podrían arrojar algo de luz sobre las preguntas que actualmente existen acerca de la plasticidad cerebral y de cómo el entorno moldea al organismo en función de ésta.

A pesar de que el concepto de pobreza puede tener diferentes interpretaciones dependiendo el contexto en el que se utilice, el factor nutricional tiene especial relevancia en el desarrollo de los niños (Arenales y Delgado, 2010).

Duarte y Merchan (2019) consideran que en los primeros 6 años de vida el proceso de desarrollo del cerebro tiene gran impacto en su ontogenia y éste se verá reflejado en el avance del aprendizaje del individuo. En 1999 la encuesta Nacional de Nutrición definió a la nutrición como “el proceso a través del cual el organismo obtiene de los alimentos la energía y los nutrientes necesarios para el sostenimiento de las funciones vitales y de la

salud”. Además, Aranda (2013) establece que “La “cultura alimentaria” permite entender la dimensión social de la alimentación y los rasgos específicos que cada cultura le da a este acto, el cual, aunque cotidiano, es un parámetro que diferencia a cada grupo humano y nos habla de su nivel de desarrollo”.

De este modo, a partir del estudio de la alimentación puede conocerse el estado de salud de la población. La alimentación en México ha sufrido diferentes cambios a lo largo de la historia. Estos cambios se han visto afectados por movimientos de tipo social, político y económico. Con este planteamiento, Gómez et al. (2005) analiza la situación alimentaria en México desde cuatro perspectivas: estudios que plantean la alimentación como un asunto de Estado y que, desde esta perspectiva abordan cuestiones de distribución y producción; Estudios sobre la situación económica; Análisis antropológicos que se centran en la formación de hábitos y costumbres con una perspectiva cultural y estudios nutricionales incluyen estudios de diferentes regiones del país.

El contexto global también afecta la forma de alimentarse, principalmente en áreas urbanas, e. g. en los últimos años ha aumentado la alimentación con “comida rápida”, la cual ha desplazado en cierta medida a la comida tradicional, cambiando de manera importante el aporte nutritivo diario (Aranda, 2013). Hernández y Ortega (2016), estimaron que en el periodo de 1990 a 2013 creció la prevalencia en el aumento de peso de la población mexicana debido al aumento del suministro disponible per cápita de alimentos y al incremento en la ingesta de grasas y alimentos refinados. Sin embargo, algunos estudios en áreas marginadas con niveles altos de pobreza han estimado que entre el 50 y 70% del ingreso de familias pertenecientes a estas zonas se gasta en alimentos, entre los cuales prevalecen alimentos con altos contenidos calóricos, proteína animal de baja calidad y bajo consumo de frutas y verduras (Ángel y Villagómez, 2014).

2.5.1. Nutrición y neurodesarrollo. Caso particular de los lípidos y proteínas

El desarrollo del cerebro requiere de grandes cantidades de energía debido a la importancia que tiene en la vida de los organismos. Se calcula que, durante la niñez, el cerebro consume el 60% de energía que consume el cuerpo en estado basal, por lo cual requiere transporte constante de nutrientes, los cuales llegan a través de la barrera hematoencefálica (Steiner, 2019). Estos nutrientes y factores de crecimiento regulan el desarrollo del cerebro. A pesar su gran plasticidad y su capacidad compensatoria el cerebro en desarrollo es más susceptible a la insuficiencia de nutrientes, además, algunos nutrientes tienen más efecto en el desarrollo que otros (Georgieff, 2007).

Se han realizado estudios sobresalientes que muestran la importancia de la nutrición en el periodo prenatal y durante la infancia temprana. También se ha observado que alrededor de los 4 años el crecimiento sináptico y la arborización dendrítica se hallan en su mayor expansión, lo cual ocurre junto con el desarrollo de la flexibilidad cognitiva, funciones ejecutivas y procesos de regulación emocional que acompañan la adaptación creativa al entorno (Lipina y Segretin, 2019). Brown y Pollitt (1996), mostraron que había relación entre el desarrollo intelectual de los niños a los 9 años y el consumo de proteínas, esto a partir de estudios de malnutrición infantil en comunidades guatemaltecas. A partir de estos precedentes se han observado en distintos trabajos que la malnutrición está asociada con deficiencia cognitiva en niños. Kar et al. (2008), trabajó con grupos de niños de 5 a 10 años de edad y observó que los niños con niveles pobres de nutrición presentaban resultados más bajos en pruebas de atención, memoria, aprendizaje y habilidad visoespacial.

Se ha observado que la composición de macronutrientes en el cerebro puede variar conforme a la edad. Svennerholm y Vanier (1978) realizaron un estudio ontogénico en el

que midieron los cambios de composición de la mielina en diferentes etapas del desarrollo. En este estudio observaron que, de los primeros 6 meses a los 2 años de edad, la proporción de colesterol, galactolípidos y esfingomielina aumentaban, mientras que los fosfoglicéridos de colina disminuyeron. Alteraciones como la esclerosis múltiple están relacionadas con procesos de desmielinización y alteraciones metabólicas de la célula que también afectan la organización de la membrana plasmática (Giussani et al., 2021).

Los lípidos encontrados en el cerebro se agrupan en esfingolípidos, glicerofosfolípidos y colesterol y se cree que están presentes en proporciones similares (Hussain et al., 2019). Se ha considerado que tienen dos funciones principales: almacenamiento de energía química en forma de grasa (principalmente triglicéridos) y como componentes estructurales de membranas celulares (Brady, 2005). Sin embargo, estudios más recientes muestran que moléculas lipídicas pueden actuar como transmisores al dejar la membrana y llegar hasta compartimentos intracelulares de otras células. Además, al ser el componente membranar más abundante participan en la localización de proteínas y en procesos exo y endocíticos (Müller et al., 2015).

Aunque con alimentos de origen vegetal se puede constituir una dieta completa con aporte completo de componentes proteínicos, estos tienen menos efecto anabólico que la proteína animal debido a su baja digestibilidad (Berrazaga et al., 2019). También se ha observado que la proteína de alta calidad facilita mecanismos específicos, como el procesamiento de información, que se relaciona con el aprendizaje y la capacidad de resolver problemas (Balehegn et al., 2019). Por ende, las proteínas y lípidos de origen animal pueden tener mayor efecto sobre el neurodesarrollo humano. La proteína de origen animal generalmente es proteína de alta calidad, es decir, proteínas con todos los aminoácidos esenciales. Los alimentos de origen animal, además, proveen vitamina B12, hierro y zinc (Marcus, 2013).

A su vez, la ingesta de lípidos animales se relaciona con la formación de bandas de mielina, con el aporte de vitaminas solubles en grasa y con la formación de ácidos grasos esenciales, los cuales tienen un papel importante en el desarrollo del individuo y están relacionados con la prevención de diversas patologías (Poitelon et al., 2020).

Por ejemplo, se ha propuesto una relación entre diferentes trastornos de atención y aprendizaje con deficiencias de ácidos grasos de cadena larga como el docosahexaenoico (DHA), el cuál es un ácido graso esencial y está relacionado también con características estructurales y funcionales de la célula. Además, el DHA forma parte de la membrana neuronal y está asociado con el correcto desarrollo del cerebro (Lefkowitz et al., 2005).

En la figura 2 se muestran de manera lineal diferentes mecanismos y procesos sobre los cuales tiene efecto el consumo de lípidos y proteínas durante el desarrollo del individuo. En esta figura se resalta la etapa del crecimiento estudiada en este trabajo (6 a 11 años), en la cual ocurren diferentes procesos de maduración cerebral, además de ser una etapa importante en el aprendizaje ya que se consolidan diferentes habilidades y conocimientos (Ríos-Florez, 2016).

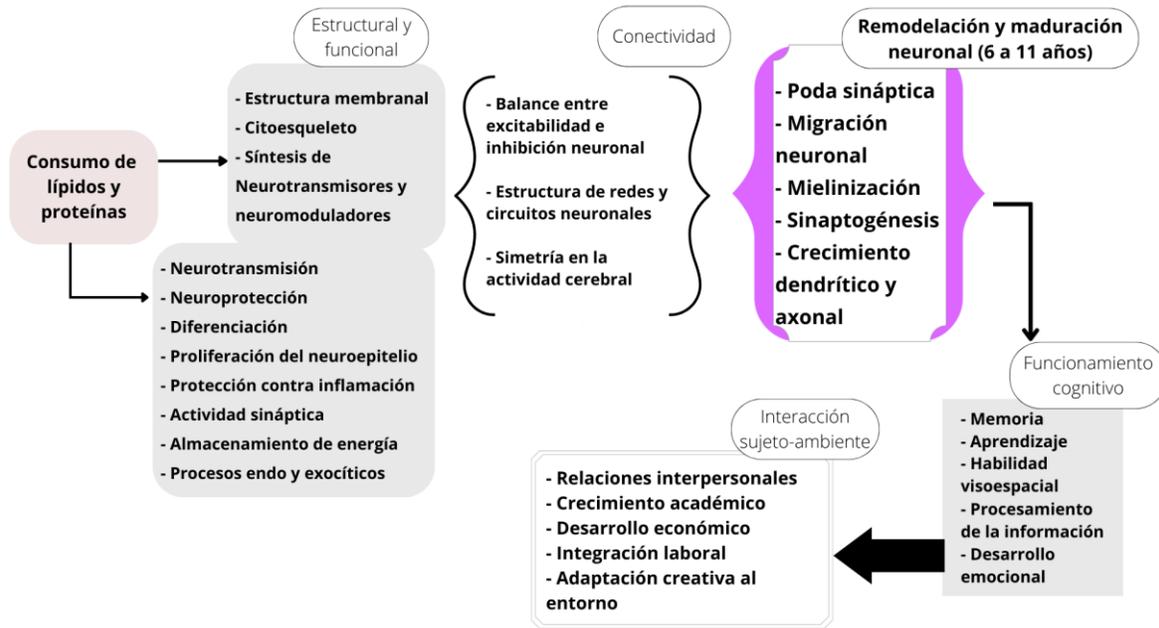


Figura 2. Se observa la participación de lípidos y proteínas en procesos y estructuras importantes en el neurodesarrollo del ser humano. A partir del consumo de estos macronutrientes se muestran los siguientes niveles de interacción entre procesos que participan en la formación del sujeto y que se dividen en 5 grupos: 1. Estructural y funcional, 2 Conectividad, 3. Remodelación y maduración neuronal en niños de 6 a 11 años, 4. Funcionamiento cognitivo y 5. Interacción sujeto-ambiente. En el primer grupo se mencionan estructuras y procesos neuronales en los que los lípidos y proteínas participan de manera directa. El siguiente nivel muestra la conectividad neuronal que ocurre a partir de la formación de redes mediante conexiones dendríticas y axonales. En este conjunto se forman estructuras complejas cuyo funcionamiento no puede predecirse de manera lineal como se mencionó en el capítulo 2.2. El tercer grupo aparece resaltado ya que muestra procesos que tienen cambios muy importantes para la vida del individuo durante la etapa de 6 a 11 años. A partir de estos procesos de remodelación y crecimiento neuronal se desarrollan habilidades cognitivas como las que se mencionan en cuadro de “Funcionamiento cognitivo”, las cuales tienen un papel clave en la interacción del individuo con su entorno.

2.6 Comunidades indígenas. Situaciones de pobreza y marginación

El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) define a los hogares indígenas como aquellos donde el jefe(a), su cónyuge o alguno de los ascendientes declararon hablar alguna lengua indígena (CONEVAL, 2019). Además, Téllez et al. (2013), define el grado de presencia indígena basado en el supuesto de que la preservación de la lengua constituye el principal rasgo distintivo de estos grupos, de este modo, una localidad se considera indígena, cuando 70 por ciento o más de los habitantes de 5 años o más habla alguna lengua indígena.

La condición de marginación y pobreza en la población indígena de México ha sido sistemáticamente mayor a la de la población no indígena, además, mediante diversos estudios se ha observado que todas las entidades del país presentan mayor porcentaje de población indígena en estado de pobreza (CONEVAL, 2019).

Esta circunstancia no es un fenómeno actual; históricamente, los grupos indígenas han sido marginados y excluidos. Vargas (2007) reflexiona sobre cómo la definición de nación, estipulada durante el proceso de formación de México como país independiente, excluía a los grupos indígenas. En esta definición se establecía la idea de identidad nacional, como un conjunto de rasgos culturales que debían ser compartidos por todos los sujetos pertenecientes a dicho grupo. Además, el Estado Nacional se formó de acuerdo con la ideología del grupo dominante, el cual, estratégicamente evitaba identificarse con la cultura europea o con la cultura originaria de México. De este modo podía justificarse el planteamiento de independencia sin partir de la posición de marginación que imperaba sobre los grupos indígenas (Naranjo, 2011; Vargas, 2007).

Históricamente, el Estado Mexicano ha buscado incorporar a los grupos indígenas al proyecto de nación a partir de políticas públicas y educativas. Sin embargo, el proceso de asimilación, en su intento de integrar a diferentes grupos con distintas identidades, ha desplazado muchos de los rasgos culturales propios de los grupos originarios (Naranjo, 2011).

En la actualidad, las comunidades originarias mantienen un estado de precariedad y siguen siendo las más vulnerables ante situaciones de desigualdad. Se estima que el 69.5% de la población indígena (8.4 millones de personas aproximadamente) experimenta una situación de pobreza y el 27.9% (3.4 millones de personas), de pobreza extrema (CONEVAL, 2019).

2.6.1 El caso de la población Me'phaa

La región Me'phaa se localiza entre la vertiente de la Sierra Madre del Sur y la costa del estado de Guerrero. Su topografía se divide en tres áreas: una zona alta con clima frío, otra central con clima templado y una baja ubicada en la Costa Chica. La población Me'phaa del estado de Guerrero se calcula en 96,563 individuos (SIC, 2019) La estructura actual de la población total está repartida en diferentes municipios abarcando diferentes regiones del estado de Guerrero (Sarmiento-Silva, 2001). Este pueblo es considerado el único originario de Guerrero, a diferencia de los amuzgos, mixtecos y nahuas que proceden de los estados de Oaxaca, Morelos y el Estado de México (Sarmiento-Silva, 2001). La mayor parte de la flora del área presenta bosque aciculifolio y diversas gramíneas, así como encino rojo y

blanco. En estas zonas se cultivan leguminosas como maíz, frijol y lentejas, las cuales son para autoconsumo principalmente, además, en la parte alta hay gran variedad de hongos y quelites silvestres que también son aprovechados para consumo. Actualmente están organizados en ejidos (INPI, 2017; INPI, 2020).

Su comercio con otras regiones del país depende principalmente de la producción de Jamaica y de café. Los miembros de las comunidades Me'phaa emigran poco debido a que el trabajo del campo representa la mayor fuerza de trabajo para la manutención familiar (INPI, 2020).

El INEGI ha reportado situaciones graves de carencia de servicios de salud, vivienda, agua, drenaje y electricidad, se estima que en las comunidades Me'phaa cerca del 98% de los partos son naturales (Sánchez-Quinto, 2020). En regiones como La Montaña, en el estado de Guerrero, la situación de pobreza se ve agravada, además, por falta en vías de comunicación de la zona. Los grupos indígenas de la región, dentro de los cuales se hallan las comunidades Me'phaa, se ven directamente afectadas por estas circunstancias, lo cual tiene repercusiones en materia educativa y de salud (Morales, 2015). Debido a sus condiciones socioecológicas, el grupo Me'phaa presenta una gran homogeneidad en cuanto a variables como nivel socioeconómico, acceso a tecnologías, nivel educativo, interacción social con medios de comunicación, entre otras, lo cual podría influir en la dinámica cerebral.

3. Planteamiento del problema

La comunidad Me'phaa de la región de la Montaña Alta del estado de Guerrero posee gran uniformidad en cuanto a sus características socioeconómicas y ecológicas, sin embargo, no se han realizado estudios sobre el consumo de macronutrientes o la relación entre la nutrición y la actividad cerebral en este grupo. Además, el acceso y las condiciones de marginación de este grupo, así como la barrera lingüística representan un reto en la instalación de un laboratorio para el estudio de la actividad cerebral con EEG.

El estilo de vida en la Ciudad de México tiene un gran contraste en cuanto a dieta y condiciones socioecológicas con el de las comunidades Me'phaa. Se puede comparar la información de los grupos mencionados para observar si la nutrición y el contexto sociocultural tiene efecto sobre la actividad cerebral. Al elegir la etapa escolar primaria como criterio de inclusión para los sujetos de este estudio, se puede obtener información sobre un periodo clave del neurodesarrollo, durante el cual se establece parte importante de la arquitectura neurofuncional que acompañará al individuo el resto de su vida.

De este modo, se trabajó con dos preguntas de investigación: ¿Existen diferencias en la actividad cerebral de base en niños de poblaciones con diferente estructura socioecológica? Y ¿Se observarán diferencias en la actividad eléctrica cerebral de base que indiquen distintos niveles de maduración cerebral en niños con características contrastantes de nutrición al tomar como referencia el consumo de lípidos y proteínas?

4. Justificación

La problemática nutricional en el país es de gran importancia debido a las brechas sociales que se han ido agravando en diferentes regiones. El impacto de la nutrición en el neurodesarrollo es más acentuado en etapas tempranas de la vida ya que se establece la base de la estructura morfofuncional del cerebro que se mantendrá durante el resto de la vida del individuo. A partir del inicio de la pubertad se observan mayores diferencias en los patrones de actividad cerebral entre hombres y mujeres, además, en etapas muy tempranas del desarrollo la actividad cerebral es más susceptible a las diferencias de edad debido a los procesos de poda sináptica que se llevan a cabo. Durante el crecimiento cambian los patrones de actividad cerebral observados en diferentes bandas de frecuencias mediante EEG.

Con la técnica de EEG se puede obtener información sobre el cerebro de manera no invasiva y en tiempo real. Además, la actividad de base brinda información que permite conocer el estado funcional del cerebro a partir del cual, este órgano puede generar una respuesta. Actualmente no hay suficiente información sobre la actividad eléctrica cerebral de base que muestre cómo cambia la dinámica funcional del cerebro en relación con el contexto nutricional del organismo.

5. Objetivo general

Comparar la actividad eléctrica cerebral de base a partir de diferencias de potencia inter e intrahemisféricas en niños de 6 a 11 años de edad de dos poblaciones con diferentes condiciones socio ambientales y nutricionales: niños indígenas Me'phaa y niños de la ciudad de México.

5.1 Objetivos particulares

Determinar y comparar el tipo y frecuencia de consumo diario de lípidos y proteínas en niños de 6-11 años que pertenecen a una comunidad indígena Me'phaa, y niños de la misma edad habitantes de la ciudad de México.

Comparar las medidas antropométricas de peso, talla, perímetro cefálico y braquial de los niños indígenas Me'phaa de 6 a 11 años y niños de la misma edad habitantes de la ciudad de México.

Determinar y comparar las diferencias en PA de las regiones intra e interhemisféricas en cada banda ancha tradicional, alfa, beta, delta y theta, en cada condición de reposo, ojos abiertos y ojos cerrados, en niños indígenas Me'phaa de 6 a 11 años, y niños de la misma edad habitantes de la ciudad de México.

Determinar la relación entre la frecuencia de consumo de proteínas y grasas animales y las diferencias en PA inter e intrahemisféricas para cada banda tradicional y cada condición de

reposo, en niños indígenas Me'phaa de 6 a 11 años, y niños de la misma edad habitantes de la ciudad de México.

6. Hipótesis

Hipótesis 1.

Niños de la comunidad indígena Mé'phaa y niños de la ciudad de México presentarán diferencias en cuanto al tipo y frecuencia de consumo de proteínas y lípidos animales, así como a sus medidas antropométricas.

Hipótesis 2.

La actividad eléctrica cerebral de base en niños de 6-11 años de la comunidad indígena Mé'phaa, en términos de las diferencias en PA inter e intrahemisféricas, será distinta a la de los niños de la misma edad habitantes de la ciudad de México.

Hipótesis 3.

El consumo de lípidos y proteínas animales en niños indígenas Me'phaa y niños de la Ciudad de México de 6 a 11 años de edad, afectará la actividad eléctrica cerebral de base en términos de las diferencias en PA inter e intrahemisféricas, en todas las bandas tradicionales, alfa beta delta y theta, en ambas condiciones de reposo, ojos abiertos y ojos cerrados.

7. Predicciones

Predicción 1.

El tipo y frecuencia de consumo de proteínas y lípidos animales en niños indígenas Me'phaa será menor que en niños habitantes de la ciudad de México.

Predicción 2.

Los valores antropométricos de peso, talla, perímetro cefálico y braquial serán menores en los niños indígenas Me'phaa que en niños habitantes de la ciudad de México.

Predicción 3.

Se observarán menores diferencias en regiones cerebrales inter e intrahemisféricas en niños de Ciudad de México que en niños Me'phaa, para bandas tradicionales, alfa, beta, delta y theta, en ambas condiciones de reposo: ojos abiertos y ojos cerrados.

Predicción 4.

A mayor consumo de proteínas y lípidos animales, será menor la diferencia de la PA intra e interhemisférica de las bandas tradicionales alfa, beta, delta y theta, en ambas condiciones de reposo y para las dos poblaciones de niños.

8. Metodología

8.1. Tipo de estudio, espacio muestral y características de la muestra

El presente trabajo presenta las características de un estudio retrospectivo (Méndez, 1984), ya que parte de registros y encuestas realizadas previamente por dos compañeras del laboratorio (De la Fuente, R. 2021; Hernández, A. 2021) para realizar la comparación y análisis de las diferentes poblaciones. A su vez, en los trabajos previos mencionados, se realizó la limpieza de señal y selección de los EEG de los niños Me'phaa, mientras que en este trabajo, el análisis de las señales obtenidas y la comparación de los dos grupos poblacionales. Los datos recabados para este estudio se describen a continuación:

Se realizaron encuestas de ingesta de alimentos y antropometría, así como registros de actividad eléctrica cerebral mediante EEG de base (De la Fuente, R. 2021; Hernández, A. 2021), por parte del Laboratorio de Neuroecología Cognitiva de la Facultad de Psicología de la UNAM. La toma de datos se realizó entre Marzo-Junio de 2018 y Marzo-Junio de 2019.

El espacio muestral y las características de la muestra comprenden dos grupos poblacionales: El primero compuesto por niños de 6 a 11 años de edad pertenecientes a una comunidad indígena autodenominada "Me'phaa" ubicada en las comunidades de Naranjo (17°9'54.0036" N 98°57', 50.9832" W, 860 m s. n. m.) y Plan de Gatica (17°7' 49.5552" N 99.7' 510 m s. n. m.), ambas pertenecientes a la región de la Montaña Alta del estado de Guerrero, y el segundo compuesto por niños de la misma edad que habitan en el sur de la Ciudad de México (18.102" W 19°12'36.36"W) (Figura 3).

Se eligieron las comunidades Me'phaa por el acceso limitado a alimentos y su dieta muy contrastante con zonas urbanizadas. A su vez, el grupo de niños del sur de la ciudad de México fue elegido por su dieta contrastante con el grupo Me'phaa, ya que tienen en su dieta altas cantidades de proteína y grasa animal y azúcar refinada (Sánchez-Quinto, 2020). Además, la Ciudad de México es la más urbanizada del país, y tiene mayor acceso a servicios y recursos. El grupo Me'phaa tiene una dieta basada principalmente en alimentos de origen vegetal mientras que el grupo de la ciudad tiene altas cantidades de proteína animal y azúcar refinada (Sánchez-Quinto, 2020).

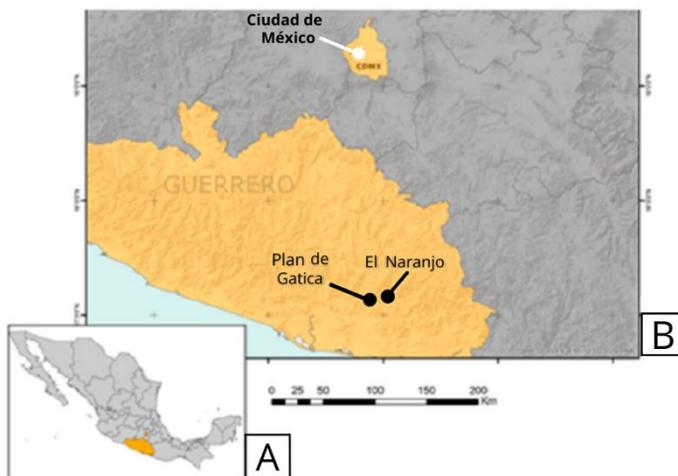


Figura 3. Se muestra el estado de Guerrero y la Ciudad de México (A), donde se ubican los grupos poblacionales de niños que participaron en este estudio, correspondientes a las comunidades de El Naranja y Plan de Gatica para los niños Me'phaa y a la ciudad de México (B) para niños del sur de la ciudad. Tomado de Sánchez-Quinto et al. (2020).

Los datos de nutrición y antropométricos fueron tomados por dos compañeras del laboratorio capacitadas en las técnicas e instrumentos; una de ellas tomó la información de las encuestas de nutrición mientras la otra tomaba la información antropométrica.

En el caso de los registros en la comunidad tlapaneca, todos los procedimientos se realizaron en presencia de un intérprete de la lengua Me'phaa, procedente de la propia comunidad (De la Fuente, R. 2021; Hernández, A. 2021).

De algunos sujetos no se pudo obtener información completa de la nutrición o la antropometría por lo cual varía un poco la n de las pruebas, sin embargo, las mediciones y encuestas se realizaron a los mismos niños. Lo mismo ocurrió con los registros de EEG, algunos estaban muy artefactados, por eso se tuvieron que eliminar y quedó una n menor.

Los criterios de inclusión para estas dos poblaciones fueron: niños que no presentaban traumatismo craneoencefálico, alteraciones neurológicas detectadas ni que se encontraran bajo algún tratamiento médico. Se eliminaron registros muy artefactados o incompletos, así como encuestas y mediciones antropométricas incompletas. Para participar en el estudio, se obtuvo previamente el consentimiento informado de los padres.

8.2. Ingesta de alimentos y antropometría.

La encuesta de frecuencia de consumo de alimentos con la cual se recolectó la información utilizada en este trabajo se basa en La Encuesta de Salud y Nutrición (ENSANUT) del 2016, diseñada por el Sistema Nacional de Encuestas de Salud (SNES) que, a su vez, fue

formado por la Secretaría de Salud. El SNES es un instrumento de planeación basado en evidencia que lleva más de 30 años documentando de manera confiable las condiciones de nutrición y salud en México (INEGI, 2019).

Para obtener la diversidad y cantidad en el consumo de lípidos y proteínas animales de las dos poblaciones se implementó el cuestionario de Frecuencias de Consumo Nutricional utilizado por la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del 2016 para los infantes de la ciudad, así como una adaptación del mismo para la comunidad indígena Me'phaa, construido a partir de una previa consulta de los alimentos de acceso más frecuente en la región, gracias a la colaboración de intérpretes de la lengua (Ver Anexo I). A partir de las respuestas obtenidas se estimaron las cantidades consumidas diarias de lípidos y proteínas animales con base en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes (SMAE) (Lizaur et al., 2014).

Ambos cuestionarios contaron con una lista de 38 alimentos con porciones equivalentes de cada uno, tomando en cuenta los principales alimentos de origen animal consumidos en México, por ser la principal fuente de lípidos y proteínas. Los alimentos de origen animal usados en estas encuestas se encuentran en la tabla 2.

ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL	PORCIÓN	GRAMOS DE PROTEÍNAS	GRAMOS DE LÍPIDOS
LECHE	240 ml	11.2 g	7.9 g
YOGURT	250 ml	10.6 g	7.9 g
CARNE DE PUERCO	Bistec chico (55 g)	14.43 g	4.5 g
CARNE DE RES	Bistec chico (55 g)	11.55 g	5.5 g
POLLO	1 Pieza (90 g)	17.6 g	13.8 g
HUEVO	1 pieza (62 g)	5.5 g	4.4 g
PESCADO	½ filete mediano (45 g)	7.5 g	0.5 g

Tabla 2. Tabla con los alimentos de origen animal incluidos en las encuestas. Se observan los gramos por porción propuestas por el SMAE, así como los gramos de lípidos y de proteínas estimados para cada porción. Selección de alimentos basada en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del 2016.

En las encuestas se preguntó a los padres de familia cuál era el consumo semanal y por día de cada uno de los alimentos mencionados en la tabla 1, así como las porciones de cada alimento. Con los valores publicados por el SMAE se estimó el consumo diario de lípidos y de proteínas para cada uno de los alimentos mencionados.

Las encuestas completadas en su totalidad fueron 71, de las cuales 34 fueron realizadas a niños de la Ciudad de México (21 niñas y 13 niños) y 37 a niños de las comunidades indígenas de la Montaña Alta de Guerrero (21 niñas y 16 niños).

La antropometría se realizó mediante una balanza de medición corporal marca OMRON modelo HBF-514C, con un estadiómetro de pared marca ADE modelo MZ10017 y una cinta métrica marca de precisión modelo SECA. Las medidas antropométricas consideradas fueron: Perímetro cefálico, peso, talla y perímetro braquial. Además, con los datos de peso y talla se calculó el índice de masa corporal (IMC) (ver Anexo III). La toma de medidas antropométricas fue realizada por triplicado por una persona capacitada para ello, y los datos recolectados se anotaron en la hoja de registro con el folio y fecha correspondientes (ver anexo II). Los datos obtenidos para cada población por medida antropométrica fueron: Perímetro cefálico (n de ciudad= 35 (19 niñas y 16 niños), n de montaña= 29 (15 niñas y 14 niños)), peso (n de ciudad= 36 (20 niñas y 16 niños), n de montaña= 38 (21 niñas y 17 niños)), altura (n de ciudad= 36 (20 niñas y 16 niños), n de montaña= 38 (21 niñas y 17 niños)), perímetro braquial (n de ciudad= 36 (20 niñas y 16 niños), n de montaña= 28 (14 niñas y 14 niños)) (Ver figura 6 y Anexo III).

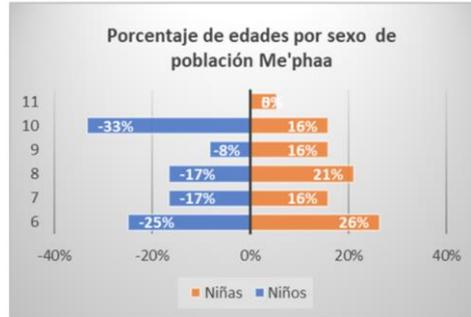
8.3 Registro de EEG y determinación cuantitativa de la Actividad eléctrica cerebral.

El registro de EEG se llevó a cabo por De la Fuente (2021) y Hernández (2021). Se realizó en dos condiciones: Ojos abiertos y ojos cerrados. Se realizó en un cuarto apartado, de manera individual para cada niño, en un ambiente tranquilo para tener pocos artefactos.

El registro de actividad eléctrica cerebral mediante EEG se realizó en 52 individuos de los que previamente se obtuvieron sus mediciones de ingesta de alimentos y medidas antropométricas, de los cuales 31 fueron niños de la Montaña Alta (19 niñas y 12 niños) (edad media de 8 ± 1.6 años) y 21 niños de ciudad (10 niñas y 11 niños) (edad media de 8.2 ± 1.5 años) (Figura 3). Estos registros se realizaron por parte del personal de investigación del Laboratorio de Neuroecología Cognitiva durante el año 2018 para los participantes indígenas y 2019 para los participantes de la Ciudad.

Distribución de edades del grupo poblacional Me'phaa

Edad	Niños	Niñas
	Me'phaa	
TOTAL	12	19
6	3	5
7	2	3
8	2	4
9	1	3
10	4	3
11	0	1



Distribución de edades del grupo poblacional de la Ciudad de México

Edad	Niños	Niñas
	Ciudad	
TOTAL	11	10
6	3	2
7	0	1
8	2	2
9	4	2
10	2	3
11	0	0

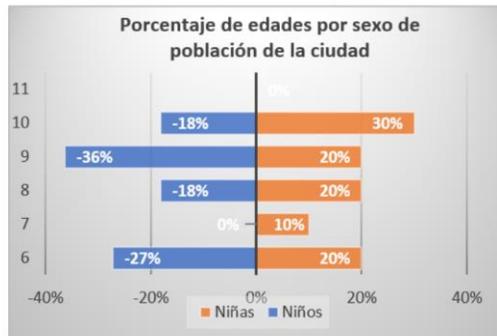


Figura 3. Se muestra la distribución por edades de niños y niñas de los dos grupos poblacionales comparados en este estudio: niños de la Ciudad de México y niños Me'phaa. En las tablas de la izquierda se muestran las cantidades de niños y niñas por edad y en las gráficas de la derecha se muestran los porcentajes.

Para cada participante, el registro de EEG se realizó en dos condiciones, ojos cerrados y ojos abiertos. Esto, debido a las diferencias en la frecuencia de las ondas cerebrales que se presentan para cada condición, permitiendo así estudiar espectro completo de la actividad cerebral de base en estados de vigilia (Barry et al., 2007).

La disminución del número de registros con respecto al tamaño de la muestra inicial se debió a la dificultad para obtener épocas limpias de registros muy artefactados y a la presencia de electroencefalogramas incompletos debido a problemas durante el registro que causaron interrupciones durante el proceso. Es importante mencionar que el laboratorio contaba con la limpieza previa de los 32 registros de EEG de las niñas y niños del grupo indígena.

El registro de EEG se realizó utilizando 19 derivaciones siguiendo el sistema tradicional 10 – 20 (Figura 4), el cual es un estándar internacional definido por la FISE (Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía) (Gómez, 2016). En este trabajo se usó como derivación de referencia a cada lóbulo de la oreja ipsilateral y registro simultáneo de movimiento ocular. La frecuencia de muestreo fue de 512 Hz y filtros entre 0.5 y 70 Hz con impedancia menor a 10 k Ω . La señal eléctrica cerebral se obtuvo mediante un amplificador GRAEL EEG de 40 canales, modelo GRAEL 4K-EEG, marca COMPUMEDICS, una computadora portátil marca Acer modelo Z5WAH con el programa Profusion EEG5, dos gorros chicos con electrodos incorporados (50-54 cm) y uno mediano (54-58 cm) de la marca Electrocap, para registro de EEG con la configuración de electrodos del Sistema Internacional 10-20. Además, se emplearon electrodos de arete para ambos lóbulos de las orejas con referencia y el movimiento ocular se registró con un electrodo de disco de plata clorurada, marca Electrocap.

8.3.1. Procedimiento de Registro de Señal

Todos los procedimientos se realizaron por personal capacitado en las técnicas e instrumentos, acompañado en todo momento de una persona intérprete de la lengua Me'Phaa para el caso de la población indígena. Una vez explicados los procedimientos a realizar y habiéndose asegurado de aclarar las dudas a los niños y cuidadores primarios, se inició con el registro, el cual se llevó a cabo en un sitio alejado apartado y de manera individual. Después de la calibración de la actividad eléctrica (i.e. Regulando impedancias y movimientos oculares, se les dio la instrucción de abrir o cerrar los ojos, según fuera el caso de manera contrabalanceada y en intervalos de 2 minutos en cada condición hasta asegurar el mínimo de 6 minutos por condición para evitar la fatiga y el sueño. La duración total del registro fue de entre 15 y 25 minutos, incluyendo el tiempo de calibración.

8.3.2 Procesamiento de la señal eléctrica para su análisis

La señal eléctrica obtenida para cada condición y cada individuo pasó por un proceso de limpieza para eliminar artefactos, que son señales que provienen de fuentes ajenas a la señal cerebral y que se solapan con la señal, enmascarándola (López, 2019). La limpieza de señal se realizó en dos etapas: primero se realizó la inspección cualitativa visual de cada registro a partir del análisis de cada época por sujeto, de modo que una época se compone por 10 segundos de actividad eléctrica registrada (Barros y Guardiola, 2006). Este proceso consistió en la selección de segmentos de señal que aportarán información sobre el comportamiento de la actividad cerebral y la eliminación de artefactos, de los cuales se

reconocieron de tipo fisiológicos y no fisiológicos, siguiendo la clasificación de Sánchez y Hernández (2017).

Después de descartar artefactos se obtuvieron al menos dos minutos continuos de señal de cada sujeto. Cada segmento de un segundo de estos dos minutos continuos fue posteriormente filtrado mediante un script realizado en MATLAB® con ayuda de la toolbox de Fieldtrip del protocolo de Solís-Vivanco, et al. (2018), con la finalidad de rechazar los artefactos por el método de distribución entre ensayos basado en varianza. Con la finalidad de cerciorarnos de que la señal para análisis estuviera completamente libre de artefactos, se realizó una segunda inspección visual, quedando finalmente un total de 42 segmentos de un segundo en promedio por cada participante, por condición. Finalmente, a los valores de la Potencia registrada en microVolts se les calculó su logaritmo natural para realizar un análisis comparativo de la PA mediante una transformación de Fourier (Solís-Vivanco, et al., 2018).

Como resultado se obtuvieron los valores de potencia para cada uno de los 19 electrodos en diferentes rangos de frecuencia, desde 1 Hz hasta 40 Hz por condición de ojos abiertos y ojos cerrados para cada individuo (Figura 5).

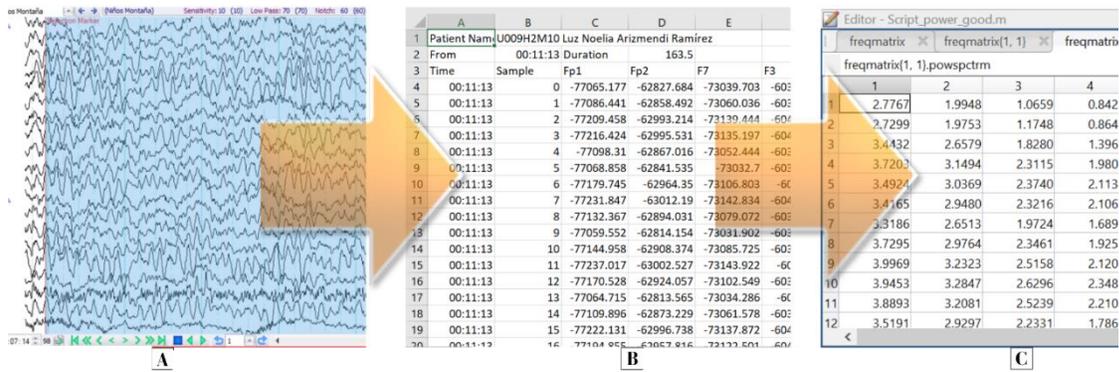


Figura 5. Ejemplo de la secuencia de procesos para la conversión de la señal eléctrica cerebral obtenida por el EEG a valores numéricos de potencia. A) Señal registrada en el programa “Profusion” mediante la medición directa con el electroencefalograma. Cada línea corresponde a una derivación. B) Vectores obtenidos a partir de la señal con el mismo software. Las columnas corresponden a las diferentes derivaciones y las filas al tiempo. El valor de muestreo fue de 256 valores por segundo. C) Matriz de potencia obtenida mediante transformada de Fourier. Se divide en 40 columnas correspondientes a 40 Hz (1 – 40 Hz) y 19 filas correspondientes a las 19 derivaciones que se usaron en el registro de EEG.

8.3.3 Potencia y diferencias intra e interhemisféricas

A partir de los valores de potencia obtenidos para cada derivación, se utilizaron 4 regiones cerebrales: Región anterior izquierda (FI), región anterior derecha (FD), región posterior izquierda (PI) y región posterior derecha (PD), esto a su vez, para 4 bandas anchas típicas: delta (1 – 3 Hz), theta (4 – 7 Hz), alfa (8 – 14 Hz) y beta (15 – 30 Hz). Para obtener los valores de potencia en las regiones cerebrales mencionadas, se promediaron los valores de las derivaciones como se muestra en la figura 5. De este modo, se asignaron las derivaciones de la siguiente manera:

- 1) Región Anterior Izquierda (RAI): electrodos Fp1, F7 y F3
- 2) Región Anterior Derecha (RAD): electrodos Fp2, F4 y F8
- 3) Región Posterior Izquierda (RPI): electrodos P3, T7 y O1
- 4) Región Posterior Derecha (RPD): electrodos P4, T8 y O2

A partir de estas regiones se calcularon las diferencias intra e interhemisféricas (Figura 6).

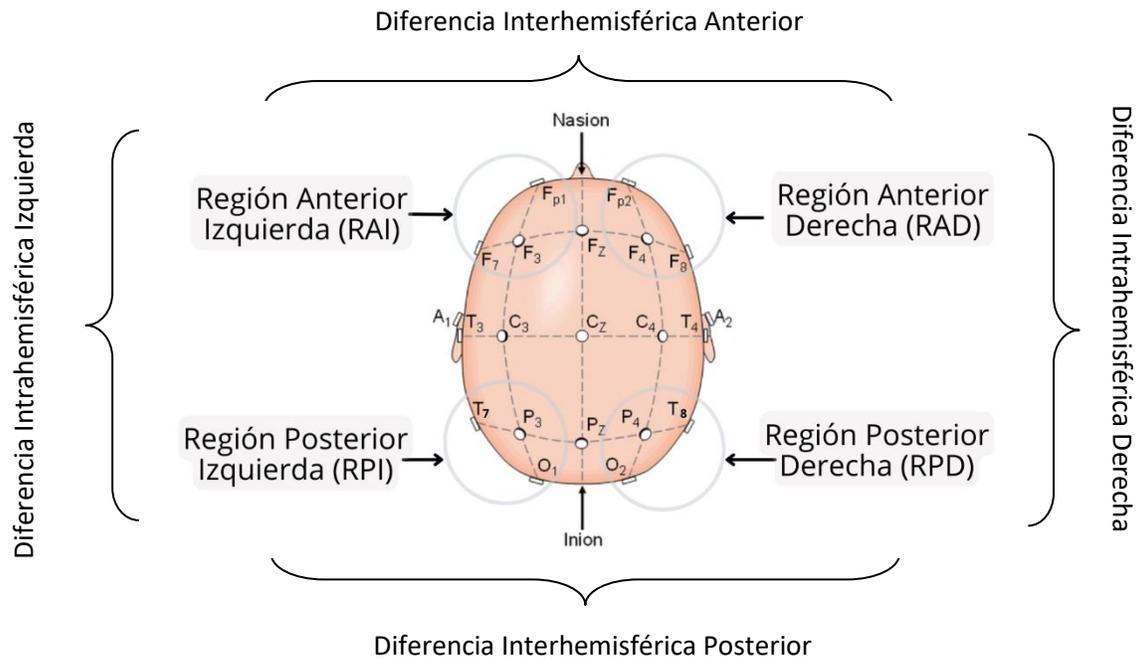


Figura 6. Se observan las diferentes regiones cerebrales conforme al estudio y los electrodos que conforman a cada región. A su vez, se muestra, mediante la agrupación de las regiones con llaves, las diferencias intra e interhemisféricas. Esquema adaptado de Olivas et al. (2010).

8.3.4 Análisis Estadísticos

A partir de la información de las encuestas de nutrición y las mediciones antropométricas se realizó estadística descriptiva (i.e. Media, mediana, desviación estándar y error estándar), para posteriormente realizar pruebas t de Student, con la finalidad de determinar diferencias entre las poblaciones de estudio (figura 6).

8.4 Actividad eléctrica cerebral e ingesta de lípidos y proteínas

Para evaluar las diferencias en la actividad eléctrica cerebral entre las dos comunidades, así como el efecto de los lípidos y proteínas animales en esta actividad eléctrica, se calcularon las diferencias intra e interhemisféricas para las bandas anchas típicas: alfa, beta, delta y theta y se construyeron distintos modelos lineales a partir de los valores de potencia de las regiones cerebrales mencionadas anteriormente.

Con estos valores se realizaron modelos lineales utilizando el lenguaje de programación R, con la finalidad de observar si hay un efecto de la población de estudio y los niveles nutricionales mostrados sobre la actividad eléctrica cerebral de los participantes. Las variables que se tomaron en cuenta en la realización de los modelos fueron las siguientes: Como predictores se consideraron las bandas anchas típicas (4 bandas en total), la condición ocular (i.e. OA y OC), alimentación (i.e. consumo de lípidos y de proteínas), la población, el sexo y la interacción entre población y alimentación. Como variable dependiente se consideró un modelo para cada una de las 4 diferencias inter e

intrahemisféricas. De la combinación de estos factores se obtuvo una lista de 64 modelos (figura 7).

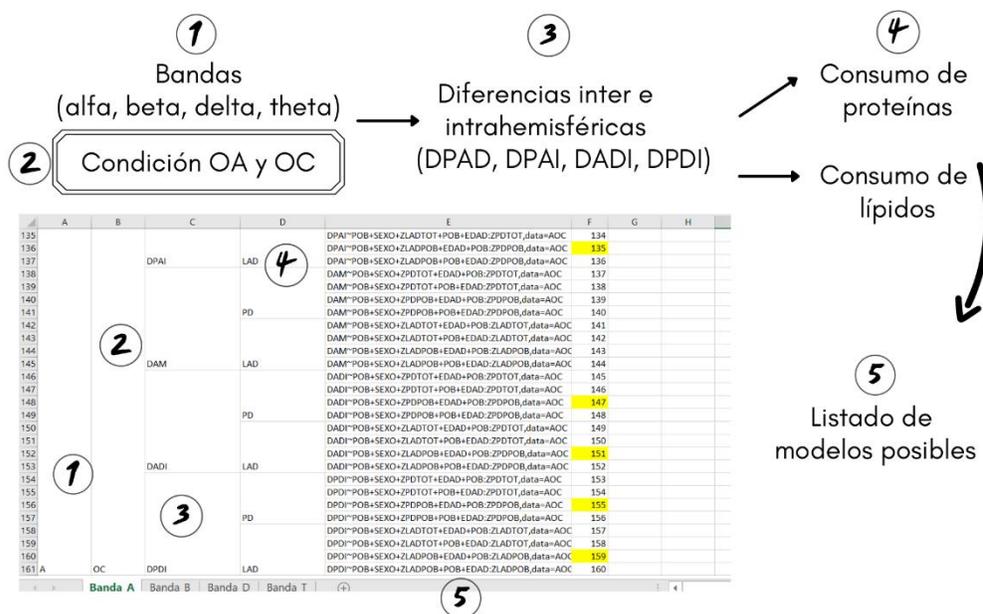


Figura 7. En esta figura se muestran los parámetros usados para la elaboración de los modelos lineales a partir de los cuales se analizaron las diferencias de potencia de la actividad cerebral en este estudio. Cada uno de los parámetros está numerado alrededor de la figura y también se muestra dentro de la tabla, en cada una de las columnas. En esta tabla se observan los 64 modelos construidos. Se obtuvieron 16 modelos por banda, a partir de los cuales se comparó la actividad eléctrica cerebral con relación al consumo de lípidos y proteínas en los dos grupos poblacionales que constituyeron el estudio.

9. Resultados

9.1 Antropometría y nutrición

Las pruebas t de Student arrojaron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre poblaciones con respecto al consumo de proteínas para niños de la ciudad ($1,122 \pm 409$ g) y niños Me'phaa (317 ± 131 g), así como al consumo de lípidos para niños de la ciudad (759 ± 299 g) y niños Me'phaa (304 ± 174 g). Las pruebas t también mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$ para IMC, PCE y PBR y $P < 0.01$ para peso y altura) para las siguientes mediciones antropométricas: IMC, PCE, PBR, peso y altura. Se observaron valores mayores en los niños de la ciudad (Figura 8 y Anexo III).

Gráficas de cajas y bigotes de la nutrición mensual y antropometría de los niños de ciudad y montaña

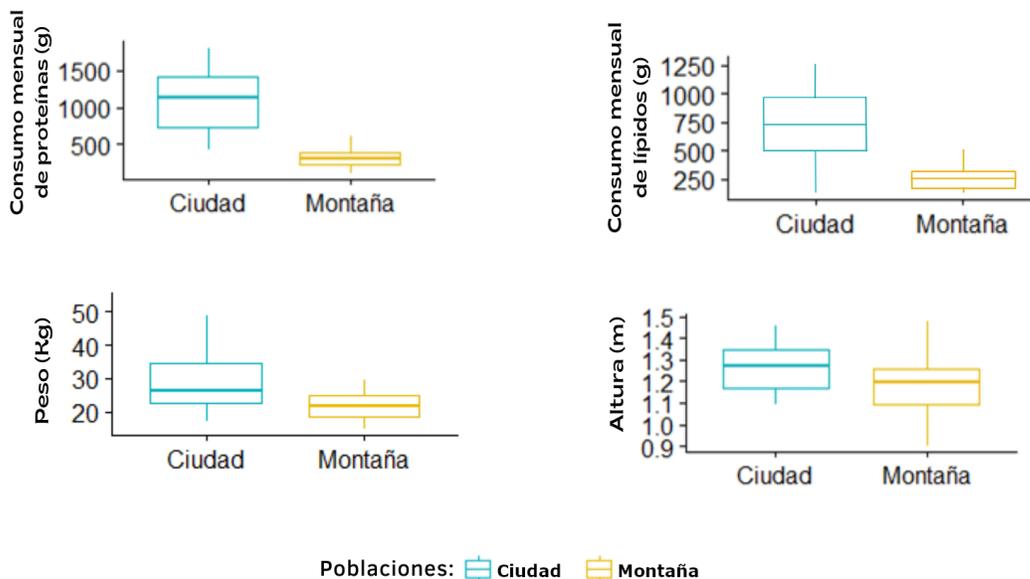


Figura 8. Se muestran gráficas de cajas y bigotes de 4 variables que se utilizaron para realizar este estudio: Consumo de proteínas mensual, consumo de lípidos mensual, peso (media de 23.15 ± 7.5 Kg para el grupo Me'phaa y 28.41 ± 8.21 Kg para el grupo de ciudad) y altura (media de 118.73 ± 11.55 cm para el grupo Me'phaa y 127.77 ± 0.1 cm para el grupo de ciudad). La n para los valores de nutrición fue de 34 para sujetos de la ciudad y 37 para sujetos Me'phaa. En antropometría, la n para los valores de peso y de altura fueron de 36 para niños de ciudad y 38 para niños Me'phaa. Con estas variables se comparó la nutrición y antropometría de las dos poblaciones que participaron en este estudio.

9.2 Actividad eléctrica cerebral

Se observaron algunas diferencias significativas mediante prueba t de Student, entre la actividad eléctrica cerebral de los niños de la ciudad y de la comunidad Me'phaa. En la

tabla 3 se muestran las diferencias intra e interhemisféricas, así como la banda y condición en las cuales se observaron las diferencias interpopulacionales significativas con los respectivos valores de p obtenidos.

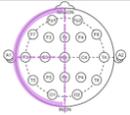
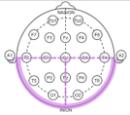
Diferencias inter e intrahemisféricas/ Bandas y condiciones		DPAD (Diferencia posteroanterior derecha)	DPAI (Diferencia posteroanterior izquierda)	DPDI (Diferencia posterior derecha-izquierda)
				
Alfa	OA	p<0.05	p<0.05	---
Theta	OA	---	p<0.05	---
	OC	---	---	p<0.05

Tabla 3. Se muestran las diferencias interpopulacionales en la actividad cerebral medida mediante diferencias inter e intrahemisféricas. Sólo se observaron diferencias (DPAD, DPAI y DPDI) y las bandas y condiciones donde se observaron diferencias: alfa en condición de ojos abiertos (OA) y theta en condiciones de ojos abiertos y ojos cerrados (OA y OC). Las diferencias entre las dos poblaciones observadas fueron de p<0.05.

Así, en banda alfa, en condición de ojos abiertos (OA) se observaron valores menores para DPAD en ciudad (0.99 ± 0.26) que en las comunidades Mé'phaa (1.37 ± 0.18). De igual forma ocurre para y DPAI (ciudad: 0.99 ± 0.27 vs Mé'phaa: 1.51 ± 0.19). A su vez, en banda theta, en condición de ojos abiertos (OA), se observaron valores menores para DPAI en ciudad (1.26 ± 0.24) que en las comunidades Mé'phaa (1.63 ± 0.18). Finalmente, en

banda theta para condición de ojos cerrados (OC), se observaron valores mayores en DPDI para la ciudad (0.37 ± 0.12) que para las comunidades Me'phaa (0.16 ± 0.08).

9.3 Actividad eléctrica cerebral y alimentación

Se observaron diferencias significativas mediante la prueba t de Student, entre la actividad cerebral de los dos grupos de poblaciones con respecto a su consumo de macronutrientes (lípidos y proteínas). En la tabla 4 se muestran las diferencias intra e interhemisféricas, así como la banda, condición y tipo de macronutriente en las cuales se observaron las diferencias interpoblacionales mencionadas, con los respectivos valores de p obtenidos.

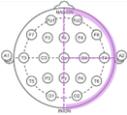
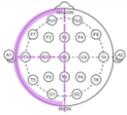
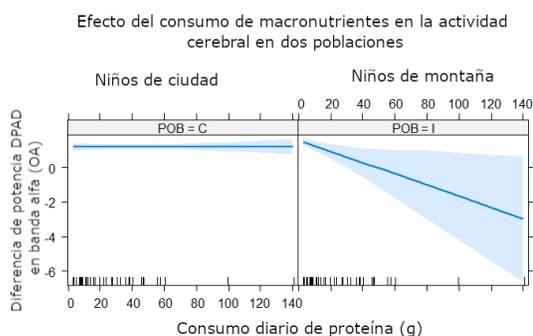
Diferencias inter e intrahemisféricas y consumo de macronutrientes/ Bandas y condiciones		DPAD (Diferencia posteroanterior derecha)		DPAI (Diferencia posteroanterior izquierda)	
					
		PD	LAD	PD	LAD
Alfa	OA	p<0.05	p<0.01	---	---
Theta	OA	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05

Tabla 4. Se muestran las diferencias entre las dos poblaciones en la actividad cerebral medida por las siguientes diferencias inter e intrahemisféricas: diferencia posteroanterior derecha (DPAD) y diferencia posteroanterior izquierda (DPAI) en alfa y theta en condición de ojos abiertos (OA) asociadas con el consumo diario de proteínas y lípidos (PD y LAD). Las diferencias entre las dos poblaciones observadas fueron de $p<0.05$ en todos los casos, excepto en el consumo de lípidos para banda alfa (OA) de DPAD, donde fue de $p<0.01$.

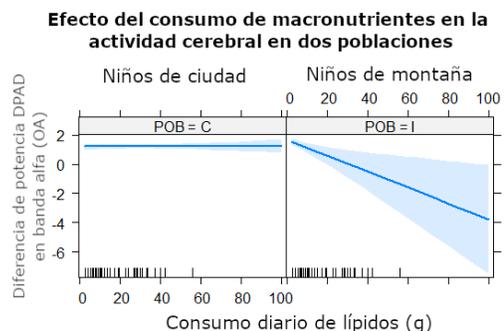
Así, en banda alfa, en condición de ojos abiertos (OA), en DPAD, se observaron valores de -0.03 ± 0.01 , con valor t de -2.3 para consumo de proteínas y de -0.05 ± 0.02 , con valor t de -2.7 para lípidos. En banda theta, en condición de ojos abiertos (OA), en DPAD, se observaron valores de -0.03 ± 0.01 , con t de -2.31 para consumo de proteínas y de -0.05 ± 0.02 , con t de -2.5 para lípidos. A su vez, en banda theta, en condición de ojos abiertos (OA), en DPAI, se observaron valores de -0.03 ± 0.01 , con t de 0.01 para proteínas y -0.04 ± 0.01 , con t de -2.31 para lípidos.

Los valores mostrados en la tabla 4 se muestran en las gráficas de la figura 9, además, también se observa la relación negativa entre la actividad cerebral y el consumo de macronutrientes en niños de montaña en: DPAD de banda alfa (OA), DPAI de banda alfa (OA) (sólo en proteínas), DPAD de banda theta (OA) y DPAI de banda theta (OA) (Figura 9).

Banda Alfa



A



B

Banda Theta

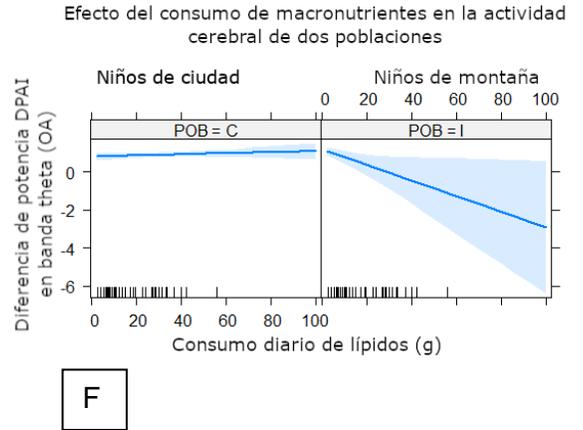
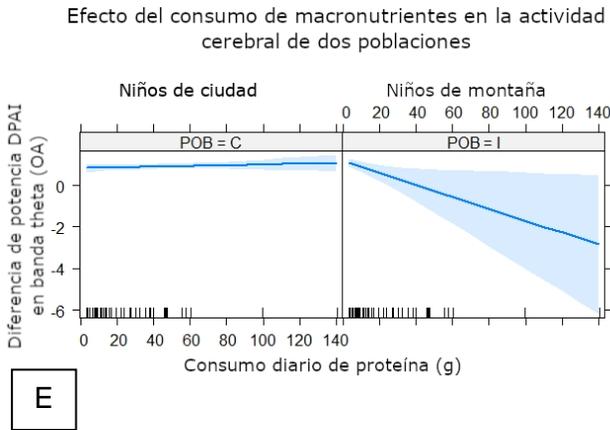
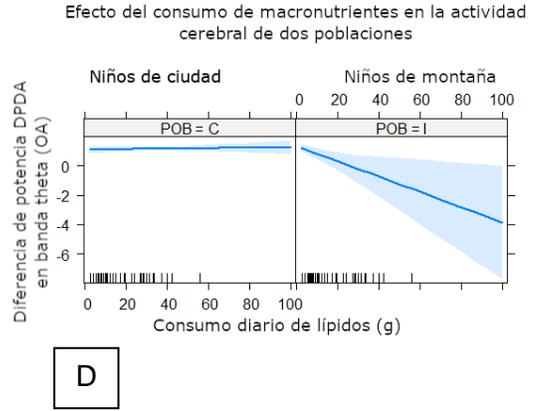
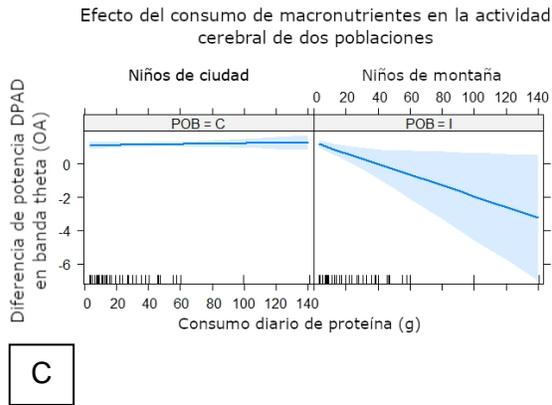


Figura 9. Se muestran diferencias entre las dos poblaciones de niños en la actividad cerebral (a partir de diferencias intra e interhemisféricas) y su interacción con el consumo de macronutrientes en banda alfa (A y B) y theta (C-F). En estas gráficas se observa mayor dispersión en los intervalos de confianza del grupo de niños Me'phaa, lo cual podría indicar mayor susceptibilidad al consumo con estos macronutrientes en cuanto a las diferencias en la actividad cerebral, además, el consumo de macronutrientes mostró efecto negativo en las diferencias de potencia del grupo de niños Me'phaa.

10. Discusión

En este trabajo se observó la relación entre nutrición y actividad cerebral en niños provenientes de condiciones ambientales contrastantes. A pesar de que analizamos parámetros muy particulares como lo son el consumo de proteínas y lípidos de origen animal y diferencias en la actividad cerebral en bandas y regiones específicas, este estudio alcanza aristas de índole socioeconómico, ecológico y antropológico, como se observa en la figura 10. La nutrición en el ser humano es un tema complejo, relacionado con sistemas de interacción del individuo con el entorno y, a su vez, el neurodesarrollo depende en gran medida de todas las interacciones que se llevan a cabo en el individuo a lo largo de su vida, por lo cual, aunque no sea el tema principal de este trabajo, se mencionan también algunos temas complementarios que son importantes para comprender la interacción nutrición-neurodesarrollo y su relación con el ambiente al final de este capítulo (Figura 10).

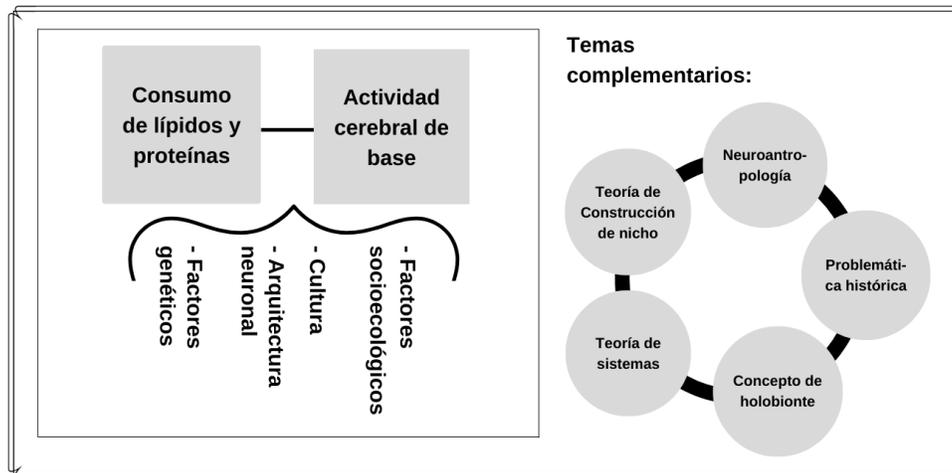


Figura 10. Se representa el objetivo principal de este estudio y algunos temas complementarios que pueden ser de ayuda para abordar el tema principal con una mejor comprensión. La relación entre el consumo de lípidos y proteínas y la actividad cerebral de base se muestra en el cuadro principal junto con los principales campos que participan en su modulación: Factores socioecológicos, cultura, arquitectura neuronal y factores genéticos. En estos conceptos se engloban factores que se asocian con la interacción del individuo con su entorno, el desarrollo estructural del sistema nervioso central y elementos genéticos, que también son parte de la discusión sobre qué determina las características estructurales del cerebro. Afuera del cuadro se muestran en círculos y relacionados entre sí, los temas complementarios que se mencionan al final de este capítulo, los cuales proponen una perspectiva diferente a la explicación lineal estándar para entender la relación entre el entorno y el individuo.

Los resultados muestran que el grupo de niños de la Montaña Alta de Guerrero y los niños de la Ciudad de México componen dos poblaciones diferentes respecto al nivel nutricional basado en el consumo de lípidos y de proteínas animales (Figura 8) y en cuanto a sus componentes antropométricos; IMC, peso, altura, perímetro braquial y perímetro cefálico (Figura 8 y Anexo III), lo cual responde la hipótesis 1. Las medidas antropométricas pueden ser usadas para identificar el estatus nutricional de una población (Bhattacharya et

al., 2019), en este caso, tanto en el consumo de lípidos y proteínas, como en la antropometría, se obtuvieron valores significativamente menores en el grupo Me'phaa, lo que es consistente con las predicciones 1 y 2. Como se mencionó, el grupo Me'phaa presenta niveles altos de marginación y pocas vías de comunicación, además de habitar una zona de difícil acceso. Debido a esto no se habían realizado estudios previos en este grupo que, por sus características, presentan una gran homogeneidad en condiciones socioeconómicas y ecológicas. Esta homogeneidad se refleja en los resultados de la figura 8, que muestran poca dispersión en los valores de alimentación y de antropometría en comparación con los datos obtenidos en la ciudad. Las diferencias en el consumo de macronutrientes de origen animal coincide con la bibliografía citada que reporta patrones nutricionales basados en alimentos de origen vegetal con consumo ocasional de animales como aves de corral (INPI, 2017; INPI, 2020; Sánchez-Quinto, 2020). El recorrido histórico del grupo Me'phaa puede no tener inferencia directa sobre la dinámica funcional de sus integrantes, sin embargo, es interesante destacar la identidad que han mantenido a lo largo de varios siglos a pesar de diversos conflictos sociopolíticos asociados con repartición de tierras, lo cual puede estar relacionado con la homogeneidad que muestran en la actualidad en cuanto a factores socioeconómicos (Sarmiento-Silva, 2001).

A su vez, al comparar las diferencias en PA intra e interhemisféricas, se observaron variaciones en la actividad eléctrica cerebral no asociadas a la nutrición entre los dos grupos poblacionales, lo cual concuerda con la hipótesis 2. Estas variaciones fueron observadas en la banda alfa en condición de OA y theta en ambas condiciones, en áreas homólogas occipitales (o posteriores) y de forma intrahemisférica (Tabla 3). En comparación con los niños de la ciudad, los niños de las comunidades indígenas mostraron

mayores diferencias intrahemisféricas para la banda alfa y theta en condiciones de OA, pero menores en banda theta en condiciones de OC y sólo para el hemisferio izquierdo. Estas diferencias concuerdan con la predicción 3, que indica que habría mayores diferencias en niños Me'phaa. Sería interesante realizar un estudio similar en otras etapas del desarrollo donde puede haber mayor predominancia de ondas delta y beta (Knyazev, 2012; Díaz et al., 2019).

Con respecto a estos resultados, se ha observado que theta se presenta de manera dominante en área occipital durante los primeros meses de vida, mientras que alfa comienza a tomar predominancia en niños de etapa escolar y se mantiene en adultos (Saby y Marshall, 2012). Barry et al. (2007) sugiere que la condición OC es más indicada para inferir sobre la actividad de base, mientras que la condición OA sirve para entender la activación, particularmente para tareas que involucran procesamiento visual. Además, se sabe que alfa tiende a disminuir en condición de OA, lo cual se asocia con la activación del sistema visual mediante el sistema reticular activador (Barry et al., 2007). En OC se observaron menos diferencias, lo cual muestra cierta estabilidad en los dos grupos asociada a la simetría observada en OC, pero al involucrarse otros sistemas activos en OA, se pone de manifiesto que hay mayor asimetría en el grupo Me'phaa. Esto también puede estar relacionado con menor maduración cerebral.

Este proceso de aumento en la frecuencia podría verse modificado por eventos adversos durante el crecimiento del individuo que podría repercutir en el desempeño cognitivo. Por ejemplo, Harmony et al. (1990) reportaron mayor presencia de ondas lentas en niños con menor habilidad de lecto-escritura y más actividad alfa occipital en niños con mayor habilidad. A pesar de que nuestros resultados no evaluaron la PA en una sola región, los

resultados encontrados en las diferencias anteroposteriores intrahemisféricas en estas mismas ondas cerebrales, reportadas en los estudios mencionados previamente, nos sugiere que la actividad eléctrica cerebral en las dos poblaciones, al menos en dos bandas estudiadas como marcadores de neurodesarrollo, son diferentes. Apoyando en consecuencia de forma parcial nuestra segunda predicción, que propone que se observarán diferencias en la actividad cerebral entre las dos poblaciones. Sin embargo, sólo se observaron en dos de las cuatro bandas tradicionales evaluadas. El nivel de actividad de las diferentes bandas está asociado a la maduración cerebral, aunque también se han observado diferencias en los patrones de actividad en niños de diferentes culturas e. g. niños saudíes y suizos (Alahmadi et al., 2016). Por otro lado, en estado de reposo se espera que haya poca diferencia entre las potencias de regiones homólogas cerebrales e intrahemisféricas, como se ha observado en estudios de maduración cerebral en niños de 6 a 10 años (Hudspeth y Pribram, 1992). Esto, difiere con las observaciones de alfa y theta intrahemisféricas e interhemisférica occipital en la población de niños Me'phaa.

El contexto limitante de los niños de la montaña, al menos en cuanto al consumo de proteínas y lípidos en su nutrición, también tuvo efecto en su actividad cerebral, lo cual se refleja en la relación que se encontró entre la nutrición y las diferencias de PA. Se observó una relación negativa entre las diferencias inter e intrahemisféricas y el consumo de macronutrientes en los niños Me'phaa, mientras que los niños de la ciudad no mostraron este efecto; de este modo, se observó que las bandas alfa y theta son más susceptibles a cambiar en función de los niveles de nutrición en niños de montaña.

Las diferencias en la actividad cerebral presentadas pueden estar asociadas a niveles menores de maduración cerebral en niños de montaña y, por lo que muestran los resultados

de este estudio, esa diferencia en la maduración cerebral está asociada a la nutrición en bandas theta y alfa. Es probable que el déficit nutrimental mostrado para el grupo Me'phaa tenga efectos negativos en la vida adulta de los individuos. En este sentido, podría ser provechoso darle seguimiento a este estudio o realizar estudios posteriores de carácter longitudinal en lo que se de seguimiento al desarrollo de los individuos.

Las diferencias intra e interhemisféricas están asociadas con niveles de maduración cerebral (Hudspeth y Pribram, 1992), por lo que la relación observada en diferencias de potencia y nutrición en este estudio podría deberse a que en el grupo de niños de montaña hay sujetos con niveles muy bajos de maduración asociada con déficit nutricional. Se ha observado que la estimulación unilateral causa patrones de actividad asimétricos (Mascetti, 2016), sin embargo, en estado de reposo no hay estimulación unilateral, por lo cual se espera que la actividad espontánea registrada durante este estado sea similar en ambos hemisferios (Mascetti, 2016). A su vez, los niños de ciudad no mostraron relación entre niveles de consumo de lípidos y proteínas y diferencias de potencia intra e interhemisférica. Sin embargo, aunque los valores de estos macronutrientes muestran más dispersión en las encuestas de alimentación para esta población de la ciudad, (figura 6) los niveles de consumo en estos niños podrían ser suficientes para cubrir las exigencias nutricionales que demanda el cerebro en estas etapas de desarrollo. Las bandas de frecuencia afectadas por la nutrición en niños Me'phaa sólo fueron alfa y theta, no se observó efecto en delta y beta como se esperaba. Posiblemente esto se deba al rango de edad de los sujetos participantes de este estudio, ya que, como se ha mencionado, este rango de edad se caracteriza por predominancia en ondas theta y alfa, las cuales muestran una transición a ondas de mayor frecuencia conforme crece el individuo (Saby y Marshall, 2012). Además, en adultos

sobresale la aparición de ondas alfa y beta (Miller, 2007). Debido a esto, puede ser importante realizar estudios similares al presente en otras etapas de crecimiento. En ellos podría observarse contraste en la actividad cerebral asociada a beta y delta en etapas más tempranas o posteriores a las analizadas en este trabajo.

De este modo, se puede observar que el consumo de lípidos y proteínas tiene efecto en la actividad eléctrica cerebral, lo cual está asociado con el neurodesarrollo del individuo. Sin embargo, no podemos aislar el proceso de desarrollo de otros factores relacionados con el sujeto y su entorno. Así como la pobreza es como una condición multidimensional (no sólo como indicador socioeconómico) que también se ve afectada por el contexto cultural, la nutrición no sólo comprende el consumo de alimentos, sino que es un proceso complejo que culmina en el aprovechamiento de los nutrientes.

Además, se ha observado que eventos negativos como exposición a peligro tempranos, violencia intrafamiliar y comunitaria durante la vida del individuo, principalmente en etapas tempranas, también están relacionados con problemas de desarrollo cerebral y, según varios estudios, estos eventos aumentan en condiciones de pobreza (Lipina, 2019). Nuestros resultados observan que, sin considerar la nutrición en el análisis, estas dos poblaciones tienen una conformación diferente en su actividad eléctrica cerebral.

Es posible que no se puedan compensar carencias derivadas de condiciones socioeconómicas con problemas graves de pobreza, en especial cuando estas condiciones de carencia ocurren en etapas tempranas del desarrollo. En estos casos se pueden observar efectos de las deficiencias de las condiciones de vida de estos sujetos en las actividades que realizan. Se han reportado, por ejemplo, relaciones entre pobreza y desempeño académico

(Hair et al., 2015), así como efectos en la actividad cerebral registrada con EEG en adultos (Otero, 1997).

La dieta de un pueblo está determinada por diferentes factores como la región geográfica, prácticas religiosas, educación, entre otras causas. En ocasiones, las restricciones de alimento causadas por la ideología de un grupo pueden ocasionar deficiencias en su nutrición, sin embargo, también estas restricciones dietéticas pueden estar reforzadas por condiciones socioeconómicas desfavorables, como se ha observado en diferentes grupos. Es probable que también haya mecanismos de compensación en las dietas derivadas de prácticas culturales, por ejemplo, podrían carecer de alimentación con carne roja, pero mantener el consumo de otro tipo de carne y productos de origen no animal que complementen su dieta para no tener carencias nutrimentales. No obstante, bajo condiciones de pobreza, inclusive moderada, resulta difícil la adquisición de productos alimenticios complementarios.

Temas complementarios

En este apartado se mencionan algunas consideraciones teóricas sobre las cuales no se entró en detalle en este trabajo, pero que pueden ser valiosas en futuros estudios.

Una forma de estudiar la relación sujeto-ambiente es mediante una perspectiva unidireccional, es decir, tomando en cuenta los cambios generados por la presión ambiental en el individuo sin regresar la mirada hacia el efecto que el mismo individuo tiene en la

transformación del ambiente, como se menciona en este trabajo con algunos ejemplos en los que se han observado modificaciones neuroanatómicas, morfológicas y funcionales (Markham y Greenough, 2004; Rattenborg et al., 2017; Yokota et al., 2017) causadas por el efecto de factores ambientales. Sin embargo, esta relación también se puede explicar como retroalimentación entre el ambiente y el sujeto. La perspectiva de construcción de nicho analiza cómo el sujeto participa de forma activa en la construcción de su ambiente. Bolhuis et al. (2011) plantea que el sujeto modifica el ambiente y crea sistemas de aprendizaje y de acceso a recursos que afectan su evolución y desarrollo, a partir de esta interacción dinámica surgen condiciones tan contrastantes como las que se observaron en este trabajo, las cuales establecen ambientes particulares que moldean la identidad y la relación con el mundo de diferentes grupos humanos.

Para comprender la influencia del entorno en el cerebro se han realizado estudios con modelos de enriquecimiento ambiental en los que se muestra que la interacción social y la estimulación cognitiva mejoran la capacidad de regeneración neuronal y funciones cognitivas (Tang, 2020; Fischer, 2016). Sin embargo, hasta el momento, la mayoría de estos modelos han sido realizados en animales no humanos en condiciones de laboratorio, lo cual no toma en cuenta niveles más complejos de interacción, donde participa la cultura, la educación o inclusive las políticas públicas para abordar problemas que repercuten en la fisiología y neurodesarrollo del individuo. Es importante destacar el papel de la neuroantropología, que intenta tomar en consideración la existencia de diferencias en el funcionamiento neurológico asociadas con el contexto cultural en el cual se desarrolla el individuo (Lende y Downey, 2020). La comparación de parámetros funcionales entre poblaciones con diferentes características culturales no es algo nuevo, Pérez (2016)

examina el cauce metodológico de diversos estudios electroencefalográficos realizados en México en la década de 1940 a poblaciones indígenas. La mayor parte de estos estudios se realizaron en grupos otomíes con una agenda política que favorecía el sesgo introducido por la biotipología. De este modo se buscaba definir la identidad de un grupo con características culturales particulares, pero que invariablemente desafiaba las fronteras del proyecto de nación de aquella época.

La perspectiva neuroantropológica retoma el enfoque integrativo que une a la antropología con la neurociencia, pero bajo una interpretación que resalta la interacción del individuo con el entorno y comprende dicha interacción como un proceso en constante cambio. A partir del estudio del individuo y sus interacciones han surgido conceptos como el de “holobionte”, que se ha extendido a todos los grupos de metazoarios y a la coevolución entre microorganismos y sus hospederos (Simon et al. 2019). El estudio del microbioma, (también realizado por Sánchez-Quinto et al. (2020) en comunidades Me’phaa y niños de la ciudad de México), ayuda en la comprensión del organismo como un ente que se construye a partir de interacciones que cruzan diferentes niveles de organización. Lipina y Segretin (2019) menciona el modelo sistémico de Bronfrenbrenner como instrumento para explicar el efecto en el neurodesarrollo de contextos limitantes asociados con parámetros para medir la pobreza. En su modelo, Bronfrenbrenner propone diferentes niveles de organización en el individuo que tienen trayectorias propias, las cuales intervienen entre sí (Figura 11).

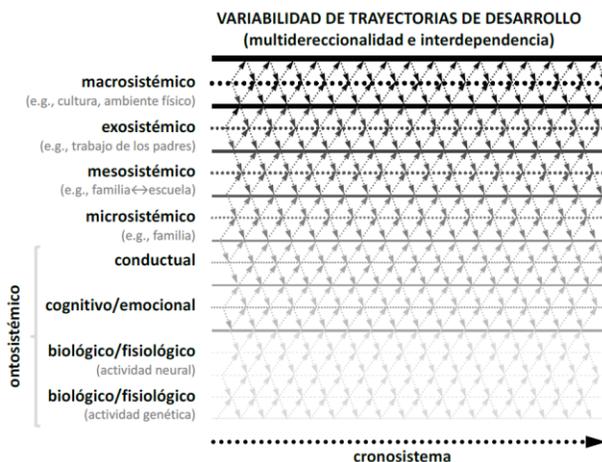


Figura 11. El modelo sistémico relacional de Bronfenbrenner propone la interacción entre diversas trayectorias (que representan eventos durante el desarrollo) que se originan de diferentes niveles (macrosistémico, exosistémico, mesosistémico, microsistémico y ontosistémico) que representan los contextos en los cuales se desarrolla el individuo a lo largo de su vida. Imagen tomada de Lipina y Segretin (2019).

El cerebro es un sistema complejo, por lo cual es difícil analizar su comportamiento desde una perspectiva lineal y reduccionista (Buzsaki, 2006). Los eventos representados por trayectorias en la figura 11 se cruzan e interactúan entre sí de manera lineal. Sin embargo, los niveles mostrados, no sólo no se relacionan de manera no lineal, como el cerebro, sino que están estrechamente relacionados entre sí (Figura 12).

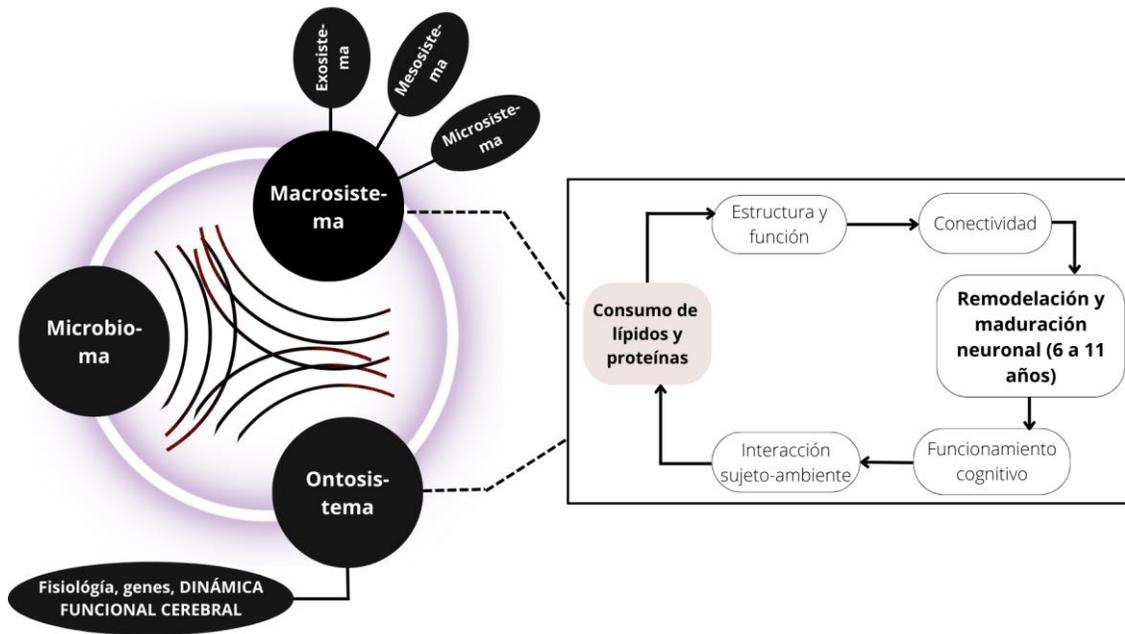


Figura 12. Se retoma la clasificación de Bronfenbrenner para representar los diferentes sistemas que conforman al individuo. Las trayectorias se muestran mediante ondas que se entrecruzan para representar la relación no lineal entre los sistemas mostrados. Además, se usó una configuración circular para representar la retroalimentación constante entre los campos mostrados entre los cuales se añadió el microbioma por su constante interacción con el organismo y su entorno. En el cuadro de la derecha se integró el modelo teórico unidireccional de este trabajo y se unieron sus elementos para asemejar el vínculo activo sugerido por la Teoría de construcción de nicho.

11. Conclusiones

Existen diferencias entre los niños de la ciudad de México y niños Me'phaa de la Montaña Alta de Guerrero en cuanto a la nutrición, antropometría y actividad eléctrica cerebral.

El factor nutricional fue medido a partir del consumo de lípidos y de proteínas de origen animal y, de esta forma, se observó que la presencia de estos macronutrientes en la dieta del grupo de niños indígenas es más baja que en la dieta de los niños de la ciudad. También se observaron tallas antropométricas menores en los niños Me'phaa, por lo que se puede decir que estos dos grupos representan poblaciones diferentes en cuanto a la dieta y factores antropométricos en la etapa de 6 a 11 años, la cual representa una etapa clave en el desarrollo del individuo. Esta diferencia puede repercutir en el neurodesarrollo del sujeto y en su forma de relacionarse con el entorno.

A su vez, la actividad cerebral entre los dos grupos poblacionales marcó diferencias intrahemisféricas en ambos hemisferios cerebrales para banda alfa y theta en condición de ojos abiertos y theta en condición de ojos cerrados y diferencias intrahemisféricas asociadas al consumo de nutrientes, así como relación negativa entre el consumo de macronutrientes y las diferencias intra e interhemisféricas en las bandas observadas.

De este modo, tanto la nutrición como el contexto socio-ecológico tiene inferencia en la actividad cerebral y puede tener, además, efectos en la maduración cerebral, lo cual puede observarse en etapas tempranas del desarrollo, que es cuando se establecen los principales patrones estructurales y morfofuncionales cerebrales del individuo. Además, en el rango de edad de los 6 a 11 años, existen diferencias muy marcadas en las bandas de frecuencia alfa y theta, lo cual se observa en condición de ojos abiertos, entre poblaciones con diferencias

culturales y nutricionales contrastantes. Se observa con mayor claridad el efecto de la nutrición en la actividad cerebral en bandas theta y alfa, aunque no se observa este efecto en delta y beta, al menos en niños con el rango de edad estudiado.

Este estudio permite reflexionar sobre el carácter multicultural de México, pero también sobre las condiciones de desigualdad que perduran en este territorio, así como la susceptibilidad del neurodesarrollo hacia factores ambientales, particularmente de nutrición.

12. Bibliografía

- Alahmadi, N., Evdokimov, S. A., Kropotov, Y. J., Müller, A. M., y Jäncke, L. (2016). Different resting state EEG features in children from Switzerland and Saudi Arabia. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 559.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00559>
- Amo, C., De Santiago, L., Barea, R., López-Dorado, A., y Boquete, L. (2017). Analysis of gamma-band activity from human EEG using empirical mode decomposition. *Sensors*, 17(5), 989. <https://doi.org/10.3390/s17050989>
- Ángel-Pérez, D., Lid, A., y Villagómez-Cortés, J. A. (2014). Alimentación, salud y pobreza en áreas marginadas urbanas: caso Veracruz-Boca del Río, Veracruz, México. *Estudios sociales* (Hermosillo, Son.), 22(44), 12-35. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41731685001>
- Aranda Palacios, S. (2014). Alimentación en México. *Cuicuilco Revista De Ciencias Antropológicas*, 21(61), 373–378. Recuperado a partir de <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/cuicuilco/article/view/6189>
- Arenales, P., y Delgado, H. (2010). Nutrición, Crecimiento y Desarrollo. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*;78(1), ene. 1975.
<https://iris.paho.org/handle/10665.2/17627>
- Balehegn, M., Mekuriaw, Z., Miller, L., Mckune, S., y Adesogan, A. T. (2019). Animal-sourced foods for improved cognitive development. *Animal Frontiers*, 9(4), 50-57.
<https://doi.org/10.1093/af/vfz039>

- Barry, R. J., Clarke, A. R., Johnstone, S. J., Magee, C. A., y Rushby, J. A. (2007). EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical neurophysiology*, 118(12), 2765-2773. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.08.006>
- Barry, R. J., y De Blasio, F. M. (2017). EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting remain in healthy ageing. *Biological psychology*, 129, 293-304.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.09.010>
- Başar, E. (2013). Brain oscillations in neuropsychiatric disease. *Dialogues in clinical neuroscience*, 15(3), 291. <https://doi.org/10.31887/dcns.2013.15.3/ebasar>
- Begemann, K., Neumann, A. M., y Oster, H. (2020). Regulation and function of extra-SCN circadian oscillators in the brain. *Acta Physiologica*, 229(1), e13446.
<https://doi.org/10.1111/apha.13446>
- Belsky, J., Jonassaint, C., Pluess, M., Stanton, M., Brummett, B., y Williams, R. (2009). Vulnerability genes or plasticity genes?. *Molecular psychiatry*, 14(8), 746-754.
10.1038/mp.2009.44
- Berman, M. G., Stier, A. J., & Akcelik, G. N. (2019). Environmental neuroscience. *American Psychologist*, 74(9), 1039. <https://doi.org/10.1037/amp0000583>
- Berrazaga, I., Micard, V., Gueugneau, M., y Walrand, S. (2019). The role of the anabolic properties of plant-versus animal-based protein sources in supporting muscle mass maintenance: a critical review. *Nutrients*, 11(8), 1825.
<https://doi.org/10.3390/nu11081825>

- Bhattacharya, A., Pal, B., Mukherjee, S., y Roy, S. K. (2019). Assessment of nutritional status using anthropometric variables by multivariate analysis. *BMC public health*, 19(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7372-2>
- Biasiucci, A., Franceschiello, B., y Murray, M. M. (2019). Electroencephalography. *Current Biology*, 29(3), R80-R85. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.11.052>
- Bolhuis, J. J., Brown, G. R., Richardson, R. C., y Laland, K. N. (2011). Darwin in mind: New opportunities for evolutionary psychology. *PLoS biology*, 9(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001109>
- Breakspear, M. (2017). Dynamic models of large-scale brain activity. *Nature neuroscience*, 20(3), 340-352. <https://doi.org/10.1038/nn.4497>
- Brown, J. L., y Pollitt, E. (1996). Malnutrition, poverty and intellectual development. *Scientific American*, 274(2), 38-43. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0296-38>
- Brust-Carmona, H., Galicia-Alvarado, M., Alfaro Belmont, J., Sánchez Quezada, A., Cantillo-Negrete, J., y Yáñez Suarez, O. (2016). Evolución de la potencia absoluta, relativa e índices de ritmos electroencefalográficos en estudiantes de primaria, licenciatura y maestría. *Salud mental*, 39(1), 25-35. <https://doi.org/10.17711/sm.0185-3325.2015.065>
- Buzsaki, G. (2006). *Rhythms of the Brain*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195301069.001.0001>
- Cassani, R., Estarellas, M., San-Martin, R., Fraga, F. J., y Falk, T. H. (2018). Systematic review on resting-state EEG for Alzheimer's disease diagnosis and progression assessment. *Disease markers*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5174815>.

- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2019). *La pobreza en la población indígena de México 2008-2018*.
https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/Pobreza_Poblacion_indigena_2008-2018.pdf
- Días-Baquero, A. A., y Camelo-Roa, S. M. (2019). Actividad eléctrica cerebral de la atención en adolescentes policonsumidores por medio de un equipo de Brain Control Interface (BCI). *Acta Colomb Psicol*, 22(1), 175-88.
<https://doi.org/10.14718/acp.2019.22.1.9>
- Díaz, H., Cid, F. M., Otárola, J., Rojas, R., Alarcón, O., & Cañete, L. (2019). EEG Beta band frequency domain evaluation for assessing stress and anxiety in resting, eyes closed, basal conditions. *Procedia Computer Science*, 162, 974-981.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.075>
- Downs, C. T., Awuah, A., Jordaan, M., Magagula, L., Mkhize, T., Paine, C., ... y Hart, L. A. (2015). Too hot to sleep? Sleep behaviour and surface body temperature of Wahlberg's epauletted fruit bat. *PloS one*, 10(3).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119419>
- Duarte Ardila, D. P., & Merchan Valencia, A. (2019). El neurodesarrollo y sus periodos sensibles en el preescolar. *Politécnico Grancolombiano*, Psicología (181).
<http://hdl.handle.net/10823/1428>
- Ekhtiari, H., y Paulus, M. (2016). *Neuroscience for Addiction Medicine: From Prevention to Rehabilitation-Methods and Interventions*. Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(15\)x0010-0](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(15)x0010-0)

- Faiman, I., Smith, S., Hodsoll, J., Young, A. H., y Shotbolt, P. (2021). Resting-state EEG for the diagnosis of idiopathic epilepsy and psychogenic nonepileptic seizures: A systematic review. *Epilepsy & Behavior*, *121*, 108047.
<https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2021.108047>
- Finnigan, S., y Robertson, I. H. (2011). Resting EEG theta power correlates with cognitive performance in healthy older adults. *Psychophysiology*, *48*(8), 1083-1087.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01173.x>
- Fischer, A. (2016). Environmental enrichment as a method to improve cognitive function. What can we learn from animal models?. *Neuroimage*, *131*, 42-47.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.039>
- Fitzgibbon, S. P., Pope, K. J., Mackenzie, L., Clark, C. R., y Willoughby, J. O. (2004). Cognitive tasks augment gamma EEG power. *Clinical Neurophysiology*, *115*(8), 1802-1809. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.03.009>
- Georgieff, M. K. (2007). Nutrition and the developing brain: nutrient priorities and measurement. *The American journal of clinical nutrition*, *85*(2), 614S-620S.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/85.2.614S>
- Gómez L. (2016). *Análisis de señales EEG para detección de eventos oculares, musculares y cognitivos*. (Tesis para Máster, Universidad Politécnica de Madrid) Archivo digital UPM. <https://oa.upm.es/44379/>
- Giussani, P., Prinetti, A., y Tringali, C. (2021). The role of Sphingolipids in myelination and myelin stability and their involvement in childhood and adult demyelinating disorders. *Journal of neurochemistry*, *156*(4), 403-414.
<https://doi.org/10.1111/jnc.15133>

- Harmony, T., Hinojosa, G., Marosi, E., Becker, J., Rodriguez, M., Reyes, A., y Rocha, C. (1990). Correlation between EEG spectral parameters and an educational evaluation. *International Journal of Neuroscience*, 54(1-2), 147-155. <https://doi.org/10.3109/00207459008986630>
- Hernández Ramírez, J. C., y Ortega Canto, J. E. (2016). El perfil general del excedente nutrimental en México en el periodo 1990-2013: un enfoque a partir del suministro energético de macronutrientes y grupos de alimentos. *Salud colectiva*, 12, 487-504. <https://doi.org/10.18294/sc.2016.925>
- Hosseini, E. (2021). Brain-to-brain communication: the possible role of brain electromagnetic fields (As a Potential Hypothesis). *Heliyon*, 7(3), e06363. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06363>
- Hudspeth, W. J., y Pribram, K. H. (1992). Psychophysiological indices of cerebral maturation. *International Journal of Psychophysiology*, 12(1), 19-29. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(92\)90039-e](https://doi.org/10.1016/0167-8760(92)90039-e)
- Hussain, G., Wang, J., Rasul, A., Anwar, H., Imran, A., Qasim, M., ... y Sun, T. (2019). Role of cholesterol and sphingolipids in brain development and neurological diseases. *Lipids in health and disease*, 18(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0965-z>
- Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. (2017). *Indicadores Socioeconómicos de los Pueblos Indígenas de México, 2015*. <https://www.gob.mx/inpi/articulos/indicadores-socioeconomicos-de-los-pueblos-indigenas-de-mexico-2015-116128>
- Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. (2020). *Atlas de los pueblos indígenas de México*. <http://atlas.inpi.gob.mx/tlapanecosetnografia/#:~:text=Los%20me'phaa%-20se%20asentaron,en%20Yopitzingo%2C%20conocidos%20como%20yopes.>

- Kar, B. R., Rao, S. L., y Chandramouli, B. A. (2008). Cognitive development in children with chronic protein energy malnutrition. *Behavioral and Brain Functions*, 4(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-4-31>
- Keitel, C., Quigley, C., y Ruhnu, P. (2014). Stimulus-driven brain oscillations in the alpha range: entrainment of intrinsic rhythms or frequency-following response? *Journal of Neuroscience*, 34(31), 10137-10140. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1904-14.2014>
- Kelly, T. K., Ahmadiantehrani, S., Blattler, A., & London, S. E. (2018). Epigenetic regulation of transcriptional plasticity associated with developmental song learning. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1878). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0160>
- Kirschstein, T., y Köhling, R. (2009). What is the source of the EEG?. *Clinical EEG and neuroscience*, 40(3), 146-149. <https://doi.org/10.1177/155005940904000305>
- Knyazev, G. G., Savostyanov, A. N., Volf, N. V., Liou, M., y Bocharov, A. V. (2012). EEG correlates of spontaneous self-referential thoughts: a cross-cultural study. *International Journal of Psychophysiology*, 86(2), 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.09.002>
- Kolb, B., y Gibb, R. (2011). Brain plasticity and behaviour in the developing brain. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 20(4), 265. ISSN: 2293-6122 (Electronic)
- Laughlin, R. B., y Pines, D. (2000). The theory of everything. *Proceedings of the national academy of sciences*, 97(1), 28-31. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.1.28>

- Lefkowitz, W., Lim, S. Y., Lin, Y., y Salem, N. (2005). Where does the developing brain obtain its docosahexaenoic acid? Relative contributions of dietary α -linolenic acid, docosahexaenoic acid, and body stores in the developing rat. *Pediatric research*, 57(1), 157-165. <https://doi.org/10.1203/01.pdr.0000147572.57627.ae>
- Lende, D. H., y Downey, G. (2020). *Neuroanthropological perspectives on culture, mind, and brain*. In *Culture, mind, and brain: emerging concepts, models, and applications* (pp. 277-299). Cambridge University Press (CUP).
<https://doi.org/10.1017/9781108695374.014>
- Lipina, S. J., y Segretin, M. S. (2019). Implicancias de la evidencia neurocientífica en el estudio de la pobreza infantil. En Lipina, S. J., y Segretin, M. S. (Eds.), *Exploraciones neurocientíficas de la pobreza* (pp. 14-52). Ettore Majorana Foundation and Center for Scientific Culture. ISBN: 978-987-86-2055-8
- López Callejo, P. (2019). *Análisis de artefactos oculares en electroencefalogramas mediante wavelets*. (Proyecto fin de carrera/grado, Universidad Politécnica de Madrid) Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/56803/>
- Pérez-Lizaur, A. B., Palacios González, B., Castro Becerra, A. L., y Flores Galicia, I. (2014). *Sistema mexicano de alimentos equivalentes* (4ª ed.). Fomento de Nutrición y Salud, AC México. ISBN 9786070079283
- Marcus, J. B. (2013). *Culinary nutrition: the science and practice of healthy cooking*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-68663-9>
- Markham, J. A., & Greenough, W. T. (2004). Experience-driven brain plasticity: beyond the synapse. *Neuron glia biology*, 1(4), 351-363.
<https://doi.org/10.1017/s1740925x05000219>

- McKenna, T. M., McMullen, T. A., y Shlesinger, M. F. (1994). The brain as a dynamic physical system. *Neuroscience*, 60(3), 587-605. [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(94\)90489-8](https://doi.org/10.1016/0306-4522(94)90489-8)
- Méndez Ramírez, I. (1984). *El protocolo de investigación: lineamientos para su elaboración y análisis*. Trillas. ISBN: 9789682441004
- Miller, R. (2007). Theory of the normal waking EEG: from single neurones to waveforms in the alpha, beta and gamma frequency ranges. *International journal of psychophysiology*, 64(1), 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2006.07.009>
- Moini, J., y Piran, P. (2020). *Functional And Clinical Neuroanatomy: A Guide for Health Care Professionals*. Academic Press.
<https://doi.org/10.1080/23279095.2021.1880716>
- Morales Hernández, R. (2015). Análisis regional de la marginación en el estado de Guerrero, México. *Papeles de población*, 21(84), 251-274. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11239488010>
- Morillo, L. E. (2008). Análisis visual del electroencefalograma. En R. Gomez, B. Hernandez, U. Rojas, O. Santacruz, y R. Uribe (Eds.), *Psiquiatría Clínica: diagnóstico en niños, adolescentes y adultos* 3ra. edición (pp. 143-163). Editorial médica Panamericana. ISBN: 9789588443768
- Moss, E. M., Davidson, R. J., y Saron, C. (1985). Cross-cultural differences in hemisphericity: EEG asymmetry discriminates between Japanese and Westerners. *Neuropsychologia*, 23(1), 131-135. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(85\)90054-5](https://doi.org/10.1016/0028-3932(85)90054-5)
- Müller, C. P., Reichel, M., Mühle, C., Rhein, C., Gulbins, E., y Kornhuber, J. (2015) Brain membrane lipids in major depression and anxiety disorders. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1851(8), 1052-1065.

<https://doi.org/10.1016/j.bbaliip.2014.12.014>

Naranjo, Y. J. (2011). Exclusión, asimilación, integración, pluralismo cultural y “modernización” en el sistema educativo mexicano: un acercamiento histórico a las escuelas de educación pública para indígenas. *CPU-e, Revista de Investigación Educativa*, (12), 1-24. <https://doi.org/10.25009/cpue.v0i12.46>

Newson, J. J., y Thiagarajan, T. C. (2019). EEG frequency bands in psychiatric disorders: a review of resting state studies. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 521.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00521>

Novo, C., Guerrero, L., y Bribiesca, J. (2010). Mapeo electroencefalográfico y neurofeedback. En Perez, M., Silva, M., Contretras, A., Hernández, M., Binilla H. (Eds.), *Aproximaciones al estudio de la neurociencia del comportamiento* (pp. 371-412). Universidad Autónoma de Guerrero

Olejniczak, P. (2006). Neurophysiologic basis of EEG. *Journal of clinical neurophysiology*, 23(3), 186-189.

<https://doi.org/10.1097/01.wnp.0000220079.61973.6c>

Pchitskaya, E., y Bezprozvanny, I. (2020). Dendritic spines shape analysis—Classification or clusterization? Perspective. *Frontiers in synaptic neuroscience*, 30;12:31.

<https://doi.org/10.3389/fnsyn.2020.00031>

Pérez, N. V. (2016). Meanings of waves: Electroencephalography and society in Mexico City, 1940–1950. *Science in Context*, 29(4), 451-472.

<https://doi.org/10.1017/s0269889716000223>

Philippu, A. (2019). Neurotransmitters are released in brain areas according to ultradian rhythms: Coincidence with ultradian oscillations of EEG waves. *Journal of chemical neuroanatomy*, 96, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2018.12.007>

- Poitelon, Y., Kopec, A. M., y Belin, S. (2020). Myelin fat facts: an overview of lipids and fatty acid metabolism. *Cells*, 9(4), 812. <https://doi.org/10.3390/cells9040812>
- Posner, M. I., y Rothbart, M. K. (2005). Influencing brain networks: implications for education. *Trends in cognitive sciences*, 9(3), 99-103.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.01.007>
- Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. M., y Alonso, M. T. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. *Anales del sistema sanitario de Navarra* 32, 69-82. <https://doi.org/10.4321/s1137-66272009000600006>
- Ríos-Flórez, J. A. y Cardona-Agudelo, V. (2016). Procesos de aprendizaje en niños de 6 a 10 años de edad con antecedente de nacimiento prematuro. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 14 (2), pp. 1071-1085.
<https://doi.org/10.11600/1692715x.14213241115>
- Saby, J. N., y Marshall, P. J. (2012). The utility of EEG band power analysis in the study of infancy and early childhood. *Developmental neuropsychology*, 37(3), 253-273.
<https://doi.org/10.1080/87565641.2011.614663>
- Sánchez-Quinto, A., Cerqueda-García, D., Falcón, L. I., Gaona, O., Martínez-Correa, S., y Nieto, J. (2020). Gut microbiome in children from indigenous and urban communities in México: Different subsistence models, different microbiomes. *Microorganisms*, 8(10), 1592. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101592>
- Sánchez, P. O., Delgado, F. M., Mas, L. A., Rodríguez, P. R., Gandía Benetó, R., y de Desarrollo Cognitivo, R. C. C. (2018). Estudio aleatorizado controlado de la coherencia interhemisférica del electroencefalograma tras terapia asistida con

- delfines en niños con trastorno del espectro autista. *Revista de neurología*, 66(1), 65-70. <https://doi.org/10.33588/rn.66s01.2017537>
- Sanjuán, M. A. F. (2016). Dinámica No Lineal, Teoría del Caos y Sistemas Complejos: una perspectiva histórica. *Rev R Acad Cienc Exact Fís Nat (Esp)*, 109(1–2), 107-126.
- Sarmiento-Silva, Sergio (2001). *Tlapanecos de Guerrero*. Proyecto Perfiles Indígenas de México, Documento de trabajo.
- <https://www.aacademica.org/salomon.nahmad.sitton/58>
- Simon, J. C., Marchesi, J. R., Mougel, C., & Selosse, M. A. (2019). Host-microbiota interactions: from holobiont theory to analysis. *Microbiome*, 7(1), 1-5. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0619-4>
- Sistema de Información Cultural (SIC) (2019). *Pueblos indígenas*. https://sic.cultura.gob.mx/ficha.php?table=grupo_etnico&table_id=37
- Solís-Vivanco, R., Jensen, O., y Bonnefond, M. (2018). Top-down control of alpha phase adjustment in anticipation of temporally predictable visual stimuli. *Journal of cognitive neuroscience*, 30(8), 1157-1169. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01280
- Steiner, P. (2019). Brain fuel utilization in the developing brain. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 75(1), 8-18. <https://doi.org/10.1159/000508054>
- Stiles, J., y Jernigan, T. L. (2010). The basics of brain development. *Neuropsychology review*, 20(4), 327-348. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780195389944.003.0002>
- Talamillo, T. (2011). Manual básico para enfermeros en electroencefalografía. *Enfermería docente*, 94, 29-33.
- Téllez, Y., Ruiz, L., Velázquez, M., y López, J. (2013). Presencia indígena, marginación y condición de ubicación geográfica. En M. Márquez, M. Muñoz y V. Muñoz (Eds.),

- La situación demográfica de México 2013* (pp. 125-140). CONAPO. ISBN: 978-607-427-174-4
- Toga, A. W. (2015). *Brain mapping: An encyclopedic reference*. Academic Press. ISBN: 0123973163 9780123973160
- Toppi, J., Borghini, G., Petti, M., He, E. J., De Giusti, V., He, B., ... y Babiloni, F. (2016). Investigating cooperative behavior in ecological settings: an EEG hyperscanning study. *PloS one*, *11*(4), e0154236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154236>
- Van Drongelen, W. (2018). *Signal processing for neuroscientists: an introduction to the analysis of physiological signals*. Academic press. ISBN: 9780128104835
- Vargas, R. R. (2007). Exclusión, marginación y desarrollo de los pueblos indígenas. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, *3*(3), 693-706. <https://doi.org/10.35197/rx.03.03.2007.12.rr>
- Wang, J., Barstein, J., Ethridge, L. E., Mosconi, M. W., Takarae, Y., y Sweeney, J. A. (2013). Resting state EEG abnormalities in autism spectrum disorders. *Journal of neurodevelopmental disorders*, *5*(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/1866-1955-5-24>
- Winter, B. (2013). Linear models and linear mixed effects models in R with linguistic applications. *arXiv preprint arXiv:1308.5499*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1308.5499>
- Xiao, R., Shida-Tokeshi, J., Vanderbilt, D. L., y Smith, B. A. (2018). Electroencephalography power and coherence changes with age and motor skill development across the first half year of life. *PloS one*, *13*(1), e0190276. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190276>
- Yokota, Y., Tanaka, S., Miyamoto, A., & Naruse, Y. (2017). Estimation of human workload from the auditory steady-state response recorded via a wearable

electroencephalography system during walking. *Frontiers in human neuroscience*, *11*, 314. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00314>

Anexo I. Cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos

NOMBRE _____ . NOMBRE DE LA MADRE _____

CÓDIGO _____ . FECHA _____ .

INSTRUCCIONES: A continuación, se presenta una lista de alimentos, de las cuales usted deberá colocar en la casilla correspondiente la frecuencia de veces a la semana y veces al día en que consume su hijo consume cada uno de los alimentos, tomando en cuenta la porción que se especifica.

INSTRUCCIONES PARA EL APLICADOR: Si usted aplicará el cuestionario a otra persona, debe hacer la pregunta ¿Cuántos días a la semana su hijo come o toma (la porción del alimento especificada)? ¿Cuántas veces al día? Y colocar la respuesta en la casilla correspondiente.

Alimento	Porción	Días de la semana ¿Cuántos días comió o tomó usted?	Veces al día ¿Cuántas veces al día comió o tomó usted?
Leche	1 vaso (240ml)		
Yogur	1 envase (150g)		
Naranja o mandarina	1 pieza mediana		
Plátano	1 pieza mediana		
Manzana o pera	1 pieza mediana		
Melón o sandía	1 pieza mediana		
Guayaba	1 pieza mediana		
Papaya	1 rebanada mediana		
Fresa	1 taza (140g)		
Jitomate	½ pieza chica (30g)		
Hojas verdes (acelgas, espinacas, quelites)	½ plato (85 g) cocidas o 1 plato crudas		
Aguacate	1 rebanada (33g)		
Zanahoria	1 pieza chica (50g)		

Brócoli	¼ taza		
Elote	½ pieza chica (50g)		
Nopales	1 pieza mediana (70g)		
Chile	1 pieza mediana (80g)		
Cebolla	1 cucharada sopera (7g)		
Carne de puerco	1 bistec chico (55g)		
Carne de res	1 bistec chico (55g)		
Pollo	1 pieza (90g)		
Huevo	1 pieza entera (62g)		
Pescado	½ filete mediano (45g)		
Frijoles de la olla	½ plato (50g)		
Lenteja, garbanzo, haba, alubias	½ plato (50g)		
Arroz	1 taza (100g)		
Papa	½ taza mediana cocida (40g)		
Tamal	1 pieza (200g)		
Atole de maíz	1 taza (240ml)		
Refresco	1 vaso (240ml)		
Jugos naturales	1 vaso (240ml)		

Dulces	1 pieza (30g)		
Frituras	1 paquete individual (35g)		
Caldo de pollo	½ taza (120ml)		
Azúcar	1 cucharada sopera (10g)		
Manteca animal	1 cucharada sopera (10g)		
Sal			
Tortilla (gr)			
Tortilla hecha en casa (gr)			

INSTRUCCIONES: Responda las siguientes preguntas acerca de su embarazo y primeros años de vida de su hijo o hija.

¿Hay algún alimento que usted consuma con frecuencia y no se encuentre en la lista? Especifique el alimento y la porción que consume.

_____.

¿Cuántas veces a la semana lo consume?_____.

¿Cuántas veces al día?_____.

Tiempo de lactancia (especifique meses o años)_____. Tiempo de gestación (meses)_____.

Tipo de nacimiento_____.

¿Consumió algún suplemento durante el embarazo?_____. Especifique la cantidad y frecuencia

_____.

¿Su hijo consumió algún suplemento alimenticio durante los primeros años de vida?_____.

ANEXO II. Tabla de medidas antropométricas.

NOMBRE DE LA MADRE _____ . NOMBRE _____ .

CÓDIGO _____ . FECHA _____ .

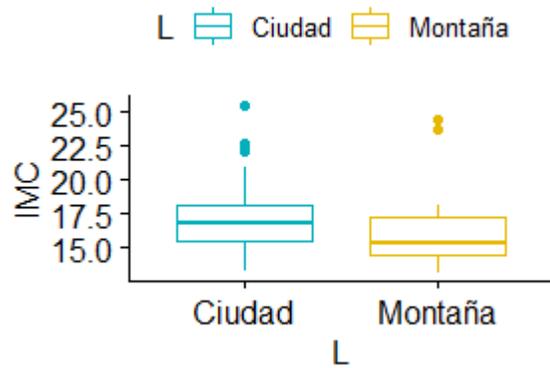
INSTRUCCIONES: Se tomarán las medidas antropométricas y se anotarán en la casilla correspondiente. El perímetro cefálico y perímetro del brazo se tomarán 3 veces y se obtendrá un promedio de estas medidas.

Peso			
Estatura			
	Medida 1	Medida 2	Medida 3
Perímetro o Cefálico			
Perímetro del Brazo			

Anexo III. Otras mediciones antropométricas (IMC, PB, PCE)

IMC

Comparación del índice de masa corporal (IMC) entre niños de la montaña y niños de la ciudad.

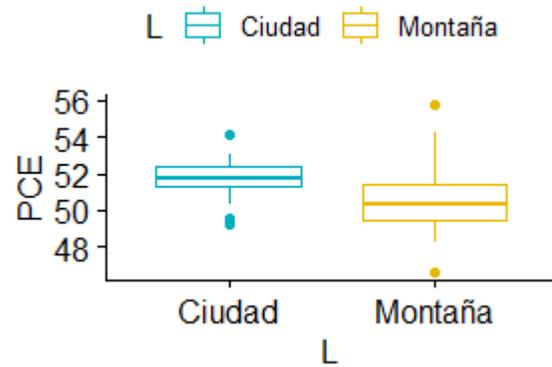


$p= 0.048$

(Media de 16.12 ± 2.41 para el grupo Me'phaa y 17.32 ± 2.74 para el grupo de ciudad).

PCE

Comparación del tamaño del perímetro cefálico (PCE) entre niños de la montaña y niños de la ciudad.

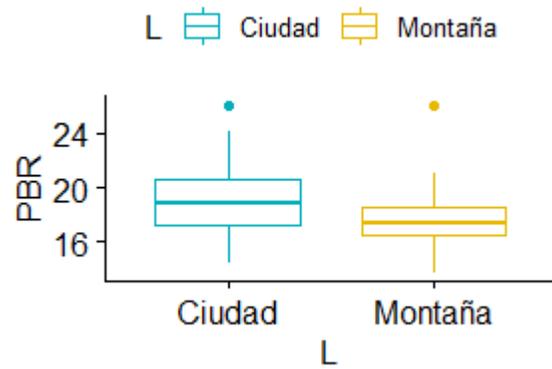


$p=0.01$

(Media de 50.68 ± 1.87 cm para el grupo Me'phaa y 51.72 ± 8.8 cm para el grupo de ciudad).

PBR

Comparación del perímetro braquial (PBR) entre niños de la montaña y niños de la ciudad.



$p = 0.03$

(Media de 17.83 ± 2.23 cm para el grupo Me'phaa y 19.2 ± 2.65 cm para el grupo de ciudad).