

Electroencefalografía y seguimiento de mirada: Dos técnicas para evaluar la adquisición de la lengua materna en niños pequeños

Electroencephalography and Eye-Tracking: Two Techniques Used to Measure Early Speech and Language Acquisition in Infants

Cristina Jara

PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE
CHILE
cristinajarag@uc.cl

Cristóbal Moënné-Loccoz

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
CHILE
cmmoenne@uc.cl

Marcela Peña

PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE
CHILE
mpenag@uc.cl

Recibido: 21-VI-2022 / **Aceptado:** 07-XI-2022

DOI: 10.4067/S0718-09342022000300902

Resumen

Los primeros años de vida de los seres humanos son fundacionales para el desarrollo de habilidades cognitivas en etapas posteriores. Una de estas habilidades es la adquisición de la lengua materna, la cual comienza antes del nacimiento. No obstante su importancia, explorar los mecanismos que subyacen a este proceso de adquisición solo con métodos conductuales resulta muy limitado, en parte porque la producción del lenguaje de los infantes no guarda relación con sus competencias perceptuales y sus aprendizajes acerca de su lengua materna. Para investigar en edades tempranas la adquisición del lenguaje resulta útil utilizar técnicas que nos permitan asociar algún tipo de medición con habilidades y aprendizajes lingüísticos. Para tales propósitos, se han utilizado numerosas técnicas, éticas y técnicamente apropiadas para niños pequeños, de las cuales destacan la electroencefalografía y el seguimiento de mirada. La electroencefalografía nos permite estudiar los correlatos neurales de las funciones cognitivas relacionadas al aprendizaje del lenguaje mediante el uso de estímulos sonoros y visuales. Por su parte, el seguimiento de mirada persigue el mismo objetivo, pero asociado a la conducta ocular de los infantes. En este artículo revisaremos los aspectos más relevantes a estas técnicas en estudios realizados con infantes a modo de introducir a investigadores que se están iniciando en el uso de este tipo de instrumentos en investigaciones con niños pequeños.

Palabras Clave: Técnicas, electroencefalografía, seguimiento de mirada, adquisición de la lengua materna, infantes.

Abstract

The first years of life are foundational for developing cognitive abilities at later stages. One of these skills is the acquisition of the native language, which begins before birth. Despite its importance, measuring the processes that underlie speech and language acquisition using only behavioral methods is remarkably limited since infants' production is not related to their perceptual skills or the competence of their native language. To investigate speech and language acquisition at early ages, it is helpful to use a set of techniques to relate an objective measure with language and learning skills. For such purposes, numerous ethically and technically appropriate techniques for young children have been used, by which electroencephalography and eye-tracking stand out. Electroencephalography allows us to study the neural correlates of cognitive functions related to language acquisition through sound and visual stimuli. In the case of eye-tracking, it pursues the same objective but is associated with infants' ocular behavior. This article will review the most relevant aspects of electroencephalography and eye-tracking in infants to introduce researchers who begin to use these techniques in the study of young children.

Keywords: Techniques, electroencephalography, eye-tracking, speech and language acquisition, infants.

INTRODUCCIÓN

El lenguaje es una de las funciones cognitivas más relevantes en el ser humano con un fuerte impacto en otras áreas del desarrollo durante toda la vida (Beard, 2018). El aprendizaje de la lengua materna comienza antes del nacimiento y existe consenso que su desarrollo se extiende hasta al menos la adolescencia (Gervain, 2015). El éxito en la adquisición de la lengua materna depende en gran parte de la exposición sistemática al habla y de la indemnidad de los procesos cerebrales que determinan la sensibilidad, adaptación y reorganización de las redes neurales lingüísticas durante el crecimiento. En efecto, durante las etapas tempranas del desarrollo existen períodos sensibles a la estimulación lingüística que optimizan los aprendizajes, aparentemente sin mayor esfuerzo (Werker & Hensch, 2015). En este contexto, adquirir una lengua (la lengua materna) es un proceso complejo que depende en parte de la oportunidad con que la estimulación externa es integrada en sistemas neurales y cognitivos particularmente sensibles a ella. Este proceso es altamente desconocido en la actualidad y se necesitan mayores investigaciones en el tema, ya que múltiples factores pueden alterarlo generando variadas trayectorias de desarrollo atípico que dificultan la comunicación, la lectura y el pensamiento en general.

No obstante a su importancia, el estudio de los mecanismos relacionados con el proceso de adquisición de la lengua materna durante los primeros años de vida presenta variados desafíos. Esto se debe a que no es posible medir estos procesos de forma directa y, además, el desempeño lingüístico de los infantes se relaciona indirectamente con sus competencias y conocimientos sobre su lengua materna (Ambridge & Rowland, 2013). Es por esto que con el fin de explorar los mecanismos

que subyacen al proceso de adquisición de la lengua materna, es necesario utilizar métodos experimentales y técnicas que nos permitan medir tales procesos, los cuales deben ser ética y técnicamente apropiados para este grupo etario.

Dos de las técnicas de exploración en neurociencias cognitivas del desarrollo más utilizadas en la infancia son la electroencefalografía y el seguimiento de mirada. Ambas técnicas, y sus protocolos, han sido usados en cientos de artículos que evalúan niños menores de 5 años, lo que les confiere una sólida base en datos empíricos, validándolas en la exploración de la cognición a nivel mundial. Ambas son no-invasivas, seguras, confortables, accesibles por su relativamente bajo costo, y son menos sensibles a artefactos generados por movimientos de los participantes, no requiriendo sedación o sistemas de inmovilización lo que permite evaluar niños y niñas con desarrollo típico y atípico.

El objetivo del presente artículo es entregar información sobre el uso de la electroencefalografía y el seguimiento de mirada para evaluar el proceso de adquisición de la lengua materna en infantes durante su primer año de vida.

1. Electroencefalografía

En el cerebro se generan distintas actividades eléctricas asociadas a las neuronas, las cuales al sumarse generan flujos eléctricos que pueden ser capturados por distintas herramientas. Entre ellas, la electroencefalografía es una técnica que permite medir potenciales de campo eléctrico generados por el cerebro, mediante electrodos posicionados sobre el cuero cabelludo (Cohen, 2017). La electroencefalografía es una técnica segura y no invasiva, la cual surge como una buena opción para la evaluación de infantes desde muy temprana edad, tanto en contextos clínicos como de investigación (De Haan, 2013). En la Figura 1 se presenta una ilustración de una situación experimental de registro de electroencefalografía y seguimiento de mirada en infantes.

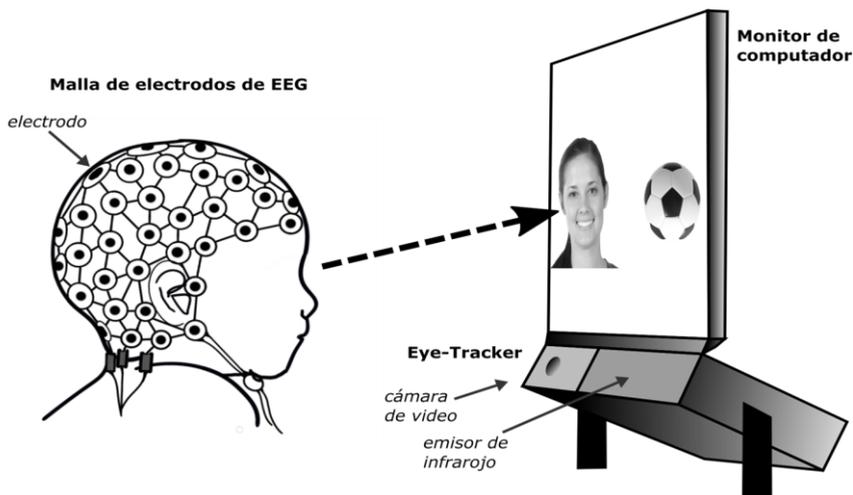


Figura 1. “Ilustración de un infante durante el co-registro con electroencefalograma y el seguimiento ocular”. La gran mayoría de las evaluaciones de electroencefalografía y seguimiento de mirada consisten en que el infante dirige su mirada (línea punteada) hacia estímulos visuales, que pueden ocurrir acompañados de estímulos auditivos. Naturalmente los infantes presentan una preferencia para dirigir su atención visual hacia ciertos estímulos por sobre otros, como es el caso de las caras y el habla. Bajo el monitor se posiciona el dispositivo de seguimiento de mirada (*Eye-Tracker*), el cual cuenta con una cámara de video y emisores de luz infrarroja (ver sección de Seguimiento de mirada para más detalles). La electroencefalografía se realiza mediante una malla de electrodos posicionados a nivel del cuero cabelludo del infante, representados en la figura como círculos con un punto negro en su interior.

Los equipos de medición de electroencefalografía se llaman electroencefalogramas (EEG), los cuales pueden variar según el fabricante y propósito. Dentro de las principales diferencias que se encuentran entre los diferentes equipos de electroencefalografía que encontramos en el mercado, nos encontramos con el tipo de electrodos utilizados por cada dispositivo. A grandes rasgos podemos encontrar equipos que utilizan electrodos activos o pasivos de tipo húmedos o secos (Laszlo, Ruiz-Blondet, Khalifian, Chu & Jin, 2014; Mathewson, Harrison & Kizuk, 2017). Los electrodos activos refieren al uso de preamplificadores en el electrodo para mejorar la relación señal a ruido antes de que la información sea digitalizada por el sistema de electroencefalografía, a diferencia de los pasivos que solo extienden el cuerpo del electrodo hasta el sistema de electroencefalografía. Por otro lado, los electrodos húmedos refieren al uso de un material que se usa como conductor (gel, pasta, o solución salina) entre el cuero cabelludo y el electrodo para mejorar la calidad de la señal, a diferencia de los secos que solo usan la fuerza mecánica para pegar el electrodo a la piel.

Las aplicaciones de uno u otro tienen ventajas en distintos escenarios experimentales y, en el caso de estudios realizados con infantes, lo ideal es contar con un sistema que sea seguro, cómodo y rápido de instalar. Para realizar la evaluación en niños pequeños, existen mallas elásticas de electrodos que se colocan como gorras que

fijan los electrodos a la cabeza utilizando la fuerza mecánica de la malla. Estas toman pocos minutos en ser instaladas si se cuenta con el debido entrenamiento, considerando que en general instalar un equipo de electroencefalografía requiere de una cantidad considerable de tiempo y competencias técnicas (Slipher, Hairston, Bradford, Bain & Mrozek, 2018). Estas mallas suelen utilizar electrodos pasivos del tipo húmedo o seco y, en el caso de los húmedos, suelen utilizar esponjas con una solución salina que se puede utilizar tibia tal que no produzca una incomodidad de temperatura al colocar la malla sobre la cabeza del infante. La única desventaja de este tipo de estrategia es que la solución salina se evapora en el tiempo, debilitando la conductancia de la señal, por lo que se recomienda hacer evaluaciones cortas o reaplicar la solución salina en cada electrodo con una pipeta sin retirar la malla de la cabeza del bebé (Noreika, Georgieva, Wass & Leong, 2020).

Otros aspectos importantes a considerar durante la instalación de un equipo de electroencefalografía son la impedancia y cantidad/localización de los electrodos. En términos generales, la impedancia se relaciona al impedimento del flujo de corriente entre el electrodo y el cuero cabelludo (Luck, 2014) y es importante puesto que la electricidad tiende a seguir el camino de menor resistencia. Esto quiere decir que para obtener una señal de buena calidad es deseable que la impedancia electrodo-cuero cabelludo sea baja para que la señal sea capturada de buena forma por el electrodo. En estudios realizados a adultos, algunos procedimientos para bajar la impedancia incluyen la limpieza con alcohol del cuero cabelludo, esto para remover la capa de células muertas de la piel las cuales son uno de los factores más importantes que aumentan la impedancia (Luck, 2014). No obstante, en niños pequeños el control de la impedancia se suele relacionar a la calidad del material conductor utilizado en los electrodos. Por ejemplo, la evaporación de la solución salina empeora la impedancia (Noreika et al., 2020), de ahí que se recomienda reaplicar la solución de ser necesario. Generalmente el *software* que incluye el fabricante del EEG muestra los valores de impedancia de cada electrodo, los cuales se revisan luego de la instalación de la malla o durante la realización del experimento para hacer los cambios necesarios (e.g., arreglar el cabello sobre el electrodo para facilitar el contacto electrodo-piel, aplicar el material conductor nuevamente, entre otros). Respecto a la cantidad de electrodos y su distribución, estos también podrían variar según el fabricante. No obstante, existen sistemas de localización estándar (e.g., el sistema 10 - 20 (Jasper, 1958)) que guardan relación con la distancia entre electrodos y localización de estos sobre la cabeza. Lo anterior hace posible comparar entre diferentes estudios la actividad del EEG observada. En cuanto a la cantidad de electrodos, el uso de mallas de electrodos con esponjas en infantes permite el uso de sistemas llamados de alta densidad (de 64, 128 o más electrodos) gracias a su rápida aplicación, lo que no sería posible o tolerado por el infante si se tuviera que aplicar el material conductor en cada uno de los electrodos por el tiempo que eso implica (Noreika et al., 2020). Por último, también hay que considerar que la anatomía de la cabeza de los infantes cambia rápidamente durante el

primer año de vida, lo que puede ser una consideración sobre la posición de los electrodos en estudios longitudinales (Noreika et al., 2020). Para esto es posible adquirir mallas desde el fabricante que son específicas para el tamaño de la cabeza del infante dependiendo de la edad del estudio.

Finalmente, al igual que otras técnicas de imágenes cerebrales, como es la Resonancia Magnética (RM) o la Magnetoencefalografía (MEG), la señal obtenida se puede caracterizar en referencia a una resolución temporal y espacial (Burle, Spieser, Roger, Casini, Hasbroucq & Vidal, 2015). En específico, la técnica de electroencefalografía destaca por su alta resolución temporal del orden de los milisegundos (Luck, 2014), mientras que se considera que su resolución espacial es baja, del orden de 3 a 9 centímetros (Parastarfeizabadi & Kouzani, 2017). Otras técnicas, como es la RM, sufren de una baja resolución temporal (del orden de segundos), mientras que su resolución espacial es alta (del orden de milímetros) (Luck, 2014). Así, lo importante es tener en cuenta que distintas herramientas pueden dar respuesta a distintas preguntas si conocemos sus ventajas y desventajas. Particularmente el EEG ofrece información detallada de las rápidas dinámicas neurales que ocurren a nivel de la corteza cerebral, durante una tarea específica.

1.1. ¿Qué es la señal del EEG?

Una parte de la señal obtenida con el EEG corresponde a la respuesta del cerebro asociada a la estimulación, sin embargo, otra parte de la señal proviene de otras fuentes conocidas como ruido y/o artefactos.

La señal del EEG captura los cambios en la intensidad de la actividad eléctrica de las neuronas del cerebro generada por la percepción (o procesamiento) de un estímulo. El ruido representa los cambios en la misma actividad cerebral generados por cualquier otro procesamiento cognitivo o biológico, por ejemplo, atención, sentimientos, actividad inconsciente, etc. A continuación, explicaremos en más detalle aspectos relacionados a la señal capturada por los electrodos (ya sea la generada por un estímulo particular u otros procesos cognitivos) y artefactos.

La señal es producida por los circuitos neurales que se encuentran a nivel de la corteza cerebral. Así, cuando un gran número de neuronas corticales produce una actividad sincrónica lo suficientemente grande y en la orientación correcta, esta puede ser capturada por los electrodos que se encuentran a nivel del cuero cabelludo (Roach & Mathalon, 2008). Como la naturaleza de este fenómeno es electromagnética, la orientación en la que ocurre la actividad neuronal es importante. Dado que la corteza cerebral se pliega cuando crece al interior del cráneo, generando surcos y circunvoluciones, la actividad neuronal promedio medida en cada electrodo resulta principalmente de la sumación o cancelación de actividad eléctrica que se genera en distintas direcciones, siendo lo más probable que la actividad observada a nivel del

EEG sea producto de neuronas alineadas de forma perpendicular al cuero cabelludo (Luck, 2014). Por lo tanto, las mediciones realizadas con el EEG entregan por un lado una vista parcial de los fenómenos que ocurren internamente en la corteza cerebral, pero a su vez informativa, ya que si la actividad no tuviera suficiente intensidad ni estuviera sincronizada, no se detectaría a nivel del cuero cabelludo (Roach & Mathalon, 2008).

Por otra parte, los artefactos observados durante el registro de electroencefalografía pueden tener diversas fuentes o causas, tanto de origen técnico como biológicas (Walls-Esquivel, Vecchierini, Héberlé & Wallois, 2007). Por ejemplo, de origen técnico encontramos la producida por otros dispositivos eléctricos o el ruido de la línea de corriente eléctrica (e.g., la que encontramos en los enchufes), por cambios en el material conductor de los electrodos húmedos (e.g., sequedad del gel conductor), entre otras; de origen biológico encontramos la actividad eléctrica no cerebral (e.g., actividad muscular asociada a movimientos, en especial movimientos oculares), actividad cardíaca, entre otras. Generalmente durante la etapa de análisis se tratan los artefactos mediante diferentes técnicas de procesamiento de señales. No obstante, es importante identificar sus fuentes para poder aplicar las medidas necesarias al momento del análisis.

En el caso de los registros realizados en infantes y los aspectos particulares de la señal y artefactos, la señal del EEG tiene características distintas en comparación a la señal obtenida en adultos. Esto se debe a que el sistema nervioso de los infantes se encuentra en un proceso de maduración, donde se están estableciendo dinámicas neurales mediante, por ejemplo, la poda neural, sinaptogénesis, mielinización de axones, entre otros (Bourel-Ponchel, Gueden, Hasaerts, Héberlé, Malfilâtre, Mony, Vignolo-Diard & Lamblin, 2021; Wallois, Routier, Héberlé, Mahmoudzadeh, Bourel-Ponchel & Moghimi, 2021). Así, por ejemplo, cuando se compara la actividad de infantes prematuros a los de término, se ha encontrado que la amplitud de la señal del EEG va disminuyendo así como el contenido oscilatorio de la frecuencia más dominante se desplaza a una frecuencia más alta (Bourel-Ponchel et al., 2021). En lo que respecta a artefactos, las fuentes son muy similares a las que se encuentran en otros tipos de registros de electroencefalografía. Particularmente, artefactos propios relacionados a infantes son por ejemplo la acción de succión, llorar, movimientos de las extremidades (a diferencia de los adultos donde se les puede solicitar estar quietos) (Noreika et al., 2020), como también artefactos propios del cuidador que está en todo momento con el niño durante la realización del estudio.

1.2. Protocolos de estudio y análisis en electroencefalografía durante la adquisición de la lengua materna en infantes

Los protocolos de estudio en electroencefalografía buscan exponer a los infantes a estimulaciones específicas que generen cambios en la actividad eléctrica del cerebro,

con el fin que se mantengan por un tiempo suficiente como para permitir calcular un cambio en la señal del EEG. Un ejemplo de un protocolo utilizado en infantes es el protocolo del tipo estimulación habituación/deshabitación (Dehaene-Lambertz & Dehaene, 1994). En este protocolo se expone al infante a la presentación de un mismo estímulo repetidas veces esperando que el sistema se habitúe para luego presentar un estímulo diferente con el fin de deshabituarlo.

Como los cambios en la señal del EEG que se producen por la estimulación del protocolo no siempre son observables a simple vista por la presencia de ruido en la señal, es que los protocolos utilizados están íntimamente relacionados a formas de análisis de señales del EEG. Dentro de los análisis más comunes a realizar en mediciones electroencefalografías en habla y lenguaje con infantes se encuentran los Potenciales Relacionados a Eventos (en inglés *Event-Related Potentials* o ERPs) y Tiempo-Frecuencia (en inglés *Time-Frequency analysis* o TF). Así, por ejemplo, el protocolo de habituación/deshabitación produce un ERP característico llamado negatividad de disparidad (en inglés, *mismatch negativity* o MMN)

A continuación, revisaremos en general el análisis de ERP y presentaremos el protocolo de habituación/deshabitación como ejemplo de protocolo que utiliza el análisis de ERP para obtener resultados. Además, presentaremos el análisis de TF así como ejemplos de protocolos que lo utilizan en estudios con infantes.

1.2.1. Potenciales Relacionados a Eventos y negatividad de disparidad

La amplitud de la señal de electroencefalograma asociada al procesamiento de un estímulo sensorial en particular (e.g., un sonido, imagen, etc.) es muy pequeña para ser observada al ojo desnudo, porque se despliega en conjunto con la actividad eléctrica cerebral generada por múltiples procesamientos cognitivos propios de la vida mental. Así, los protocolos de estimulación que buscan generar un ERP exponen repetidamente al participante a un estímulo específico, con el objetivo de obtener una respuesta para cada repetición y luego promediar esas respuestas. El promedio de estos eventos permite que los cambios de la actividad cerebral asociadas al procesamiento del estímulo, que es constante a través de las repeticiones, se distinga de la actividad cerebral azarosa generada por otros procesos cognitivos. En efecto, la actividad azarosa se atenúa a medida que aumenta el número de repeticiones permitiendo definir la forma, los tiempos, las amplitudes y otras características de la respuesta al estímulo. A este promedio se le conoce específicamente como los Potenciales Relacionados a Eventos y son el resultado del promedio de las respuestas neurales estereotipadas a un estímulo (Luck, 2014).

Dentro de los paradigmas experimentales empleados en estudios sobre adquisición del habla y lenguaje en infantes, los ERPs más utilizados en niños pequeños son la MMN para medir procesamiento sensorial auditivo, la componente

N400 para evaluar procesamiento semántico y la componente P600 para evaluar procesamiento sintáctico (Nelson & McCleery, 2008). Considerando que este artículo abarca el proceso de adquisición de la lengua materna a muy temprana edad nos enfocaremos en el componente MMN.

La MMN ha sido utilizada para evaluar la adquisición del lenguaje midiendo su amplitud durante la discriminación de los sonidos básicos del lenguaje (i.e., los fonemas) desde temprana edad. En adultos, la MMN es un componente negativo que se registra en los electrodos ubicados en la región centro-frontal, aproximadamente 175 milisegundos después de la presentación de un nuevo estímulo auditivo diferente al que se había sido habituado previamente (Nelson & McCleery, 2008). En niños, la MMN cambia de polaridad en función de la edad, y se le conoce como respuesta de disparidad (en inglés, *Mismatch Response* o MMR) (Figura 2). La MMR para los fonemas está presente desde el nacimiento (Dehaene-Lambertz & Peña, 2001) e incluso se observa en prematuros evaluados a las 29 semanas de gestación (Mahmoudzadeh et al., 2013).

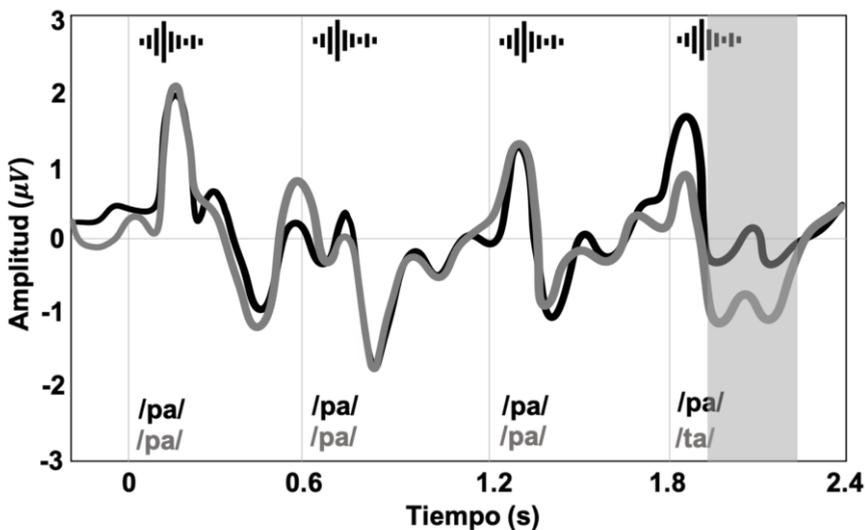


Figura 2. “Estructura de un ensayo que genera una MMR”. Representación del curso temporal de la MMR en infantes de 12 meses de edad durante la discriminación de fonemas (eje X tiempo en segundos, eje Y amplitud medida en microvolts). Cada ensayo está compuesto por 4 sonidos separados por un silencio. En todos los ensayos las 3 primeras sílabas son idénticas, lo que genera una habituación al sonido. A contrario, en la mitad de los ensayos la cuarta sílaba es idéntica (también llamado ensayo standard) mientras que en la otra mitad la cuarta sílaba cambia (ensayo desviado). Cada ícono de onda sonora representa el momento en el cual se emite cada sílaba durante un ensayo. La línea negra representa el promedio de la respuesta del cerebro a los ensayos standard, donde no hay cambio (e.g., cuatro sílabas iguales /pa/ - /pa/ - /pa/ - /pa/). Al contrario, la línea gris ilustra el promedio de la respuesta cerebral a los ensayos donde se detecta un cambio de fonema (presentación de tres primeras sílabas iguales y la cuarta diferente /pa/ - /pa/ - /pa/ - /ta/). El efecto MMN se aprecia a partir de los 1.8 segundos donde ambas curvas se separan (cuadro gris). Ilustración tomada de Peña et al. (2020).

La amplitud de la MMR durante la distinción de fonemas evaluada al nacer tiene un valor predictivo de dificultades de habla y lectura en niños que tienen el antecedente familiar de dislexia. Un estudio longitudinal en niños y niñas de familias con dislexia muestra que una MMR poco intensa al nacer se correlaciona positivamente con habla tardía a los 3 años (Lyytinen & Lyytinen, 2004), con menores habilidades para reconocer el nombre de las letras, el sonido de las letras, y la duración de los fonemas en *kindergarten*, y con menores habilidades lectoras y de escritura en la edad escolar (Leppänen, Hämäläinen, Guttorm, Eklund, Salminen, Tanskanen, Torppa, Puolakano, Richardson, Pennala & Lyytinen, 2012).

La MMR también se ha utilizado para evaluar el aprendizaje del repertorio de fonemas de la lengua materna que se logra durante el primer año de vida. Al nacer niños y niñas distinguen todos los contrastes fonéticos que existen (e.g., Werker & Tees, 1984), independientemente del lenguaje que se hable en el ambiente en que el infante crece. Sin embargo, los fonemas de cada lengua, que corresponden a aquellos que permiten diferenciar dos palabras, constituyen un limitado repertorio de sonidos. Evaluado con métodos conductuales, se ha demostrado que este aprendizaje del repertorio de fonemas nativos alcanza un importante nivel de logro hacia los 6 meses para las vocales (Kuhl, 1991) y hacia el final del primer año para las consonantes (Werker & Tees, 1984). El análisis de la MMR también se ha usado para medir la habilidad de los infantes para formar este repertorio y desarrollar mayor sensibilidad a los que les servirán para distinguir palabras de su lengua materna. La MMR tiene mayor amplitud para distinguir las consonantes de la lengua materna a los 12 meses en niñas y niños sanos (Rivera-Gaxiola, Silva-Pereyra & Kuhl, 2005; Peña, Werker & Dehaene-Lambertz, 2012), en nacidos prematuros (Peña et al., 2012) y niños y niñas que han presentado alguna patología médica a temprana edad (Peña, Jara, Flores, Hoyos-Bachiloglou, Iturriaga, Medina, Carcey, Espinoza, Bohmwald, Kalergis & Borzutzky, 2020).

1.2.2. Análisis tiempo-frecuencia

Así como en nuestro cuerpo observamos fenómenos que ocurren a distintas frecuencias, por ejemplo la cantidad de veces que respiramos o la cantidad de latidos cardíacos que ocurren en una ventana de tiempo, en el cerebro también ocurren fenómenos dependientes de frecuencias los cuales se asocian a distintas funciones cognitivas o estados mentales (Cannon, McCarthy, Lee, Lee, Börgers, Whittington & Kopell, 2014). En efecto, la actividad eléctrica de la señal del EEG está dominada por ritmos que se agrupan en frecuencias características (Cohen, 2017).

La frecuencia es una medida de cuánto se repite un fenómeno en el tiempo y se mide en Hercios (en inglés Hertz, Hz) en referencia a la repetición durante 1 segundo. Por ejemplo, un ritmo común en el EEG es Alfa, el cual se encuentra aproximadamente en el rango de frecuencias de 8 a 12 Hz y se asocia a fenómenos

atencionales. Por lo tanto, en promedio ocurren 10 oscilaciones de Alfa en 1 segundo. Además, estas ondas de frecuencias específicas a su vez pueden ser caracterizadas por su magnitud (generalmente expresada como poder y relacionada a la amplitud) y fase en el tiempo (Biasiucci, Franceschiello & Murray, 2019). Por lo tanto, los ritmos no son ondas constantes en el tiempo, sino que varían en amplitud (i.e., el tamaño de la onda) y fase (i.e., la fracción del ciclo recorrido antes que se vuelva a repetir) a través del tiempo. Así, el registro de la señal del EEG en cada electrodo puede ser descompuestas en señales de distintas frecuencias las cuales a su vez pueden ser analizadas en conjunto o por separado (ver Figura 3 para un ejemplo en una señal ficticia). A este tipo de análisis se le conoce como análisis de Tiempo-Frecuencia (TF).

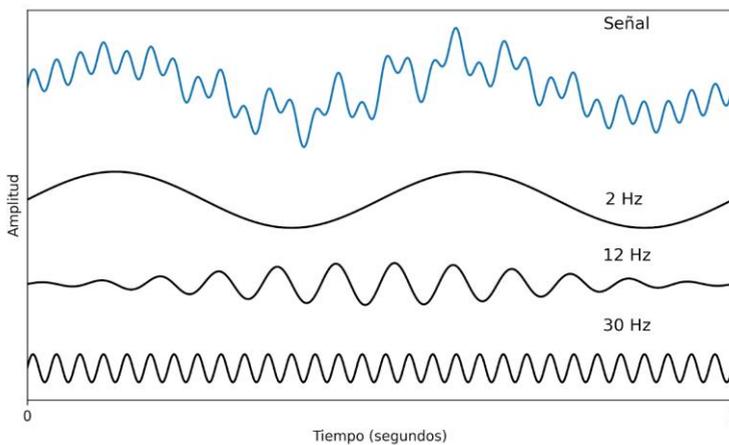


Figura 3. “Ejemplo de descomposición de frecuencias de una señal”. En el eje Y de la figura se representa la amplitud de una señal hipotética (en azul) y su descomposición en distintas frecuencias (en negro y desde arriba hacia abajo 2 Hz, 12 Hz y 30 Hz). El eje X muestra 1 segundo de tiempo. La frecuencia en Hertz (Hz) guarda relación con la repetición en 1 segundo. Así, contar el número de crestas de la señal en 1 segundo nos puede dar una idea de la frecuencia en Hz. Por ejemplo, a 2 Hz apreciamos 2 crestas en 1 segundo. Por otro lado, la amplitud corresponde al cambio de voltaje (generalmente medido en microvoltios) en el tiempo y la fase guarda relación con la ubicación en el tiempo (por ejemplo si las crestas ocurren a otro tiempo es debido a un cambio de fase). En el cerebro podemos encontrar, por ejemplo, que un fenómeno que ocurre a 5 Hz se puede relacionar a la frecuencia de las sílabas cuando le hablamos a los niños (Goswami, 2022), 10 Hz se relaciona a fenómenos atencionales (Klimesch, 2012) y 40 Hz a la vinculación perceptual (Csibra, Davis, Spratling & Johnson, 2000). Notar que lo anterior podría ocurrir en un rango de frecuencias (i.e., no solo a una frecuencia específica), en una región del cerebro (e.g., en electrodos frontales, occipitales, etc.) y relacionado a la tarea particular que se está realizando.

La matemática detrás de las técnicas de TF escapan a este artículo, no obstante, para conocer una de sus aplicaciones revisaremos ejemplos de protocolos que utilizan análisis de TF en infantes durante su primer año de vida.

En Choi, Batterink, Black, Paller y Werker (2020), los investigadores proponen estudiar el acople rítmico entre las oscilaciones neurales del EEG y la estructura de sílabas y palabras de estímulos sonoros en infantes sanos de 5 meses de edad. Naturalmente, para poder responder a ese tipo de pregunta es necesario descomponer la señal del EEG en diferentes frecuencias mediante un análisis de TF. Una vez descompuesta la señal y dado que el interés se encuentra en el acople, es decir, en la relación de fase entre alguna frecuencia particular de la señal del EEG y la fase de la estructura de sílabas o palabras, el foco del análisis se centra en las fases de la descomposición TF. A través de esto, los investigadores concluyen que a medida que los infantes aprenden las palabras que componen un estímulo sonoro, el acople rítmico se va incrementando desde la frecuencia en la que ocurren las sílabas a la frecuencia que ocurren las palabras.

En Peña, Pittaluga y Mehler (2010), los investigadores basándose en el poder de la banda Gama, un ritmo de alta frecuencia (> 20 Hz) asociado a la vinculación perceptual (en inglés, *perceptual binding*), exploraron la diferencia entre infantes nacidos prematuros y nacidos de término, en una tarea de discriminación de la lengua materna de dos lenguas extranjeras, una rítmicamente similar y otra rítmicamente diferente. En este estudio, el análisis de TF permitió extraer la banda de frecuencias de interés y comparar el poder de la banda entre nacidos de término y prematuros mientras escuchaban frases en la lengua materna y lenguas extranjeras. A través de estos análisis los investigadores concluyeron que, en los infantes prematuros, es el nivel de maduración neural y no el tiempo de exposición a la lengua materna el factor clave para avanzar en la adquisición de la lengua materna.

Finalmente, ambos ejemplos aquí expuestos demuestran que el análisis de TF es una herramienta indispensable para responder preguntas cuyas hipótesis incluyen aspectos oscilatorios de las señales cerebrales, como son la fase y el poder de frecuencias o rangos de frecuencias específicos.

2. Técnica de seguimiento de mirada

El estudio de la mirada de los infantes como una puerta hacia sus habilidades mentales ha intrigado enormemente a muchos investigadores por décadas (Oakes, 2012). Basándose en los patrones de la conducta ocular de los infantes, se han podido hacer interpretaciones sobre diferentes procesos psicológicos que ocurren en su cerebro. Por ejemplo, se ha podido inferir que los infantes pueden mostrar conductas oculares que reflejan una preferencia o evitación, además de la violación de expectativa cuando miran por más tiempo a un evento que para los adultos puede ser imposible (Aslin, 2012).

A través de distintos instrumentos se ha logrado registrar la mirada de los infantes con el fin de evaluar sus respuestas y ver cómo aprenden. Un ejemplo de estos

instrumentos, ha sido el registro de la mirada a través de la grabación de videos y su posterior codificación manual por parte de los investigadores. A pesar de ser una herramienta muy útil en el estudio de la adquisición de la lengua materna durante el primer año de vida, el uso de este tipo de instrumentos puede introducir sesgos por parte de los investigadores durante las mediciones, además de requerir de una experticia y costo de tiempo alto para llevarlos a cabo y su posterior análisis. Es por esto que el uso de un equipo de registro automático de la mirada como lo son los *Eye-trackers* (ET) ha logrado sobrellevar estas dificultades en estudios con niños pequeños (Oakes, 2012).

La técnica del seguimiento de mirada, en inglés *Eye-tracking*, es una técnica no invasiva que por sus características ha sido ampliamente utilizada en niños pequeños (Tomalski & Malinowska-Korczak, 2020). A través de esta técnica, se han utilizado diferentes paradigmas en infantes como lo son la preferencia de mirada y preferencia a la novedad (en inglés, *preferential looking paradigm* y *novelty preference*) (Ambridge & Rowland, 2013). En estudios y en investigación con infantes se utilizan generalmente ET externos o también llamados de mesa, a diferencia de otros dispositivos que emplean lentes que una persona usa directamente como un accesorio (Cognolato, Atzori & Müller, 2018). Los ET de mesa se posicionan generalmente en la parte superior o inferior de una pantalla de computador y la tecnología más utilizada en estos dispositivos es la basada en video (también llamada video-oculografía), la cual consiste en grabar la posición de los ojos con cámaras de vídeo (Alexander & Martínez-Conde, 2019). Adicionalmente, para hacer más robusta la detección de los ojos, en este tipo de técnica se utiliza reflexión de luz infrarroja en la pupila/córnea (Cognolato et al., 2018). Tanto las cámaras de video como la electrónica necesaria para generar la reflexión infrarroja se encuentran ensamblados conjuntamente y una de las formas más comunes que poseen estos dispositivos es la de una barra rectangular o un pedestal con una cámara más un arreglo de emisores de luz infrarroja (ver Figura 1).

En cuanto a las características más importantes de los ETs se encuentran su tasa de muestreo y precisión. La tasa de muestreo se relaciona con la cantidad de información que se mide en el tiempo y su unidad de medida es el Hercio (Hz). Por ejemplo, 50 Hz equivale a 50 mediciones en 1 segundo o 1 medición cada 20 milisegundos. Una tasa de muestreo alta permite tener una mejor definición temporal de los fenómenos estudiados y la regla que determina la tasa adecuada para estudiar un fenómeno en el tiempo es que la frecuencia de muestreo sea al menos 2 veces la frecuencia del fenómeno a estudiar (este teorema se conoce como teorema de Nyquist). Aunque la tasa de muestreo varía entre ETs se pueden encontrar desde los 50 Hz y algunos sobrepasan los 1000 Hz. Por otra parte, la precisión se relaciona con la capacidad del instrumento de reproducir la misma posición o punto de mirada entre una muestra temporal y otra mientras se observa el mismo lugar (Holmqvist & Blignaut, 2020). La precisión es una medida del error de la medición y mientras más preciso sea el ET,

mayor será la certeza en dónde está mirando la persona a la cual sigue el dispositivo. En general, en estudios con infantes se han utilizado dispositivos ETs que van desde los 50 Hz, a equipos más modernos con tasas de muestreo de 600 Hz o más.

Más allá de las características del dispositivo, es importante saber que el seguimiento de la mirada es algo que ocurre en el espacio y, por ende, podríamos estar observando estímulos visuales a distintos planos de profundidad. No obstante, en los protocolos experimentales que muestran estímulos visuales en una pantalla de computador lo que nos interesa es conocer dónde el infante mira dentro del espacio de la pantalla. Para lo anterior es necesario realizar un procedimiento llamado calibración, el cual consiste en construir una transformación matemática entre dónde mira el infante y la representación de la posición del punto en las coordenadas de la pantalla, también llamados píxeles. Así no es de extrañar que las mediciones de ET se entreguen en píxeles en vez de otras medidas de distancia física como son los milímetros. Además, también es común que se use como forma de representación de los estímulos visuales una posición y tamaño en píxeles, lo que luego facilita analizar los datos en el espacio común de las coordenadas de la pantalla. Es importante notar que la calidad de la calibración influye en la representación punto de mirada-píxel. Una mala calibración resulta en una pobre estimación del lugar donde estaría mirando la persona en las coordenadas de la pantalla. Finalmente, durante el período de calibración también se suelen calibrar los parámetros de la cámara de video del ET y los algoritmos de detección de la pupila/córnea del participante. Generalmente ambos procesos se realizan con el *software* provisto por el fabricante del equipo.

Entre las mediciones más comunes que entrega este tipo de dispositivo se encuentran el punto de mirada, también caracterizado por sacadas y fijaciones oculares, y el tamaño pupilar. A continuación revisaremos algunas variables que se construyen en base a estas mediciones en infantes.

2.1. Variables conductuales del seguimiento de mirada en infantes

En general los paradigmas experimentales en niños pequeños incluyen una estructura temporal y espacial. La estructura temporal determina la ventana temporal donde se cuantificarán las mediciones de seguimiento de mirada y la estructura espacial determina el área de la pantalla de computador donde ocurre una condición de interés de un paradigma experimental. Esta última se conoce como Región de Interés (llamada en inglés ROI o *region of interest*, también encontrada en otros textos como área de interés). Así, es posible identificar variables como la primera mirada (en inglés, *first gaze*) la cual se define como el primer ROI donde se posa la mirada del infante luego del inicio de la ventana temporal; la mirada más larga (en inglés, *longest gaze*), la cual se define como el ROI donde el infante mira por mayor cantidad de tiempo durante una ventana temporal; o el tiempo total de mirada (en inglés, *total*

looking time), el cual se define como el tiempo que mira a cada ROI particular dentro de la ventana temporal, entre otros (Aslin, 2007). A continuación revisaremos ejemplos de uso de algunas de las variables anteriores.

En un estudio realizado por Jara, Moënne-Loccoz y Peña (2021) donde se evaluó la habilidad de infantes sanos de 8 meses de edad en aprender tipos de palabras desde una secuencia audiovisual continua, se utilizó un paradigma experimental de 2 etapas: familiarización y testeo. En la etapa de familiarización se utilizaron como estímulos visuales rostros femeninos, los cuales co-ocurrían con un estímulo auditivo de habla específico (pseudopalabras trisilábicas). Para conocer cuánto tiempo miran los infantes a la región de los ojos y boca de los rostros, se determinó como ventana temporal de análisis toda la etapa de familiarización y como ROIs un área de píxeles de la pantalla en torno a los ojos y otro en torno a la boca. De esta forma es posible indicar cuánto tiempo del total de la etapa de familiarización cada infante miró a los ojos, boca, o un lugar distinto a los anteriores. Así, podemos responder preguntas como: los infantes, ¿prestaron atención al estímulo visual durante la etapa de familiarización? ¿a qué parte del estímulo visual miraron mientras escuchaban los audios? Por otra parte, la etapa de testeo consistió en la utilización de un paradigma experimental llamado ‘preferencia de mirada,’ donde en una repetición de ensayos se ponían a prueba las asociaciones audiovisuales que los infantes aprendieron durante la etapa de familiarización. El fin de este paradigma es cuantificar la exploración visual de los infantes dentro de dos ROI laterales, uno que muestra un rostro correspondiente con el estímulo de habla aprendido durante la familiarización y presentado en el ensayo particular, en relación a un ROI que presenta a un rostro que no corresponde con el estímulo de habla previamente presentado. Durante cada ensayo, la mirada de los infantes presenta un curso temporal que comienza desde el centro de la pantalla. Posteriormente, la mirada de los infantes se lateraliza, momento en el cual nos preguntamos ¿cuál es la ventana temporal en donde los infantes lateralizan su mirada? Para determinar tal ventana temporal se utilizó un enfoque basado en datos (en inglés *data-driven approach*) el cual mediante un procedimiento estadístico determinó la ventana temporal más adecuada para responder la hipótesis del estudio en base a la variabilidad de la latencia inter e intra sujeto que ha sido reportada en la conducta de seguimiento de mirada de los infantes (Wass, 2016).

También la técnica del seguimiento de mirada ha sido de gran utilidad en estudios en población clínica infantil, como por ejemplo en el caso del Trastorno del Espectro Autista (TEA) (Falck-Ytter, Bölte & Gredebäck, 2013). Un estudio realizado por Jones y Klin (2013) evaluó el desarrollo del contacto visual en niños y niñas desde los 2 a los 24 meses de edad que luego fueron diagnosticados con TEA, habilidad que ha sido ampliamente documentada como deficitaria en este trastorno. Evaluando la preferencia de mirada sobre la interacción naturalista con una persona proyectada a través de la pantalla del ET, los niños que fueron posteriormente diagnosticados con

TEA mostraron un patrón de mirada similar a los niños que no fueron diagnosticados durante los primeros meses de vida. Sin embargo, luego entre los 2 y 6 meses de edad los niños diagnosticados posteriormente con TEA presentaron una disminución en el patrón de mirada hacia la región de los ojos. Los resultados obtenidos por estos autores demuestran la gran utilidad que presenta el uso de esta técnica desde muy temprana edad en una población clínica, ofreciendo una oportunidad para realizar una intervención temprana que pudiese disminuir estas dificultades que impactan el desarrollo posterior de estos niños y niñas.

Finalmente, muchas de las variables anteriormente mencionadas se pueden relacionar a medidas de rendimiento en dependencia del paradigma o protocolo experimental utilizado. Por ejemplo, se considera que la primera mirada, mirada más larga, y tiempo total de mirada se relacionan a la preferencia del infante (Wass, 2016). En específico, la primera mirada reflejaría orientación mientras que el tiempo total de mirada y la mirada más larga atención sostenida (Aslin, 2007) y reconocimiento de estímulos familiares (Fagan & McGrath, 1981). Así, si el paradigma utilizado mide la capacidad predictiva del infante, una primera mirada hacia el ROI identificado como correcto puede ser considerado como un ensayo donde el infante acertó. Por otra parte, si el paradigma consiste en explorar diferentes ROIs en la pantalla, el que el infante mire por más tiempo a uno en particular podría ser considerado como su preferencia y determinar la correctitud del ensayo. De esta forma se puede construir una variable binaria para cada ensayo de categorías correcto e incorrecto. Por otro lado, también es posible construir indicadores continuos para representar el nivel de acierto de un ensayo. Por ejemplo, en Jara et al. (2021) se utilizó la variable de proporción de mirada considerando dos ROI, uno correcto y otro incorrecto. Así, la variable consistió en dividir el tiempo total de mirada al ROI correcto por la suma del tiempo total de mirada del ROI correcto e incorrecto. En este caso, si el infante solo mira al lado correcto la variable tomará valor igual a 1 y 0 en caso contrario. Si mira en igual proporción a ambos lados la variable tomará valor 0.5. De esta manera se puede construir un indicador continuo del nivel de correctitud o acierto de cada ensayo.

2.2. Pupilometría

La pupila es la apertura del iris que permite la entrada de luz al ojo y por consiguiente a la retina, la cual en condiciones ambientales de oscuridad se dilata, mientras que en condiciones luminosas se contrae (Sirois & Brisson, 2014). La pupilometría propiamente tal, se refiere al estudio de los cambios del diámetro pupilar (para un ejemplo de cambio en el tamaño pupilar ver Figura 4). El estudio de estos cambios, ha sido tanto de utilidad clínica como en el área de la investigación cognitiva, siendo en este último caso utilizado como un reflejo del procesamiento cognitivo (Sirois & Brisson, 2014; Laeng & Alnaes, 2019).

Como la pupila es sensible a los cambios de luminosidad, incluso aquellos que ocurren en la pantalla de un computador, los diseños experimentales que utilicen este tipo de medición deben considerar controlar estos cambios presentes en los estímulos visuales.

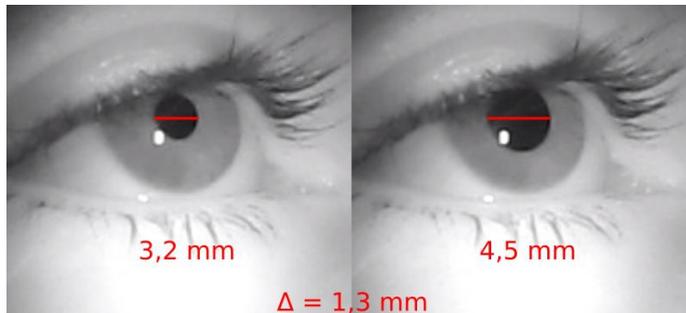


Figura 4. “Pupilometría”. Ilustración del cambio en el diámetro pupilar (línea roja). En el panel izquierdo se muestra la dilatación pupilar en condiciones normales, y en el panel derecho en una condición dilatada. La medición de estos cambios en el diámetro pupilar se conocen como pupilometría, y se pueden observar por ejemplo en cambios de la luminancia ambiental, así como asociados a procesos cognitivos tales como cambios en los niveles de atención, procesamiento cognitivo, reconocimiento de caras, entre otros (Hochman & Papeo, 2014). En este ejemplo, el cambio de diámetro entre condiciones equivale a un $\Delta = 1,3 \text{ mm}$.

En general pocos estudios usan pupilometría en infantes, no obstante se utilizan estrategias similares a las que se usan cuando se analiza el punto de mirada. Un ejemplo es el estudio de Hochmann y Papeo (2014) que evaluó la percepción de habla en infantes de 3 y 6 meses de edad, en donde los investigadores compararon el tamaño pupilar entre estímulos auditivos frecuentes e infrecuentes. En ese estudio, utilizando la estrategia de ROIs y el punto de mirada determinaron si los infantes observaban los estímulos de los ensayos presentados y así descartar los que observaban durante poco tiempo. Además, para determinar la ventana temporal donde probar sus hipótesis de diámetro pupilar utilizaron un enfoque basado en datos (*o data-driven approach*) como el explicado en la sección anterior. Finalmente, los investigadores encontraron que el diámetro pupilar aumentó en estímulos auditivos infrecuentes en contraste a los frecuentes.

Más allá del resultado anterior, los investigadores resaltaron la oportunidad de utilizar la pupilometría como una herramienta metodológica en infantes, por lo que se espera que este tipo de estudios vaya aumentando en el tiempo.

3. Recomendaciones para evaluaciones en niños pequeños

Las investigaciones con infantes pueden presentar una serie de desafíos que son importantes de sobrellevar. Esto ya que, a diferencia de los estudios con adultos, no pueden responder cuestionarios o presionar un botón en un teclado para manifestar sus respuestas. Además, presentan períodos atencionales de corta duración, son un

grupo difícil de reclutar, pueden demandar un tiempo elevado en ser evaluados, entre otros desafíos (Addyman & Mason, 2016). Es por esto, que es importante tener presente algunas consideraciones en el caso de querer realizar evaluaciones en este grupo de la población infantil. A continuación, y en base a la experiencia propia por parte de este grupo de investigadores, detallaremos algunas consideraciones que se deben tener en cuenta en estudios con infantes.

Un rol importante en el estudio con infantes es el que cumplen los cuidadores. Para este tipo de evaluaciones, el cuidador debe estar en todo momento junto al infante. Además, los cuidadores deben hacerse partícipes de la evaluación, es decir, deben tener total conocimiento del procedimiento que se realizará, que se está frente al uso de técnicas seguras y no invasivas, y que frente a cualquier incomodidad se dará por terminada la evaluación. Una vez explicado el procedimiento de forma detallada, los cuidadores deberán firmar un consentimiento informado en donde están de acuerdo en realizar el estudio junto al niño.

Las evaluaciones a niños pequeños deben ser realizadas en un espacio físico que cumpla con resolver todas las necesidades que podrían presentar ellos así como sus cuidadores. Para esto es importante que el espacio esté libre de ruido externo que los pueda distraer y con una buena ventilación. Se deben presentar elementos (por ejemplo, juguetes) que hagan sentir cómodo al infante en los momentos que no se realiza el estudio específico y que permita al investigador poder interactuar con el niño y sus cuidadores. Además, el lugar de la evaluación debe contar con un espacio apto para la limpieza del niño y tener elementos para esto en el caso de ser requeridos.

Debido a que los períodos atencionales de los infantes son limitados, es importante tener preparada la evaluación antes de la llegada de los participantes y utilizar paradigmas experimentales que sean cortos en tiempo (entre 5 a 10 minutos de duración) con el fin de maximizar la atención hacia la tarea, evitando cansancio, aburrimiento y/o angustia en los infantes. Por esto mismo, además se sugiere solo realizar una evaluación por día y que el infante no presente ninguna molestia física. Los experimentos deben presentar estímulos tanto visuales como auditivos que sean llamativos e interesantes para el niño. Por ejemplo, los niños desde temprana edad prefieren mirar caras humanas por sobre otros estímulos visuales (Gliga, Elsabbagh, Andravizou & Johnson, 2009) y escuchar estímulos lingüísticos por sobre otros estímulos auditivos (Vouloumanos, Hauser, Werker & Martin, 2010). Además, los estímulos se deben ajustar a principios éticos, por ejemplo, que no produzcan incomodidad en el infante como podrían ser sonidos de intensidad alta, entre otros. También, se sugiere registrar a través de una cámara de video (frontal y/o lateral) la sesión previo consentimiento de los cuidadores, con el fin de obtener un registro paralelo de la evaluación en el caso de requerirse.

Finalmente, realizar una evaluación lo más completa posible involucra obtener información que nos puedan otorgar los cuidadores sobre otros aspectos del desarrollo y ambiente del niño. En este sentido es importante integrar los resultados de las mediciones de laboratorio con información sobre la historia de desarrollo de los menores y del contexto en que crece. Para recoger esta información usamos encuestas de datos de los períodos pre, peri y postnatal de la madre y del infante, de su desarrollo pediátrico, psicomotor y socio-emocional, del nivel socioeconómico de la familia y el nivel educacional de los cuidadores, de la exposición a otras lenguas e idealmente complementar con cuestionarios estandarizados a nivel local dirigidos a los cuidadores. Entre estos, mencionamos por ejemplo, los Inventarios de habilidades comunicativas de MacArthur Bates que evalúa el repertorio de elementos lingüísticos que niñas y niños desde 8 a 36 meses dicen y/o comprenden (Fenson, Dale, Reznick, Bates, Thal, Pethick, et al., 1994), el cuestionario Ages and Stages Questionnaires (ASQ-3, Schonhaut et al., 2009) que evalúa el desarrollo cognitivo en comunicación, motor grueso, motor fino, resolución de problemas y socio-individual, el *Infant Behavior Questionnaire-revised* (IBQ-R; Putnam, Helbig, Gartstein, Rothbart & Leerkes, 2014) que evalúa el temperamento de niños desde el primer año de vida, el *Parenting Stress Index short form* (PSI-SF; Abidin, 1995) que estima el estrés parental, entre otros cuestionarios disponibles.

La integración de esta información requiere el esfuerzo coordinado de equipos multidisciplinarios, que nutran desde diferentes dominios los modelos actuales sobre el desarrollo del lenguaje y la comunicación. Creemos que un enfoque multidisciplinario que considere las variaciones interindividuales e intraindividuales y los diferentes contextos sin duda nos ayudará a confrontar de mejor manera los desafíos de la investigación en el área del desarrollo temprano del lenguaje.

CONCLUSIONES

El EEG y ET son técnicas no invasivas, posibles de usar en menores de 1 año con desarrollo típico y atípico, en condiciones seguras y confortables. El EEG permite responder preguntas con respecto a las características del desarrollo de las redes neurales que subyacen al procesamiento del lenguaje. Por ejemplo, permite medir cómo evolucionan la amplitud, la velocidad y la ritmicidad de las respuestas cerebrales a través de la edad, y cómo estos cambios se correlacionan con el nivel de logro en hitos de la adquisición de la lengua materna y del desarrollo cognitivo general.

Similarmente, el ET permite evaluar el desarrollo de procesos cognitivos que no pueden ser medidos de otra manera. Por ejemplo, evaluar el tiempo dedicado a explorar visualmente ciertos estímulos visuales sobre otros nos indica las preferencias de los niños por estímulos que podrían resultarles más novedosos como familiares. En efecto, la preferencia visual por estímulos visuales asociados a palabras nuevas se usa para evaluar el nivel de aprendizaje de asociaciones palabra-objeto previamente

desconocidas. El ET se funda en el hecho que los niños pueden responder y comunicarse con la mirada mucho antes de que sean capaces de comunicarse verbalmente. Por esto, evaluar dificultades en la capacidad de responder con la mirada se asocia de diferente manera con dificultades en el desarrollo posterior, como ocurre en los trastornos del espectro autista.

En suma, EEG y ET permiten estimar el desarrollo temprano a edades en que las habilidades de pensamiento y procesamiento cognitivo avanzan más rápido que nunca en la vida, a pesar de que las respuestas verbales y motoras están muy limitadas.

Investigar la adquisición del lenguaje usando EEG y ET nos abre la oportunidad de aportar con datos empíricos para contribuir a: a) ajustar los modelos actuales de la adquisición de la lengua materna en función a patrones de actividad cerebral y datos conductuales no verbales, b) evaluar predicciones acerca del desarrollo posterior típico y atípico, c) contribuir a la detección precoz de dificultades del lenguaje, d) apoyar el diseño de intervenciones dirigidas a menores de 1 año, e) contribuir a capacitar a los profesionales dedicados a promover el lenguaje y la comunicación desde la primera infancia, y e) servir de insumo para el diseño de políticas públicas dirigidas a la promoción del desarrollo infantil temprano.

Finalmente, esperamos que este artículo sirva como punto de partida para aquellos investigadores interesados en profundizar y conocer en más detalle sobre ambas técnicas en infantes. Estas, sin duda, seguirán siendo dos pilares fundamentales en la generación de nuevo conocimiento en el área de adquisición del habla y lenguaje a tempranas edades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abidin, R. R. (1995). *Parenting Stress Index. Professional Manual* (3 ed.). Lutz, FL: Psychological Assessment Resources.
- Addyman, C. & Mason, L. (2016). Researching Cognitive Development in Infancy. En J. Prior & J. Van Herwegen (Eds.), *Practical Research with Children* (pp. 29-49). Publisher: Routledge.
- Ambridge, B. & Rowland, C. F. (2013). Experimental Methods in Studying Child Language Acquisition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 4(2), 149-168.
- Alexander, R. G. & Martinez-Conde, S. (2019). Fixational Eye Movements. En C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications* (pp. 73-115). Switzerland: Springer Nature.
- Aslin, R. N. (2007). What's in a Look? *Developmental Science*, 10(1), 48-53. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00563.x>

- Aslin, R. N. (2012). Infant Eyes: A Window on Cognitive Development. *Infancy*, 17(1), 126-140.
- Beard, A. (2018). Speech, Language and Communication: A Public Health Issue Across the Lifecourse. *Pediatrics and Child Health*, 28(3), 126-131.
- Biasiucci, A., Franceschiello, B. & Murray, M. M. (2019). Electroencephalography. *Current biology: CB*, 29(3), R80–R85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.11.052>
- Bourel-Ponchel, E., Gueden, S., Hasaerts, D., Héberlé, C., Malfilâtre, G., Mony, L., Vignolo-Diard, P. & Lamblin, M. D. (2021). Normal EEG During the Neonatal Period: Maturational Aspects from Premature to Full-Term Newborns. *Neurophysiologie clinique = Clinical neurophysiology*, 51(1), 61-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2020.10.004>
- Burle, B., Spieser, L., Roger, C., Casini, L., Hasbroucq, T. & Vidal, F. (2015). Spatial and Temporal Resolutions of EEG: Is it Really Black and White? A Scalp Current Density View. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 97(3), 210-220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.05.004>
- Cannon, J., McCarthy, M. M., Lee, S., Lee, J., Börgers, C., Whittington, M. A. & Kopell, N. (2014). Neurosystems: Brain Rhythms and Cognitive Processing. *The European Journal of Neuroscience*, 39(5), 705-719. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejn.12453>
- Choi, D., Batterink, L. J., Black, A. K., Paller, K. A. & Werker, J. F. (2020). Preverbal Infants Discover Statistical Word Patterns at Similar Rates as Adults: Evidence From Neural Entrainment. *Psychological Science*, 31(9), 1161-1173. DOI: <https://doi.org/10.1177/0956797620933237>
- Cohen M. X. (2017). Where Does EEG Come From and What Does It Mean? *Trends in Neurosciences*, 40(4), 208-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tins.2017.02.004>
- Cognolato, M., Atzori, M. & Müller, H. (2018). Head-Mounted Eye Gaze Tracking Devices: An Overview of Modern Devices and Recent Advances. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 5, 2055668318773991. DOI: <https://doi.org/10.1177/2055668318773991>
- Csibra, G., Davis, G., Spratling, M. W. & Johnson, M. H. (2000). Gamma Oscillations and Object Processing in the Infant Brain. *Science (New York, N.Y.)*, 290(5496), 1582-1585. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.290.5496.1582>

- De Haan, M. (Ed.). (2013). *Infant EEG and Event-Related Potentials*. Londres: Psychology Press.
- Dehaene-Lambertz, G. & Dehaene, S. (1994). Speed and Cerebral Correlates of Syllable Discrimination in Infants. *Nature*, 370(6487), 292-295.
- Dehaene-Lambertz, G. & Pena, M. (2001). Electrophysiological Evidence for Automatic Phonetic Processing in Neonates. *Neuroreport*, 12(14), 3155-3158.
- Fagan III, J. F. & McGrath, S. K. (1981). Infant Recognition Memory and Later Intelligence. *Intelligence*, 5(2), 121-130.
- Falck-Ytter, T., Bölte, S. & Gredebäck, G. (2013). Eye Tracking in Early Autism Research. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 5(1), 1-13.
- Fenson, L., Dale, P. S., Reznick, J. S., Bates, E., Thal, D. J., Pethick, S. J. et al. (1994). Variability in Early Communicative Development. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 59(5), 1-190
- Gervain, J. (2015). Plasticity in Early Language Acquisition: The Effects of Prenatal and Early Childhood Experience. *Current Opinion in Neurobiology*, 35, 13-20.
- Gliga, T., Elsabbagh, M., Andravizou, A. & Johnson, M. (2009). Faces Attract Infants' Attention in Complex Displays. *Infancy*, 14(5), 550-562.
- Goswami U. (2022). Language Acquisition and Speech Rhythm Patterns: An Auditory Neuroscience Perspective. *Royal Society Open Science*, 9(7), 211855. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.211855>
- Hochmann, J. R. & Papeo, L. (2014). The Invariance Problem in Infancy: A Pupillometry Study. *Psychological Science*, 25(11), 2038-2046. DOI: <https://doi.org/10.1177/0956797614547918>
- Holmqvist, K. & Bignaut, P. (2020). Small Eye Movements Cannot be Reliably Measured by Video-Based P-CR Eye-Trackers. *Behavior Research Methods*, 52(5), 2098-2121. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01363-x>
- Jara, C., Moëgne-Loccoz, C. & Peña, M. (2021). Infants Exploit Vowels to Label Objects and Actions from Continuous Audiovisual Stimuli. *Scientific Reports*, 11(1), 10982. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90326-z>
- Jasper, H. (1958). Report of the Committee on Methods of Clinical Examination in Electroencephalography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 10, 370-375.
- Jones, W. & Klin, A. (2013). Attention to Eyes is Present but in Decline in 2–6-Month-Old Infants Later Diagnosed with Autism. *Nature*, 504(7480), 427-431.

- Klimesch, W. (2012). α -band Oscillations, Attention, and Controlled Access to Stored Information. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 606-617. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
- Kuhl, P. K. (1991). Human Adults and Human Infants Show a Perceptual Magnet Effect for the Prototypes of Speech Categories, Monkeys do not. *Perception & Psychophysics*, 50(2), 93-107.
- Laeng, B. & Alnaes, D. (2019). Pupillometry. En C. Klein & U. Ettinger (Eds.), *Eye Movement Research: An Introduction to its Scientific Foundations and Applications* (pp. 449-495). Switzerland: Springer Nature.
- Laszlo, S., Ruiz-Blondet, M., Khalifian, N., Chu, F. & Jin, Z. (2014). A Direct Comparison of Active and Passive Amplification Electrodes in the Same Amplifier System. *Journal of Neuroscience Methods*, 235, 298-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.05.012>
- Leppänen, P. H., Hämäläinen, J. A., Guttorm, T. K., Eklund, K. M., Salminen, H., Tanskanen, A., Torppa, M., Puolakanaho, A., Richardson, U., Pennala, R. & Lyytinen, H. (2012). Infant Brain Responses Associated with Reading-Related Skills before School and at School Age. *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology*, 42(1-2), 35-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2011.08.005>
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lyytinen, P. & Lyytinen, H. (2004). Growth and Predictive Relations of Vocabulary and Inflectional Morphology in Children with and without Familial Risk for Dyslexia. *Applied Psycholinguistics*, 25(3), 397-411.
- Mathewson, K. E., Harrison, T. J. & Kizuk, S. A. (2017). High and Dry? Comparing Active Dry EEG Electrodes to Active and Passive wet Electrodes. *Psychophysiology*, 54(1), 74-82.
- Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Goudjil, S., Dubois, J., Grebe, R. & Wallois, F. (2013). Syllabic Discrimination in Premature Human Infants Prior to Complete Formation of Cortical Layers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(12), 4846-4851.
- Nelson, C. A. & McCleery, J. P. (2008). Use of Event-Related Potentials in The Study of Typical and Atypical Development. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 47(11), 1252-1261.

- Noreika, V., Georgieva, S., Wass, S. & Leong, V. (2020). 14 Challenges and their Solutions for Conducting Social Neuroscience and Longitudinal EEG Research with Infants. *Infant Behavior & Development*, 58, 101393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2019.101393>
- Oakes, L. M. (2012). Advances in Eye Tracking in Infancy Research. *Infancy*, 17(1), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2011.00101.x>
- Parastarfeizabadi, M. & Kouzani, A. Z. (2017). Advances in Closed-Loop Deep Brain Stimulation Devices. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 14(1), 1-20
- Peña, M., Pittaluga, E. & Mehler, J. (2010). Language Acquisition in Premature and Full-Term Infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(8), 3823-3828. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0914326107>
- Peña, M., Werker, J. F. & Dehaene-Lambertz, G. (2012). Earlier Speech Exposure Does Not Accelerate Speech Acquisition. *Journal of Neuroscience*, 32(33), 11159-11163.
- Peña, M., Jara, C., Flores, J. C., Hoyos-Bachilloglu, R., Iturriaga, C., Medina, M., Carcey, J., Espinoza, J., Bohmwald, K., Kalergis, A. M. & Borzutzky, A. (2020). Severe Respiratory Disease Caused by Human Respiratory Syncytial Virus Impairs Language Learning During Early Infancy. *Scientific Reports*, 10(1), 22356. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79140-1>
- Putnam, S. P., Helbig, A. L., Gartstein, M. A., Rothbart, M. K. & Leerkes, E. (2014). Development and Assessment of Short and Very Short Forms of the Infant Behavior Questionnaire–Revised. *Journal of personality assessment*, 96(4), 445-458.
- Rivera-Gaxiola, M., Silva-Pereyra, J. & Kuhl, P. K. (2005). Brain Potentials to Native and Non-Native Speech Contrasts in 7- and 11-Month-old American Infants. *Developmental Science*, 8(2), 162-172. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00403.x>
- Roach, B. J. & Mathalon, D. H. (2008). Event-Related EEG Time-Frequency Analysis: An Overview of Measures and an Analysis of Early Gamma Band Phase Locking in Schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 34(5), 907-926. DOI: <https://doi.org/10.1093/schbul/sbn093>
- Schonhaut, L., Salinas, P., Armijo, I. & Álvarez, J. (2009). Validación de un cuestionario autoadministrado para la evaluación del desarrollo psicomotor. *Revista Chilena de Pediatría*, 80(6), 513-519.

- Sirois, S. & Brisson, J. (2014). Pupillometry. *Wiley interdisciplinary Reviews. Cognitive Science*, 5(6), 679-692. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcs.1323>
- Slipher, G. A., Hairston, W. D., Bradford, J. C., Bain, E. D. & Mrozek, R. A. (2018). Carbon Nanofiber-Filled Conductive Silicone Elastomers as Soft, Dry Bioelectronic Interfaces. *PLoS one*, 13(2), e0189415. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189415>
- Tomalski, P. & Malinowska-Korczak, A. (2020). What Do Young Infants Do During Eye-Tracking Experiments? IP-BET - A Coding Scheme for Quantifying Spontaneous Infant and Parent Behaviour. *Frontiers in Psychology*, 11, 764. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00764>
- Vouloumanos, A., Hauser, M. D., Werker, J. F. & Martin, A. (2010). The Tuning of Human Neonates' Preference for Speech. *Child Development*, 81(2), 517-527.
- Walls-Esquivel, E., Vecchierini, M. F., Héberlé, C. & Wallois, F. (2007). Electroencephalography (EEG) Recording Techniques and Artefact Detection in Early Premature Babies. *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology*, 37(5), 299-309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2007.09.001>
- Wallois, F., Routier, L., Heberlé, C., Mahmoudzadeh, M., Bourel-Ponchel, E. & Moghimi, S. (2021). Back to Basics: The Neuronal Substrates and Mechanisms that Underlie the Electroencephalogram in Premature Neonates. *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology*, 51(1), 5-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2020.10.006>
- Wass, S. V. (2016). The Use of Eye-Tracking with Infants and Children. En J. Prior & J. Van Herwegen (Eds.), *Practical Research with Children* (pp. 24-45). Routledge/Taylor & Francis Group.
- Werker, J. F. & Tees, R. C. (1984). Cross-Language Speech Perception: Evidence for Perceptual Reorganization During the First Year of Life. *Infant Behavior and Development*, 7(1), 49-63.
- Werker, J. F. & Hensch, T. K. (2015). Critical Periods in Speech Perception: New Directions. *Annual Review of Psychology*, 66, 173-196.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro Nacional de Inteligencia Artificial CENIA FB210017, Financiamiento Basal - ANID. Además, al II Concurso de Apoyo a la Investigación del Departamento de Ciencias de la Salud UC, otorgado a C.M-L.