

UNIVERSIDAD  
INTERNACIONAL  
DE LA RIOJA

**unir**

**Universidad Internacional de La Rioja  
Máster Universitario en Neuropsicología y  
Educación**

# Efecto del Uso del Forbrain en los Procesos Lectores

**Trabajo fin de máster** BEATRIZ AGUILAR GUERRERO

**presentado por:**

**Titulación:** LICENCIADA FILOSOFIA Y LETRAS

**Línea de investigación:** LÍNEA 1

**Director/a:** MARTA GIL

MÁLAGA  
01/07/2015

## Resumen

Recientemente ha aparecido en el mercado el dispositivo Forbrain que promete mejorar las capacidades cognitivas relacionadas con la lectura. Este estudio se propone investigar las bases de su funcionamiento y cuantificar las posibles mejoras reales que puedan producirse en los procesos lectores en niños de segundo curso de Primaria en un colegio concertado de Málaga. Para ello se realiza un estudio experimental con grupo de control y evaluación antes-después de trabajar con el dispositivo durante diez minutos y diez días. Mediante la evaluación con el test PROLEC en su versión reducida se obtendrán datos significativos sobre las siguientes variables: NL-P, NL-V, LS-P, LS-V, EG-P, EG-V, CT-P y CT-V. Tras el análisis de los resultados se obtiene que los alumnos han logrado una importante mejora en todas las pruebas con respecto al grupo de control, lo que permite concluir que el uso del Forbrain mejora las habilidades cognitivas implicadas en el proceso de lectura.

Palabras Clave: Forbrain, lectura, conciencia fonológica, bucle fonoarticulatorio, funcionalidad auditiva, reeducación auditiva.

## Abstract

It has recently appeared on the market Forbrain, a device that promises to improve the cognitive abilities related to the reading process. This study tries to investigate the basis of its operation and quantify the possible real improvements that may occur to the reading processes in children at the second year of Public Primary School in Malaga. It is carried out an experimental study with control group, pretest and posttest evaluation and a constant work with the device for ten minutes and ten days. The evaluation will be carried out using the test PROLEC in its reduced versión that will provide significant data on the following variables: NL-P, NL-V, LS-P, LS-V, EG-P, EG-V, CT and CT-P. After analyzing the results obtained by the students they all have achieved a significant improvement in all the subtests in comparison with the control group, leading to the conclusion that the use of Forbrain really improves cognitive skills involved in the reading process.

Keywords: Forbrain, Reading process, phonological awareness, fonoarticulatory loop, hearing function, hearing reeducation.

## ÍNDICE

<b>Resumen</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción y justificación del problema</b>	<b>6</b>
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Neuropsicología y aprendizaje</b>	<b>8</b>
<b>2.2 La lectura</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1 Aspectos cognitivos de la lectura</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2 Procesos psicológicos básicos de la comprensión lectora</b>	<b>12</b>
<b>2.2.3 Bases neuroanatómicas implicadas en la lectura y la comprensión</b>	<b>13</b>
<b>2.3 El sistema auditivo</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1 Anatomía y fisiología del sistema auditivo</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2 Plasticidad del sistema auditivo</b>	<b>21</b>
<b>2.3.3 Percepción acústica: física de la audición</b>	<b>22</b>
<b>2.3.4 Conducción ósea</b>	<b>23</b>
<b>2.3.5 Bucle fonoarticulatorio</b>	<b>24</b>
<b>3. Marco Metodológico (materiales y métodos)</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Diseño:</b>	<b>228</b>
<b>3.2 Variables medidas e instrumentos aplicados</b>	<b>228</b>
<b>3.3 Población y muestra</b>	<b>29</b>
<b>4. Resultados</b>	<b>30</b>
<b>5. Programa de intervención neuropsicológica</b>	<b>38</b>
<b>5.1 Presentación/Justificación</b>	<b>39</b>
<b>5.2 Objetivos</b>	<b>39</b>
<b>5.3 Metodología</b>	<b>39</b>
<b>5.4 Actividades</b>	<b>40</b>
<b>5.5 Evaluación</b>	<b>40</b>
<b>5.6 Cronograma</b>	<b>40</b>
<b>6. Discusión y Conclusiones</b>	<b>41</b>
<b>7. Limitaciones y Prospectiva</b>	<b>43</b>

<b>8. Bibliografía</b>	<b>44</b>
------------------------	-----------

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Áreas cerebrales</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2. Ruta dorsal y ruta ventral</b>	<b>17</b>
<b>Figura 3. Anatomía del oído</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4. Conducción aérea y ósea</b>	<b>25</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Nombre de Letras (NL). Precisión de la ejecución</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 2. Nombre de Letras (NL). Tiempo de ejecución</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 3. Lectura de Pseudopalabras (LP). Precisión de la ejecución</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 4. Lectura de Pseudopalabras (LP). Tiempo de la ejecución</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 5. Estructuras Gramaticales (EG). Precisión de la ejecución</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 6. Estructuras Gramaticales (EG). Tiempo de la ejecución</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 7. Comprensión de Textos (CT). Precisión de la ejecución</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 8. Comprensión de Textos (CT). Tiempo de la ejecución</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 9. NL(P), Porcentaje de respuestas, grupo de investigación</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 10. NL(P), Porcentaje de respuestas, grupo de control</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 11. LP(P), Porcentaje de respuestas, grupo de investigación</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 12. LP(P), Porcentaje de respuestas, grupo de control</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 13. EG(P), Porcentaje de respuestas, grupo de investigación</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 14. EG(P), Porcentaje de respuestas, grupo de control</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 15. CT(P), Porcentaje de respuestas, grupo de investigación</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 16. CT(P), Porcentaje de respuestas, grupo de control</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 17. Uso para niños de 3-14 años</b>	<b>41</b>

## 1. Introducción y Justificación del problema

Durante todo el proceso de escolarización de los niños la lectura supone la vía principal que permite acceder al aprendizaje de los contenidos de las distintas áreas curriculares. Por lo tanto cuanto mayor sea la competencia lectora de los alumnos mejores garantías tendrán de llevar a cabo un aprendizaje con éxito. La competencia lectora va a garantizar el acceso a la información así como el desarrollo de sus capacidades y habilidades de pensamiento: comprender, seleccionar información, clasificarla, resumirla, memorizarla y transformarla en conocimiento.

En todo este proceso de aprendizaje de la lectura se producen dificultades que afectan a la comprensión lectora y por lo tanto al desarrollo de las capacidades cognitivas de los alumnos que se hace necesario estudiar, evaluar y trabajar en aras de la mejora de estas competencias. Para ello se ha venido estudiando y profundizando fundamentalmente en el conocimiento de la influencia de la motricidad ocular y los movimientos sacádicos, en los procesos de comprensión lectora y sobre todo en la velocidad lectora de los buenos y malos lectores. Estos estudios han desembocado en la moderna optometría que en el desarrollo de su actividad profesional trabaja para prevenir, detectar y dar soluciones funcionales a aquellos problemas visuales que puedan aparecer a lo largo de todo el proceso. Con este objeto se estudian también dificultades de la binocularidad, acomodación, convergencia, hábitos posturales, además de las características que debe tener el entorno físico en el que se produce la lectura: tipo de iluminación, color y disposición del mobiliario,...etc.

Se han estudiado de igual manera la influencia en la lectura de la motricidad fina y gruesa, la coordinación visomotriz y las habilidades del movimiento (equilibrio, agilidad, flexibilidad y coordinación), y la estrecha relación que guardan con el desarrollo del esquema corporal, la lateralidad, la direccionalidad y las relaciones espacio-temporales. Esto ha dado lugar al desarrollo de la psicomotricidad, que partiendo del cuerpo y el movimiento busca alcanzar la maduración de los procesos motrices y con ellos los procesos cognitivos, afectivos y sociales. De esta manera el niño podrá lograr la madurez motriz necesaria para favorecer los procesos de aprendizaje y sus habilidades lectoras.

Asimismo se ha estudiado igualmente la influencia de la percepción auditiva en la lectura. Se sabe que la conciencia fonológica y el proceso de decodificación de los sonidos que tiene lugar en la región dorsal del área parieto-temporal juega un papel básico en los procesos lectores. Los últimos estudios realizados (Simos et al, 2002; Temple et al, 2003; Shaywitz et al, 2004; Simos et al, 2007 entre otros) desvelan que los

sistemas neurológicos que intervienen en la lectura son plásticos y por lo tanto pueden ser modificados mediante la educación basada en el procesamiento fonológico. En este contexto y recientemente ha aparecido en el mercado un producto: el Forbrain que asegura mejorar las capacidades cognitivas fundamentalmente relacionadas con la lectura y la escritura, pero sobre el que apenas existen investigaciones que demuestren su fiabilidad.

En concreto en su página web, principal medio de difusión del dispositivo, aparece desplegado en distintas pestañas sus características técnicas, el funcionamiento del sistema auditivo a grandes rasgos y específicamente en la pestaña “para saber más”, “aplicaciones del Forbrain” se nos describe cómo mediante la tecnología consistente en un filtro dinámico que modifica las características físicas del sonido de la propia voz y mediante el uso del mecanismo físico de conducción ósea se puede actuar sobre el proceso de la escucha y la percepción auditiva mejorando a su vez los procesos de comunicación y aprendizaje. A lo largo de esta pestaña exactamente se centran en:

- ✚ Lectura y escritura: asegurando que incrementa la capacidad de comprender las palabras, las frases y los párrafos y, al mejorar el procesamiento de la información tanto el lenguaje oral como el escrito mejorarán a su vez.
- ✚ Memoria verbal y a corto plazo: mediante el lenguaje oral se activan las vías de entrada aferente al cerebro que como afirman conecta con la memoria a corto plazo mejorándola.
- ✚ Atención y concentración: cuando los sonidos no se perciben correctamente se producen déficits atencionales que mejoran según expresan gracias a la conducción ósea.
- ✚ Lenguaje oral: la influencia del dispositivo sobre la conciencia fonológica mejora la competencia lectora. La conducción ósea es clave en el desempeño del bucle fonológico responsable del movimiento de la información verbal. Este proceso trabaja no sólo la memoria auditiva verbal sino el lenguaje interior y la fluidez verbal.
- ✚ Motivación, autoestima y autoconfianza: la mejora en la percepción, análisis y codificación de los sonidos de nuestro entorno influye en el sistema nervioso mejorando la confianza en nosotros mismos y la motivación.

Este dispositivo ha recibido recientemente dos premios: el Bett Award, de la mejor solución para Necesidades Educativas Especiales, 2015 y el Family Choice Award, 2015. Ambos premios avalan el dispositivo para su uso por los agentes educadores, tanto en Reino Unido como en los Estados Unidos, que tengan como objetivo primordial la mejora de los procesos de aprendizaje.

Con todo ello este trabajo se propone fundamentalmente investigar el marco teórico que sustenta el funcionamiento de los procesos de lectura así como las investigaciones realizadas sobre plasticidad del sistema auditivo, conducción ósea y funcionamiento del bucle fonoarticulatorio que se encuentran en la base del funcionamiento del Forbrain de forma que podamos comprobar en base a estas investigaciones los mecanismos neurológicos que permiten alcanzar los resultados que se prometen y garantizar su funcionalidad.

Igualmente y debido a la escasez de investigaciones de campo realizadas en nuestro país sobre los resultados del uso del Forbrain en los ámbitos de aplicación que se describen en su página web, este estudio se propone cuantificar la mejora efectiva del uso del Forbrain, concretamente de las habilidades lectoras de alumnos españoles, de segundo de Educación Primaria en un colegio de Málaga. Para ello nos centraremos en recopilar los datos pertinentes antes y después del uso del Forbrain durante diez días, mediante la cuantificación de los siguientes parámetros: la habilidad para reproducir el sonido de las grafías y tiempo de ejecución (NL), la capacidad para mejorar la precisión y tiempo de ejecución en la lectura de pseudopalabras (LS), la capacidad sintáctica, precisión y velocidad (EG) y la capacidad comprensiva de la lectura igualmente tanto en precisión como en velocidad (CT); de forma que podamos verificar y cuantificar los cambios significativos que puedan producirse en estas cuatro pruebas después del uso del dispositivo.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Neuropsicología y aprendizaje.

Las investigaciones que se han llevado a cabo en las últimas décadas dentro del marco de las neurociencias aportan instrumentos de gran interés en el ámbito de la educación y sobre todo en lo concerniente a lo que se puede aprender, es decir, los mecanismos cerebrales que se encuentran en la base del aprendizaje.

Dentro de las neurociencias la Neuropsicología tiene un papel importante que desarrollar en la aplicación de los conocimientos teóricos sobre el funcionamiento del aprendizaje al ámbito escolar. De hecho se ha venido utilizando mayormente con el objeto de evaluar, detectar, manejar y solucionar las dificultades de aprendizaje. Sin embargo y además también se puede y debe aplicar para proponer estrategias específicas que permitan encauzar correctamente el proceso de aprendizaje de forma que ayude a prevenir y no sólo solucionar las posibles dificultades que puedan aparecer durante todo el proceso de escolarización.

En este sentido se expresa González-Moreno (2012) cuando dice que uno de los objetivos de la neuropsicología es contribuir al éxito del aprendizaje escolar y con ello fortalecer las posibilidades de los



alumnos de desarrollarse desde un punto de vista académico e intelectual y sobretodo contribuir a su bienestar emocional, social y cultural.

## 2.2 La lectura

Los procesos de la lectura y la escritura son fundamentales para el desarrollo de la actividad académica, pero además suponen un elemento esencial para el desarrollo de las funciones comunicativas, intelectuales y sociales. Un pequeño déficit en algunos de los factores neuropsicológicos que intervienen en estos procesos se va a ver reflejado no sólo en estas habilidades sino que afectará a las demás tareas que requieren de estos procesos tales como el cálculo, comprensión y expresión oral, y en general las habilidades intelectuales necesarias para llevar a cabo un desempeño académico adecuado.

De aquí la importancia de estudiar y analizar los factores que intervienen en el proceso de lectura, los mecanismos cerebrales que subyacen a esta actividad y la eficacia teórica y real de los dispositivos que pueden ayudar a mejorar la funcionalidad de los procesos lectores y que están apareciendo recientemente en el mercado, de cara a introducir su uso o no en el centro escolar.

### 2.2.1 Aspectos cognitivos de la lectura.

La lectura es una actividad cognitiva compleja que supone la vía principal de acceso a la información necesaria para adquirir conocimiento por lo que su dominio influye fuertemente en los resultados académicos de los escolares. Aprendemos a leer para poder estudiar y ampliar conocimientos mediante la lectura de un texto, de aquí la necesidad de que el alumno aprenda a leer, entender y comprender los textos escritos. Cognitivamente la comprensión lectora se entiende como un conjunto de procesos implicados que necesitamos conocer de forma que alcancemos a saber, cómo y qué instrumentos pueden ayudar a los alumnos en su aprendizaje con el objeto de que puedan llegar a ser buenos lectores.

El objetivo fundamental de la lectura es la comprensión del significado tanto explícito como implícito del texto, por lo que el lector debe ser capaz de entender cada una de las oraciones, frases, palabras y letras. (Adams y Collins, 1977). De este modo el aprendizaje de la lectura a edades tempranas se inicia por el aprendizaje de las letras, los sonidos, y a partir de aquí se va trabajando sucesivamente hacia niveles más elevados hasta alcanzar la comprensión lectora.

Según Aníbal Puente Ferreras (1991), el niño sabrá leer cuando entienda el conjunto de signos de una palabra y entienda su significado.

Así encontramos dos niveles en el proceso inicial de lectura: un primer nivel en el que se produce la decodificación de las letras, de su sonido y de las palabras; y un segundo nivel en el que el lector comprende el significado del texto, es decir, en este segundo nivel se entiende la comprensión lectora como un producto resultado de una interacción entre el texto y el lector. En ambos niveles se hace necesario el dominio de una serie de procesos, destrezas y habilidades que son necesarios para que se lleve a cabo la comprensión lectora.

Los cuatro procesos básicos que se consideran fundamentales en el proceso de lectura de acuerdo con Virginia Jiménez Rodríguez (2006) son:

✚ **Procesos perceptivos** o capacidad para identificar visualmente las grafías, primero aisladamente y después dentro de las palabras. Para ello es necesario que los movimientos sacádicos realizados durante la lectura sean capaces de llevar la información de la grafía captada en cada una de las fijaciones a la memoria icónica para reconocer el patrón visual de cada palabra, es decir, el significante, y de aquí a la memoria semántica donde se reconoce la información y su significado o acceso al léxico. También intervienen las percepciones táctiles en el caso de los lectores ciegos mediante el sistema Braille de lectura en el que los grafemas se reconocen de forma táctil; además de las percepciones auditivo-fonéticas. El logro de una discriminación visual, táctil y auditiva correcta ayudarán al logro de la comprensión lectora.

✚ **Procesos léxicos.** Una vez que la información de la grafía se ha llevado a la memoria icónica necesitamos acceder al significado. Tradicionalmente se proponen, entre otros, dos modelos básicos de acceso al léxico: la ruta visual y la ruta auditiva. La ruta visual establece que el acceso al léxico se realiza de forma directa mediante una conexión entre la grafía y el significado. Mediante esta ruta se pueden leer aquellas palabras que el lector ya conoce, pero no se pueden leer palabras desconocidas o pseudopalabras. Se considera una lectura rápida y automática. En la ruta fonológica el acceso al léxico se realiza de forma indirecta proporcionando al grafema un fonema por medio de una correspondencia grafema-sonido. Esta ruta permite leer palabras desconocidas y pseudopalabras mediante la aplicación de las correspondientes reglas de conversión grafema-fonema, que son menos rápidas y automáticas que la ruta léxica. Los lectores usan una ruta u otra en función del sistema ortográfico en el que se encuadra su lengua materna, lo que no implica que la otra ruta pueda ser usada de forma funcional para determinadas palabras tal y como establece Baluch y Besner, 1991, recogido por Guzmán Rosquete, 1997. Concretamente en el sistema Braille de lectura el acceso al significado de las palabras se realiza por la ruta fonológica lo que lo convierte en una lectura más lenta que usando el sistema visual.

- ✚ **Procesos Sintácticos.** Según Vallés Arándiga (2005), después de acceder al léxico se accede a la estructura gramatical que forma la oración y cuyas palabras están sintácticamente relacionadas. El acceso a la sintaxis se realiza de tres formas: 1.- Identificación de señales lingüísticas, que viene dada por el orden de la frase, la estructura de las palabras, su función sintáctica y la articulación fonética que nos proporcionará un significado global. 2.- Acceso sintáctico inmediato y simultáneo a la lectura de cada palabra. La rectificación inmediata de los errores que se producen durante la lectura son una buena muestra de esta forma. 3.- Memoria de trabajo que nos permite interpretar unidades sintácticas ambiguas. A mayor capacidad, mejor comprensión lectora.
  
- ✚ **Procesos Semánticos.** Después de pasar por el acceso al léxico y por el análisis sintáctico, debe producirse la comprensión del texto. En este proceso se producen inferencias de forma que el lector obtiene información del texto basándose tanto en la interpretación de lo que lee como en el contexto. Este proceso le permite extraer el significado del texto, darle sentido y comprenderlo. Los conocimientos previos del lector son fundamentales para que la comprensión de la lectura adquiera mayor o menor complejidad.

Si entendemos la comprensión lectora como un producto resultado de una interacción entre el texto y el lector encontramos que según Sánchez Miguel (2008), cuando nos enfrentamos a la comprensión de un texto podemos alcanzar dos niveles: una comprensión superficial si sólo nos limitamos a entender el significado literal del texto y una comprensión profunda si además interpretamos el significado implícito en el texto. Uno u otro nivel lo alcanzaremos en función de los procesos mentales que realicemos, que pueden ser de varios tipos.

Los procesos locales consisten en comprender el significado de las palabras y las oraciones en su conjunto. Este proceso nos permitiría entender lo que leemos pero no lo suficiente como para hacer un resumen o aplicar lo que hemos leído a la resolución de un problema.

Los procesos globales implican saber de qué trata el texto que estamos leyendo de forma general y extraer las ideas esenciales. Esto nos daría también una lectura superficial ya que no nos detenemos en la información detallada y concreta.

Para que esto suceda debemos llevar a cabo una serie de procesos de integración que consisten en establecer relaciones entre la información del texto y el conocimiento que el lector posee. De esta manera se incorpora la nueva información a la que ya poseemos modificando nuestro conocimiento.

Si se presentan inconsistencias entre la nueva información y nuestro conocimiento el proceso de control nos permitirá emplear estrategias de razonamiento adecuadas para solucionarlo. Estos procesos nos

permiten acercarnos de forma distinta a la lectura, es decir, leemos para saber de qué trata un texto, para poder entender otros textos, para saber si nos conviene o no su lectura y si merece o no la pena hacer una lectura detenida siempre en la medida que lo permita nuestra memoria operativa.

Podemos resumir los modelos explicativos de la comprensión lectora según Vallés Arándiga (2005) en los siguientes:

- ✚ El modelo bottom-up, basado en alcanzar la comprensión lectora a partir de la decodificación de las letras, las palabras, las frases, etc., hasta llegar a la comprensión del texto. Este modelo exige que se realicen correctamente la correspondencia grafema-fonema (RCGF).
- ✚ El modelo Top-down en el que el proceso de comprensión se realiza de modo descendente, es decir, partiendo de los conocimientos del lector sobre el texto y el reconocimiento de las palabras.
- ✚ El modelo mixto, por el cual tan importante resulta el acceso fonológico como aportar el conocimiento previo del lector para que se produzca la comprensión del texto leído.

### 2.2.2 Procesos psicológicos básicos de la comprensión lectora

Para que se den los procesos cognitivos se hace necesario que podamos coordinar los procesos psicológicos que intervienen en la lectura y que son igualmente determinantes para que se produzca la comprensión lectora.

Según Vallés Arándiga (2005), serían los siguientes:

- ✚ Atención selectiva, mediante la que el lector requiere controlar y regular su atención en el texto y su contenido mientras deja al fondo en un segundo plano los estímulos bien de procedencia interna o externa que le puedan distraer y romper su atención.
- ✚ Análisis secuencial: a medida que el lector va llevando a cabo la lectura al mismo tiempo va desplazándose en el espacio y en el tiempo, palabra tras palabra, uniendo los significados de las frases, las oraciones y los párrafos hasta alcanzar la comprensión del texto completo.
- ✚ El proceso de síntesis se produce simultáneamente con el de análisis anteriormente descrito, de forma que el lector atribuye un significado a una unidad lingüística determinada convirtiéndola en una unidad coherente con significado completo determinante para el proceso de la comprensión lectora. Que el proceso de análisis-síntesis fluya sin obstáculos evita los errores de comprensión

lectora tales como inversiones, omisiones, sustituciones,...etc., y al mismo tiempo implica e incluye la necesidad de que el reconocimiento de los patrones ortográficos y la prosodia fluya igualmente.

- ✚ Memoria. Durante el proceso de lectura intervienen tanto la memoria a corto plazo como la memoria a largo plazo. La memoria a largo plazo permite que al leer se vayan estableciendo relaciones entre el conocimiento previamente adquirido y el nuevo conocimiento lo que proporcionará al lector las bases necesarias para integrar e incorporar la nueva información produciéndose un aprendizaje significativo. En lo tocante a la memoria a corto plazo se ponen a trabajar los mecanismos de relación, asociación y secuenciación temporal de forma que se van estructurando coherente y lógicamente las acciones, temas, subtemas, personajes, relaciones, descripciones u otros datos presentes en el texto de la lectura.

La continua interacción de la memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo se muestra determinante y permite la comprensión lectora.

*“Desde el punto de vista funcional la información procedente de la estimulación [...] captada por los mecanismos atencionales llega a la denominada Memoria Sensorial (MS), estructura cognitiva en la que se almacena durante brevísimo tiempo (milisegundos) y la Memoria de Trabajo u operativa la selecciona para almacenarla en la Memoria a Corto Plazo (MCP), almacén en donde permanece unos segundos, pasando al almacén de la Memoria a Largo Plazo (MLP) a través de un mecanismo de integración realizado por la Memoria de Trabajo. La evocación de los conocimientos previos existentes en el almacén MLP también es realizada por MT, que los proyecta sobre el contenido del texto que se intenta comprender, realizando las correspondientes inferencias y, como consecuencia de la comprensión parcial que el lector va realizando, es también la MT quien se encarga de depositar el producto comprensivo de modo organizado en la MLP. Este proceso interactivo o de integración entre la MCP y la MLP realizada por la MT es constante durante el proceso de lectura”.* (Antonio Vallés Arándiga, 2005, pp 56-57).

### 2.2.3 Bases neuroanatómicas implicadas en la lectura y la comprensión.

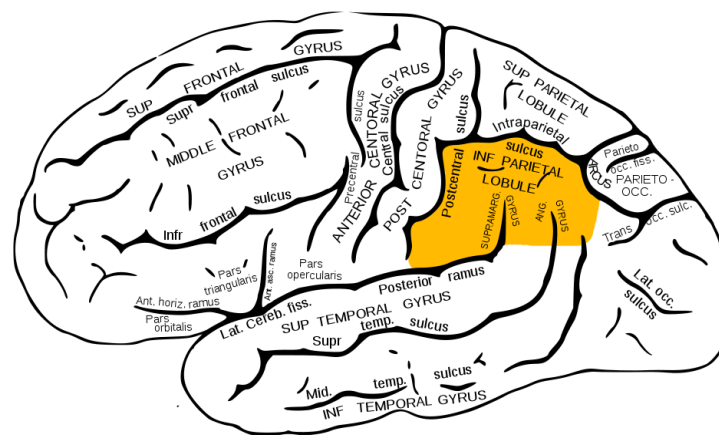
Siguiendo a autores como Muñoz Marrón (2013), Giménez Anaya (2000) y Merino y Muñoz-Repiso (2013), durante el proceso de lectura en voz alta encontramos que la información visual de las palabras leídas llega a la corteza visual primaria o área 17 de Brodmann situada en la cara medial del lóbulo occipital o cisura calcarina. De aquí pasa a la corteza visual secundaria o área 18 y 19 de Brodmann donde se analiza el color, la forma y el movimiento, y además se identifican los grafemas y su secuencia de forma. La información visual pasa posteriormente a la encrucijada occipito-parietotemporal izquierda desde donde se

proyecta al giro angular o área 39 de Brodmann donde se produce la transformación grafema-fonema, y al giro supramarginal donde se identifican los aspectos morfosintácticos y semánticos. Esta información pasa al área de Wernicke o área 22 de Brodmann situada en la región póstero-superior del lóbulo temporal izquierdo donde se reconoce el significante de las palabras.

El procesamiento de la lectura en voz alta continúa por el fascículo arqueado o haz de sustancia blanca que conecta el área de Wernicke con el área de Broca y la corteza premotora.

El área de Broca ocupa las áreas 44 y 45 de Brodmann en la parte opercular y triangular del giro frontal inferior. Está rodeada por el área premotora en el giro precentral ventral, áreas 9 y 4 dorso-lateral prefrontal, área 47 en la parte orbital del giro frontal inferior, y la ínsula anterior. (Amunts et al, 2010). La parte opercular (área 44), afecta al procesamiento sintáctico, junto con la parte triangular (área 45) que afecta también al uso del significado y a las tareas de asociación imagen-oración. El área 44 participa además en la producción y la comprensión oral.

Figura 1. Áreas cerebrales



Nota. Fuente: disponible en [http://psicologiayneurocienciaenespanol.blogspot.com.es/2013\\_08\\_01\\_archive.html](http://psicologiayneurocienciaenespanol.blogspot.com.es/2013_08_01_archive.html) [2015, 29 de junio]

Intervienen además el área 6 o áreas motoras adyacentes en el córtex premotor ventral que preparan el programa motor para la articulación del lenguaje hablado para enviarlo después a la corteza motora primaria. Se activarían también las áreas sensoriomotoras que llevan a cabo el control motor del habla. Además intervienen las estructuras subcorticales relacionadas con el lenguaje especialmente el cerebelo, los ganglios basales y el tálamo.

Teniendo en cuenta que seguimos hablando en voz alta también participarán las áreas relacionadas con el procesamiento auditivo del lenguaje hablado, lo que creará un bucle audiofonatorio al que nos referiremos más adelante.

Desde un punto de vista funcional podemos resumir la distribución anatómica de las áreas del lenguaje en varios sistemas:

- ✚ Sistema perisilviano posterior, formado por el área de Wernicke y zonas circundantes que afecta a la conversión de los sonidos y las grafías en palabras.
- ✚ Sistema perisilviano anterior, formado por el área de Broca y zonas circundantes especializado en la sintaxis del lenguaje, producción y comprensión que depende de la estructura sintáctica de la oración.
- ✚ Sistema del fascículo arqueado, que conecta los lóbulos frontales, temporales y parietales y que afectaría fundamentalmente a la unión de los fonemas entre sí.
- ✚ Sistema prefrontal medial, formado por el área motora suplementaria y el giro cingular anterior básico para la iniciación y el mantenimiento del habla.

Para explicar las bases neurológicas de la comprensión lectora tradicionalmente se ha tomado el modelo de Wernicke-Lichtheim-Geshwin en el que se representaban en forma de diagrama los circuitos implicados en la lectura en voz alta y la respuesta de una persona a la que se le pregunta, como base y modelo explicativo de la ruta que siguen ambos procesos. Este modelo ha estado vigente hasta que estudios recientes han modificado algunos de sus aspectos y han demostrado que resulta muy básico ya que además de las regiones que se asignaban al procesamiento del lenguaje existen otras regiones en las áreas frontales y temporoparietales también implicadas que han generado nuevos modelos del funcionamiento del lenguaje (Muñoz Marrón y Periañez Morales, 2013).

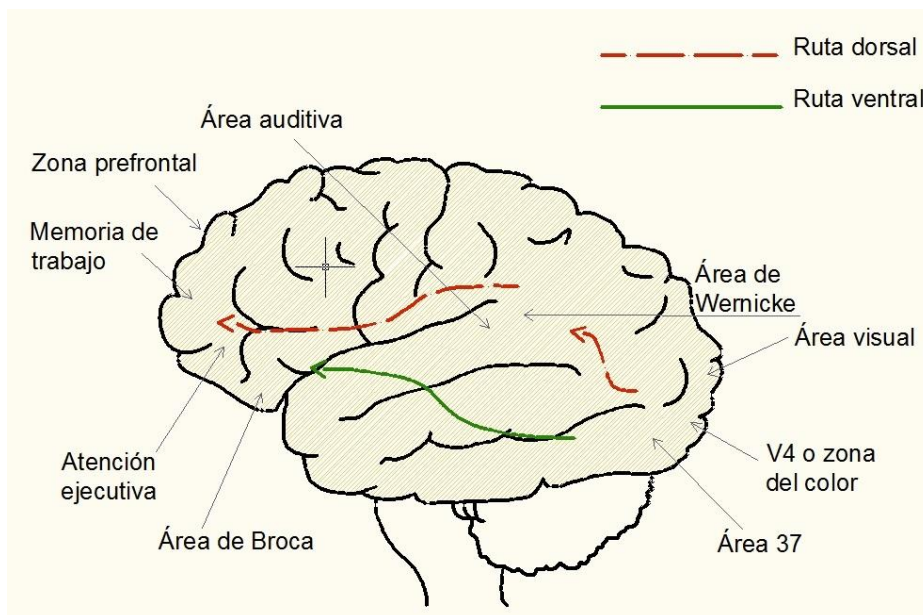
En 2004 Hickok y Poeppel realizaron una nueva propuesta que plantea la existencia de dos rutas para la comprensión del lenguaje:

- ✚ Ruta léxica o directa, que parte del análisis acústico de la información y que serviría para identificar las palabras conocidas almacenadas en nuestra memoria de palabras.
- ✚ Ruta subléxica o indirecta, que también parte del análisis acústico de la información pero que nos permite leer palabras desconocidas mediante un mecanismo de conversión grafema-fonema.

La información acústica se realizaría en las cortezas auditivas primarias del plano supratemporal de ambos hemisferios cerebrales. Posteriormente en el giro temporal superior medial-dorsal de ambos hemisferios se identifican los sonidos. A partir de aquí la ruta de procesamiento de la información se subdivide en dos:

- ✚ La ruta dorsal: las representaciones sonoras se envían a la región temporoparietal de la Cisura de Silvio del hemisferio izquierdo donde se conectan los sonidos con su representación articulada almacenada en la corteza prefrontal. Posteriormente las cortezas del surco frontal inferior, la ínsula anterior y las áreas premotoras generan el programa de articulación motor del habla que se transmitirán a las áreas motoras primarias. Esta ruta se correspondería con lo que sucede en la ruta subléxica o indirecta.
- ✚ La ruta ventral: responsable de procesar el significado de las palabras y que se correspondería con la ruta léxica y directa en la que la información sonora procesada en el giro temporal superior medial-dorsal se proyecta hacia las regiones del giro temporal medial anterior y el surco temporal inferior posterior de ambos hemisferios donde se asocia el significante a la palabra correspondiente. Una vez identificada la palabra se activaría el sistema conceptual distribuido por todo el cerebro que corresponde a análisis del significado, el uso y la morfología.

Figura 2. Ruta dorsal y ruta ventral



Nota. Fuente: dibujo propio

En lo correspondiente a la organización léxica, tradicionalmente se ha localizado en el área de Wernicke, sin embargo, investigaciones recientes llevadas a cabo por Damasio y colaboradores (2004) se establece que la denominación de herramientas se localiza en el giro frontal inferior izquierdo, los instrumentos musicales en el giro temporal superior, la denominación de animales en la circunvolución temporal inferior y medial, y los nombres de personas en el polo anterior del lóbulo frontal.



Paralelamente Indefrey y Levelt (2004) encontraron que la lectura de palabras se haya en la Porción medial del giro temporal medial izquierdo. La lectura de pseudopalabras concierne al área de Wernicke o poción posterior de los giros temporal superior y medio. Para la articulación de la respuesta sólo se activa el área de Broca o giro frontal inferior posterior izquierdo. Y para la articulación fonética de las palabras se activaron las áreas sensoriomotoras de ambos hemisferios, el área motora suplementaria derecha, el cerebelo derecho y el tálamo.

### 2.3 El sistema auditivo

La lectura puede parecer en apariencia un ejercicio puramente visual pero de hecho no lo es ya que necesita además del funcionamiento correcto del sistema auditivo en su conjunto, que resulta básico para la organización de la conciencia fonológica.

La conciencia fonológica según Cervera (2001) es el elemento que más influencia tiene en el aprendizaje de la lectura. Existen múltiples definiciones y denominaciones sobre la conciencia fonológica, pero todos ellos hacen referencia a los procesos fonológicos que se desarrollan a distintos niveles de complejidad cognitiva durante el proceso de prelectura y de aprendizaje de la lectura propiamente dicho (Bravo Valdivieso, 2002). Anteriormente Ehri et al (2001) concluyeron que para ayudar a los niños en el aprendizaje de la lectura es importante la instrucción fonológica. Paralelamente Hernández Valle y Jiménez (2001) establecieron que la edad es un factor importante para el trabajo con la conciencia fonológica. La instrucción resultará más eficiente a edades más tempranas haciéndose más resistente a edades más avanzadas.

La instrucción fonológica se puede llevar a cabo gracias a la plasticidad de los mecanismos neurológicos que intervienen en la lectura y que pueden ser modificados mediante la educación del sistema auditivo, por lo que es necesario que funcione correctamente en toda su complejidad.

#### 2.3.1 Anatomía y fisiología del sistema auditivo

El sistema auditivo es un órgano bilateral localizado a ambos lados del cráneo, en el interior del hueso temporal. Está formado por tres áreas anatómicas claramente diferenciadas: el oído externo, el oído medio y el oído interno.

El oído externo se encuentra situado en la parte media del cráneo, mide 2.5 cm y está a su vez formado por el pabellón auricular externo, el conducto auditivo y el tímpano. El pabellón auricular externo es una estructura fibrocartilaginosa elástica en su interior y revestido por piel en el exterior en la que se encuentran una serie de pliegues que proporcionan la morfología de la oreja. El conducto auditivo comienza en el orificio auditivo y consiste en un tubo estrecho de unos 0.7 mm de diámetro y unos 2.7 mm

de longitud que se extiende hacia el interior y está formado por una porción ósea del hueso temporal y una porción cartilaginosa externa. Este conducto está formado por unos folículos pilo sebáceos y glándulas productoras de cerumen que evitan la entrada de partículas y que al mismo tiempo están encargados de expulsar al exterior el cerumen, así como una serie de células que inhiben o contrarrestan la acción de bacterias de forma que se evite ocasionar lesiones tanto a la membrana timpánica como al mismo conducto. El tímpano es una membrana fibrosa fina y delicada que cierra herméticamente el canal auditivo y que conecta el oído externo con el oído medio. Es una membrana circular, cóncava de color gris y de unos 8 o 9 mm de diámetro. Las ondas sonoras procedentes del exterior hacen vibrar esta membrana y transmite la vibración al oído medio.

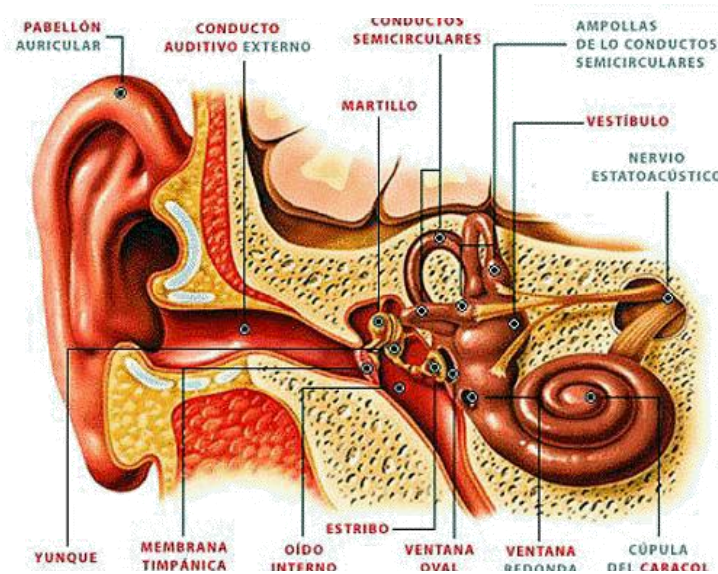
El oído medio está formado por la caja del tímpano, la trompa de eustaquio y las cavidades mastoideas; y tiene como función conducir la onda sonora hasta el oído interno. La caja timpánica es una cavidad llena de aire que se abre a las celdas aéreas mastoideas y a la trompa de Eustaquio. Dentro de la caja timpánica se encuentran tres pequeños huesos llamados martillo, yunque y estribo que forman la cadena ósea articulada y están sujetos por músculos y ligamentos muy delgados que sirven para adherirlos a las paredes de la caja timpánica y que le proporcionan la movilidad necesaria para transmitir el sonido. El mango del martillo se inserta en el tímpano y su cabeza se articula con el yunque que a su vez se articula con el estribo, y la base del estribo contacta con la ventana oval que pertenece al oído interno gracias al ligamento anular que lo fija sin obstaculizar su acción vibratoria. Además de la ventana oval podemos encontrar la ventana redonda situada debajo de la oval, y que supone un punto de conexión entre el oído medio y el interno. Está también recubierta con una membrana flexible y elástica que vibra cuando el estribo se mueve. Las cavidades mastoideas están formadas por cavidades irregulares dentro del hueso temporal que tienen como función reforzar la audición del sonido. La trompa de Eustaquio pone en comunicación el oído medio con la faringe y se encarga no solo de cumplir una función evacuativa sino también una función neumática que permite equilibrar la presión interna con la externa, con el fin de que el tímpano mantenga su posición original.

El hueso temporal está formado por la unión de cuatro huesos: 1.- hueso timpanal o porción ósea del conducto auditivo y parte del oído medio; 2.- escama del temporal que se corresponde con parte de la bóveda craneana; 3.- apófisis mastoides que se comunica con el oído medio; y 4.- la pirámide petrosa donde se ubica el oído interno. El oído interno está formado por el vestíbulo, los canales semicirculares, y la coclea o caracol. El vestíbulo es una cavidad irregular, ovoide, de unos 4mm que se comunica con el oído medio por la ventana oval y la ventana redonda y que contiene igualmente la espiral del conducto coclear y la cóclea ósea. Está formado por el sáculo, el utrículo y los tres canales semicirculares. Los tres canales semicirculares emergen de la pared del vestíbulo y regresan a él, cada uno formando dos tercios de un

círculo. Esta es la parte más antigua en la evolución del sistema auditivo. El utrículo organiza el movimiento en el plano horizontal al nivel de la cabeza, el sáculo organiza el movimiento en el plano vertical al nivel de la columna y los canales semicirculares detectan el movimiento en todas las direcciones y posibilita que el cuerpo se mueva en el espacio. El Organó de Corti, los receptores sensoriales de la audición y las estructuras de soporte, están localizadas en la membrana basilar situada dentro de la cóclea, el órgano propiamente de la audición que aparece en la evolución después del vestíbulo. El órgano de Corti es el responsable de transformar el estímulo mecánico procedente del oído medio en un impulso eléctrico que se transmitirá al cerebro mediante el nervio auditivo.

Dentro del sistema auditivo se encuentra el mecanismo vestibular y el mecanismo auditivo. El mecanismo vestibular no se activa por estímulos externos sino por los movimientos propios del cuerpo por lo que pertenece al sentido propioceptivo. El mecanismo coclear juega un papel distinto encargándose de la audición.

Figura 3. Anatomía del oído



Nota. Fuente: disponible en

[http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(4\)%20efectos%20del%20Ouido/anatomia%20y%20fisiologia%20del%20oído.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(4)%20efectos%20del%20Ouido/anatomia%20y%20fisiologia%20del%20oído.htm) [2015, 29 de junio]

Desde un punto de vista fisiológico el proceso de la audición se divide en dos partes: una parte mecánica y una parte en la que interviene el sistema nervioso.

La parte mecánica se inicia el pabellón auricular externo capta los sonidos y ya empieza a aumentar la audición mínimamente. El sonido pasa desde aquí al conducto auditivo externo que sirve como resonador

acústico de banda ancha, ya que gana 10 dB en la banda de frecuencia comprendida entre 2 y 6 KHz, para pasar a hacer vibrar el tímpano por la presión de la onda sonora. Cuando las frecuencias son superiores a 2.400 Hz. la vibración de la membrana timpánica se realizará por segmentos separados, mientras que vibrará como un solo cuerpo rígido con las frecuencias graves. Esta vibración produce un movimiento en la cadena osicular de forma que al final el estribo golpea la membrana que recubre la ventana oval. En este trayecto el estímulo sonoro se ha convertido en estímulo mecánico. Para contrarrestar la pérdida producida por la erosión del sonido al pasar por un medio mecánico se encuentran dos mecanismos: la relación de superficies y el sistema de palanca. La relación de superficies implica que la membrana timpánica es 17 veces mayor que la membrana de la ventana oval por lo que la proyección hacia una superficie menor refuerza el sonido. El sistema de palanca implica que la cadena osicular actúa como una palanca aumentando la fuerza del sonido. Los dos mecanismos unidos consiguen de esta forma aumentar la energía del sonido y que se transmita sin pérdida hasta el oído interno.

El estímulo mecánico pasa a través de la platina del estribo a la ventana oval que desplazándose dentro-fuera modifica la presión de los líquidos internos del oído con lo que se inicia la transformación de la energía mecánica en energía electroquímica que se transmitirá posteriormente al cerebro.

Georg Von Békésy estableció la “Teoría de la Localización” por la que recibió el Premio Nóbel en 1961. Esta teoría describe el funcionamiento del oído interno de la forma siguiente: el estribo empuja la ventana oval produciendo una presión que obliga al líquido linfático a fluir haciendo que la membrana basilar se deforme hacia abajo. Al mismo tiempo la membrana de la ventana redonda se desplaza hacia afuera. Cada punto de la membrana de la ventana oval responde a una determinada frecuencia: las más altas se encuentran en la base y las más bajas en el ápice. De la misma manera que sucede a lo largo de toda la membrana basilar que es más estrecha y rígida por la base y más ancha y flexible por el extremo superior. En función del punto de excitación de la membrana basilar y de la periodicidad de los impulsos nerviosos enviados a través de las distintas fibras se estimarán posteriormente las cualidades sonoras del estímulo en el colículo inferior.

En todo este proceso son concretamente las células ciliadas que se encuentran en el órgano de Corti las que actúan como receptores mecánicos, que en contacto con la membrana tectorial que por la acción de los líquidos deforma y activa las células ciliadas, producirán el proceso electroquímico que se transmitirá por el par VIII o nervio vestíbulo-coclear, que llega hasta el núcleo coclear situado en el tronco del encéfalo. De aquí se dirige a los núcleos olivares superiores y al tubérculo cuadrigémino también en el tronco cerebral para pasar posteriormente al colículo inferior donde se analiza la frecuencia, la intensidad y el

tempo del sonido. De aquí pasa por el tálamo, exactamente el cuerpo geniculado medial, que llevará la información al área temporal de la corteza cerebral.

Esta vía aferente está regulada a su vez por tres vías eferentes que permite que el oído interno reciba información de la corteza cerebral: 1.- vía eferente de Rasmussen o haz nervioso que va desde la corteza hasta la base de las células cilíadas y tiene como función dirigir la atención hacia determinados sonidos; 2.- vía reticulada que facilita o inhibe el mecanismo de los estímulos aferentes según sus características; y 3.- vía del sistema nervioso autónomo que pone en relación el sistema simpático y parasimpático con la vía auditiva. Estas proyecciones tienen como función la modificación de la información ascendente ya que influyen en las respuestas neuronales de los mecanismos subcorticales dependiendo de la plasticidad.

### 2.3.2 Plasticidad del sistema auditivo

Durante los últimos años se ha venido estudiando la capacidad de reorganización de los mapas sensoriales auditivos mediante una modificación de las características sonoras de los estímulos sonoros aferentes y los mecanismos que intervienen en esa reorganización (Escera, 2014).

Para que se considere este proceso dentro del concepto de plasticidad neuronal es necesario que se modifique la respuesta neuronal y además que el cambio sea persistente y a consecuencia de un proceso de adaptación a unos estímulos cambiantes del entorno, lo que permitiría el aprendizaje a lo largo de toda la vida.

Existe una etapa breve de elevada receptividad del sistema nervioso conocida como “período crítico”. La plasticidad neuronal durante este período alcanza su máximo exponente lo que facilita la adaptación del cerebro a su entorno. De ahí la facilidad con la que los niños educados en distintos entornos lingüísticos adquieren las características sonoras de su lengua materna. La exposición al sonido produce un desarrollo auditivo normal y la generación de las sinapsis adecuadas a la actividad que tiene el sistema auditivo durante esta etapa del desarrollo.

En un estudio realizado con ratas en la que se les exponía a un tono puro durante el período crítico se observó que la corteza auditiva respondió a la estimulación incrementando el número de neuronas que respondían a esta frecuencia de estimulación. (De Villers-Sidani, Chang, Bao y Merzenich, 2007). Esta reorganización neuronal es un ejemplo de plasticidad cerebral que depende de la modificación de un estímulo externo o plasticidad pasiva. Sin embargo este estudio no deja claro si este tipo de plasticidad se genera corticalmente o se transmite a la corteza desde los centros subcorticales de la audición. En un estudio posterior se pudo ver cómo la codificación de las características propias de los sonidos musicales y

del lenguaje se produce en el colículo inferior situado en el tronco del encéfalo. (Kraus y Chandrasekaran, 2010).

Posteriormente en un estudio realizado con gatos adultos por Eggermot y col. (2012) se pudo ver cómo una exposición pasiva a largo plazo a un entorno con sonidos con características sonoras modificadas produce una reorganización del mapa tonotópico del córtex auditivo. Lo que nos lleva a pensar que el sistema auditivo mantiene su plasticidad incluso durante la edad adulta, y parece ser que para que se produzcan estos cambios son muy importante las características del estímulo sonoro.

Lo que se viene demostrando junto con otras investigaciones realizadas en este campo es la capacidad del sistema auditivo para cambiar en función de las modificaciones realizadas en los estímulos sonoros externos a lo largo de toda la vida del individuo.

### 2.3.3 Percepción acústica: física de la audición

El funcionamiento del oído responde a leyes físicas. Sin embargo la complejidad del proceso ha dificultado hasta ahora el establecimiento de un modelo científico que permita elaborar leyes que puedan expresarse mediante ecuaciones. Debido a que el cerebro se rige por leyes psicológicas que poco tienen que ver con la física se hace difícil abordar la audición desde este punto de vista. Sin embargo la Acústica ha desarrollado diversos modelos que se usan en la actualidad.

Según Merino y Muñoz-Repiso (2013), el oído puede percibir desde sonidos muy débiles hasta sonidos muy fuertes dentro del umbral de audición, pero el cerebro no percibe la estimulación de forma proporcional a la intensidad del estímulo, sino que la sensación que un estímulo acústico produce es proporcional al logaritmo decimal de su intensidad. Por ello la física de la audición distingue dos magnitudes distintas: la intensidad acústica y el nivel acústico.

La intensidad sonora sería la energía en forma de onda sonora. El nivel acústico es una magnitud que representa de forma bastante cercana la sensación de que los sonidos producen en el sistema auditivo. Este nivel se puede cuantificar teniendo en cuenta la intensidad, la presión acústica y la potencia acústica, y se definen como el logaritmo del cociente entre la intensidad, la presión o la potencia acústica y la intensidad, la presión o la potencia acústica umbral mínima audible.

La sensación acústica estaría determinada de esta forma por la intensidad del umbral. Debido a la diferencia que existe en la capacidad para oír sonidos y la variabilidad de los valores del umbral para cada persona, la Acústica tiene establecido un valor basado en las estadísticas para el umbral. Así el nivel

acústico se mide en fonos y se denomina loudness. Los niveles acústicos medidos en fonos y en decibelios no tienen el mismo valor pero son valores bastantes aproximados.

Esta forma de medir la sensación acústica no mide exactamente la sensación que el sonido produce en todas las frecuencias que podemos oír. Para mejorar la posibilidad de cuantificar la sensación acústica de los sonidos se ha establecido la escala sónica, cuya unidad es el sono. El sono sería la sensación acústica que produce un tono puro de 1 KHz con un nivel de intensidad de 40 fonos. La escala se obtiene a partir de la aplicación de una fórmula propuesta por la International Standards Organization (ISO). De esta forma se obtiene el comportamiento del sistema de percepción del sonido a lo largo del espectro audible para distintos niveles de presión acústica. El máximo se encuentra en la banda 2000-4000 Hz que es la banda de frecuencia a la que el oído es más sensible. Sin embargo los máximos menos pronunciados se encuentran en la banda entre 100 y 800 Hz que se corresponde con los sonidos propios del habla. Este fenómeno es natural teniendo en cuenta que la supervivencia y el éxito de la especie se basan básicamente en la comunicación entre los miembros del grupo.

En este proceso de percepción auditiva y del lenguaje como una función natural aparecen dificultades que aunque no se reflejan en las audiometrías podrían tener su causa en el funcionamiento del sistema auditivo central y del procesamiento de la percepción acústica según Anderson y Kraus 2010 recogido por el Dr. Escera (2014). Sin embargo estudios recientes como el realizado por Ekkerhard Stürzbecher y col. (2001) sobre la modificación de la amplitud de la frecuencia muestran como si se incrementa la activación de la membrana basilar, aumenta la codificación de las características sonoras del habla y ayuda a mejorar la percepción auditiva del habla.

#### 2.3.4 Conducción ósea

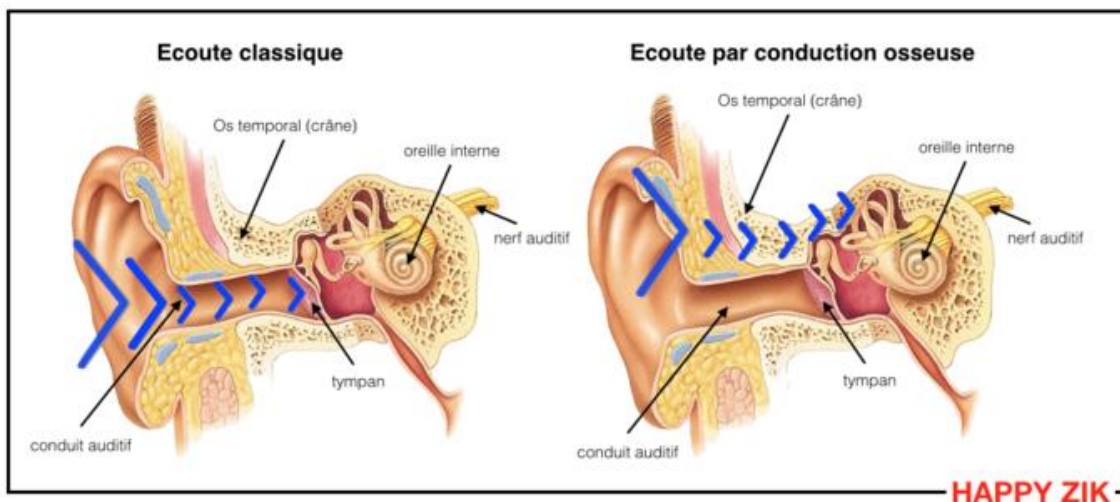
La trayectoria que siguen las ondas sonoras desde el oído externo hasta la corteza temporal, es la vía acústica común. Esta vía, generalmente se designa con el nombre de vía aérea, en contraposición con la denominada vía ósea. Gracias a los estudios de von Békésy, se ha comprobado que el cráneo vibra de forma diferente según sea la frecuencia del estímulo sonoro, igual que lo hace la membrana timpánica. Si la frecuencia es grave (menor de 800 Hz), el cráneo vibra como una lámina compacta y la cadena osicular sigue su movimiento, provocando que el estribo se quede fijo mientras el cráneo se desplaza (efecto contrario en la conducción aérea). Esta conducción es la llamada "ósea inercial".

Pero si la frecuencia está entre 800 y 1600 Hz, la elasticidad del cerebro entra en juego y si se encuentra por encima de 1600 Hz, este vibra por secciones, produciendo compresiones y dilataciones de las estructuras craneanas, lo que da lugar a la conducción ósea "por compresión" que se produce gracias a la

relación de elasticidad que existe entre la ventana redonda y la oval, que permite la estimulación de la membrana y que se desencadene el proceso electroquímico y la conducción del impulso nervioso hasta el cerebro.

Reinfeld y col. (2010) han establecido recientemente que la percepción de los sonidos tanto por vía aérea como por vía ósea, realizados por uno mismo puede variar en función de la frecuencia y del fonema que se pronuncia. Así por conducción ósea se reciben los sonidos con frecuencias por debajo de los 2 KHz generados por vocales nasales, mientras que los sonidos por encima de los 2 KHz prefieren la conducción aérea.

Figura 4. Conducción aérea y ósea



Nota. Fuente: disponible en

[http://www.lookfordiagnosis.com/mesh\\_info.php?term=conducci%C3%B3n+%C3%B3sea&lang=2](http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=conducci%C3%B3n+%C3%B3sea&lang=2) [2015, 29 de junio]

Así, la presentación de estímulos vía ósea aumenta las posibilidades de enriquecimiento del ambiente auditivo de forma que se pueda mejorar la plasticidad auditiva pasiva. Desde el punto de vista fisiológico, la vía ósea permite determinar el tipo de hipoacusia presentada por un individuo, siendo de valor incalculable su aporte en el establecimiento del diagnóstico médico.

### 2.3.5 Bucle fonoarticulatorio

Tradicionalmente se ha establecido que la percepción y la producción del lenguaje son dos procesos interdependientes. La producción del habla va a depender de la forma en que se escucha y se perciben los sonidos. Según el Dr. Tomatis (1987), cada sonido que emitimos está controlado por el sistema auditivo



creando unos circuitos o loops que controlan el proceso perceptivo del lenguaje mediante un sistema de retroalimentación en el que intervienen el sistema auditivo y el sistema nervioso. El mecanismo de control se ejerce sobre diferentes parámetros del lenguaje como intensidad, timbre, articulación, tono melódico de la frase y selección del vocabulario entre otras.

A lo largo del proceso de percepción y producción del lenguaje el sistema auditivo organiza la información que recibe de las áreas sensoriales procedentes de la conducción aérea y la conducción ósea conectadas a su vez con los mecanismos motores del habla.

Los circuitos de control según el Dr. Tomatis serían los siguientes:

- ✚ Circuito audiofacial: basado en la implicación de los músculos faciales en el proceso de escucha y producción del lenguaje, específicamente el nervio trigémino que enerva el estapedio.
- ✚ Circuito audio-mandibular: basado en la intervención de los músculos tensores y flexores del par craneal V y VII que facilitan la apertura de la mandíbula.
- ✚ Circuito audio-laríngeo: uno de los más importantes ya que en la laringe se origina el sonido que se produce por la vibración de las cuerdas vocales al paso del aire. El sistema nervioso regula la tensión de las cuerdas vocales y el del paso del aire de forma que la vibración se acomode al tono requerido. En este circuito intervienen además el control de la respiración. El sonido producido por la laringe es controlado por el sistema auditivo a través de la conducción aérea y la conducción ósea. Este circuito permite el control de la producción audio-vocal y permite establecer que “la voz sólo contiene lo que el oído puede escuchar”.
- ✚ Circuito audio-faríngeo: que permite mantener la garganta abierta con la ayuda de los músculos dilatadores y la lengua y coordinarse con la acción de la laringe durante la producción del lenguaje.
- ✚ Circuito audio-lingual: el sistema auditivo controla el funcionamiento de la lengua de dos formas: despejando la faringe como se ha descrito antes y situándose dentro de la cavidad bucal para dar forma a los sonidos.
- ✚ Circuito audio-torácico: el tórax contiene los pulmones rodeados por los músculos dorsales, pectorales, intercostales y el diafragma. La cooperación de la laringe con el sistema audiotorácico es fundamental ya que controla la respiración y el flujo de aire a través de la laringe. El funcionamiento de la laringe y las cuerdas vocales depende del buen funcionamiento de este sistema.

- ✚ Circuito audio-bocal y audio-nasal: el funcionamiento adecuado de la boca y las fosas nasales depende de la correcta articulación de la lengua, los músculos de la masticación y los músculos faciales, pertenecientes a los pares craneales V, VII y XII.
- ✚ Circuito audio-recurrente: la regulación de la laringe se lleva a cabo a través de los nervios recurrentes izquierdo y derecho. La asimetría de estos dos nervios es fundamental para establecer la lateralidad de la voz considerada importante en técnica vocal para el desarrollo del lenguaje y la gestualidad que le acompaña.
- ✚ Circuito audio-lumbar-sacral: el vestíbulo controla la posición necesaria para emitir el lenguaje.
- ✚ Circuito audio-cervical: la cervical y la posición del cuello es controlada por el sistema cócleo-vestibular.
- ✚ Circuito audio-corporal: todo el cuerpo interviene en la producción y la calidad sonora del lenguaje.

A pesar de que todavía algunos de estos circuitos como el control de la posición corporal por el sistema cócleo-vestibular no están claros y como se ha mencionado con anterioridad se sabe que el mecanismo vestibular no se activa por estímulos externos sino por los movimientos propios del cuerpo por lo que pertenecería al sentido propioceptivo, y a pesar de las evidencias que nos indican que el sistema auditivo interactúa con la producción y la percepción del habla, existen estudios que establecen que la alimentación auditiva sensorial directa no es necesaria para la producción del habla tal y como establece Hickok y col. (2011).

Hickok por su parte también ha identificado el área Spt considerada el centro de la integración sensoriomotora para el habla y la producción del habla. Esta área se encuentra implicada en el control de la realimentación auditiva en la producción del habla por lo que se modifica el modelo de control de la realimentación del Dr. Tomatis (1987) que no se basa en la alimentación sensorial directa sino en el control de la realimentación obtenida a través de la conducción ósea que permite realizar una predicción del sonido que se espera oír. Esta predicción tiene una doble consecuencia: proporciona la información necesaria para que se produzca la acción correctiva y compara el sonido producido con su modelo interno y se prepara para su corrección en caso necesario. De ahí que según el Dr. Escera (2014) usar la propia voz es suficiente para generar señales correctivas para la organización motora del habla. Si la propia voz se encuentra modificada es posible que se produzcan cambios plásticos en el bucle fonoarticulatorio.

Con todo esto se hace necesario comprobar mediante un estudio de campo si el uso del Forbrain contribuye a la modificación y reorganización de la conciencia fonológica mejorando los resultados de los procesos lectores.

### 3. Marco Metodológico (materiales y métodos)

El instrumento de trabajo fundamental es el Forbrain. Se trata de un dispositivo formado por un par de transmisores de conducción ósea y un filtro dinámico que modifica la voz. La combinación de estos dos mecanismos permite trabajar el bucle audio vocal. El bucle audio-vocal es el proceso por el que una persona percibe, analiza y asimila la información sonora que emite, al mismo tiempo que va ajustando la información sonora que emite con su propia voz. Que el bucle audio vocal funcione bien dependerá de la discriminación auditiva, la conciencia fonológica y el ritmo individual. Estas funciones son fundamentales en todos los procesos de aprendizaje. Con la optimización del bucle audio vocal además podemos mejorar: la expresión y la fluidez oral, la lectura y la escritura, la atención, la concentración y la memoria de trabajo y a corto plazo.

El mecanismo usa tanto la conducción aérea, como la conducción ósea sin bloquear la conducción aérea natural, lo que mejora la percepción de los sonidos. Los auriculares de conducción ósea se apoyan sobre el hueso mastoideo situado justo delante de los oídos por lo que se puede seguir oyendo los sonidos ambientales con normalidad.

El usuario escucha su propia voz filtrada según una configuración específica que se activa automáticamente con las vocales largas y al inicio de las palabras. Estos sonidos son fundamentales para la construcción del lenguaje ya que determinan el ritmo y la prosodia, lo que permite comprender su contenido. El filtro a su vez amplifica las frecuencias altas y disminuye simultáneamente las frecuencias bajas. Los sonidos altos producen una contracción del músculo tensor del tímpano y del estapedio lo que produce un aumento de la sensibilidad a los sonidos de alta frecuencia de forma que se atenúa la transmisión del sonido al oído interno y favorece la transmisión de los sonidos de baja frecuencia al oído interno.

Para comprobar su incidencia en el proceso de lectura se va a pasar el test Prolec antes y después de trabajar con el Forbrain.

El Prolec es una batería de tests que evalúan los procesos lectores mostrando qué procesos cognitivos pueden estar fallando e impidiendo que los niños se conviertan en buenos lectores. La batería está formada por nueve tareas, de las cuales y por una cuestión de escasez de tiempo vamos a aplicar la versión reducida: 1.- Nombre de letras (NL); 2.- Lectura de pseudopalabras (LS); 3.- Estructuras gramaticales (EG); y

4.- Comprensión de textos (CT). Estas cuatro pruebas son las que mejor funcionamiento psicométrico obtuvieron y con su aplicación se pueden obtener los índices principales: NL, LS, EG, Y CT tanto en potencia como en velocidad o tiempo de ejecución.

**Nombre de letras (NL):** se trata de comprobar si se conocen todas las letras y su pronunciación. La medida del tiempo proporcionará información sobre si el reconocimiento está o no automatizado. Se presentan 23 letras que se deben nombrar o reproducir su sonido. Se valora tiempo de ejecución y precisión.

**Lectura de pseudopalabras (LS):** o lectura de palabras inexistentes indica la capacidad del lector para pronunciar palabras desconocidas. Se presentan treinta palabras y se valora precisión y tiempo de ejecución. Un exceso de errores indicaría que no se tiene bien adquiridas las reglas de conversión grafema-fonema.

**Estructuras Gramaticales (EG):** se trata de comprobar la capacidad sintáctica de los lectores. Se presentan dieciséis ítems más uno de aprendizaje formado por cuatro dibujos que se corresponden con la oración. Se valora precisión y velocidad de ejecución.

**Comprensión de textos (CT):** se trata de comprobar la capacidad comprensiva del lector. Se presentan dieciséis oraciones y se deben atender a las instrucciones de cada una de ellas. Se valora precisión y velocidad.

### 3.1 Diseño

Se presenta un estudio experimental, con asignación aleatoria de los grupos y con grupo de control adecuado. Este estudio nos permite generar una visión general del funcionamiento del dispositivo, mediante un estudio antes-después de una variable relevante: comprensión lectora.

### 3.2 Variables medidas e instrumentos aplicados

Las variables que se miden se corresponden con los índices principales: NL-P, NL-V, LS-P, LS-V, EG-P, EG-V, CT-P y CT-V, antes y después del trabajo con el Forbrain.

Para estudiar las diferencias entre pretest y postest, con grupo de control, hay que hacerlo en tres pasos:

1. Analizar diferencias en el pretest entre grupo de control y experimental. Lo que interesa es que los grupos sean equivalentes, que no haya diferencias.
2. Comprobar las diferencias entre pretest y postest, de forma comparada para grupo control y experimental.
3. Analizar las diferencias entre el grupo de control y el experimental en el postest.

Todas las comparaciones se hacen con la prueba T en sus versiones para grupos independientes y relacionados.

### **Prueba T**

La prueba T de Student es un estadístico paramétrico que se utiliza cuando se desea comparar los resultados obtenidos por dos grupos de sujetos independientes con variables cuantitativas. Esta prueba tiene como propósito comparar las medias de los resultados antes y después de la investigación.

Para realizar esta prueba T, en primer lugar se lleva a cabo otro contraste estadístico para averiguar si las varianzas de los grupos que se comparan son iguales, es la prueba F de Levene. Es un requisito necesario para aplicar esta prueba. En función de si las varianzas son o no iguales la forma de calcular el valor de T cambia. Así que este primer contraste nos guía en la tabla para saber qué valor se debe utilizar. Cuando el valor de la F tiene una probabilidad por encima de 0,05 debes utilizar el valor de T de la línea “se han asumido varianzas iguales” y si está por debajo debes seguir el de la línea “No se han asumido varianzas”.

### 3.3 Población y muestra

Se estudia una población escolar normal. La muestra es sistemática, formada por 30 alumnos de segundo curso de Primaria del Colegio El Limonar, un colegio concertado situado en la zona El Limonar de Málaga. La zona cuenta con un nivel socio-económico medio-alto. Criterio de selección: raza blanca, español y tramo de edad entre los 6 y los 8 años. Se les pasará a todos la versión reducida del test Prolec y se trabajará con ellos el Forbrain durante 10 minutos, 10 días, para volver a pasar a todos el test después de este período de trabajo.

De los 30 alumnos, el grupo de investigación está formado por 15 alumnos seleccionados teniendo en cuenta el lugar que ocupa en el listado del colegio y obtenidos según los números pares. El grupo de control correspondería a los números impares de la lista escolar. Durante todo el proceso los alumnos del grupo de investigación llevarán el Forbrain durante los diez minutos diarios y diez días que dura la lectura. El grupo de control no usará Forbrain y seguirá atendiendo las clases habitualmente. A los dos grupos se les evaluará mediante la batería PROLEC antes y después del uso del dispositivo por el grupo de evaluación. Para la lectura se usa el siguiente libro:

Dubovoy, S. (2008). *Cuentos para antes de dormir de todo el mundo*. León: Everest.

Los alumnos van eligiendo qué cuentos leen libremente y si se dejan alguno sin terminar se les da la oportunidad de acabarlo al día siguiente, de forma que las lecturas sean diversas e interesantes para ellos.

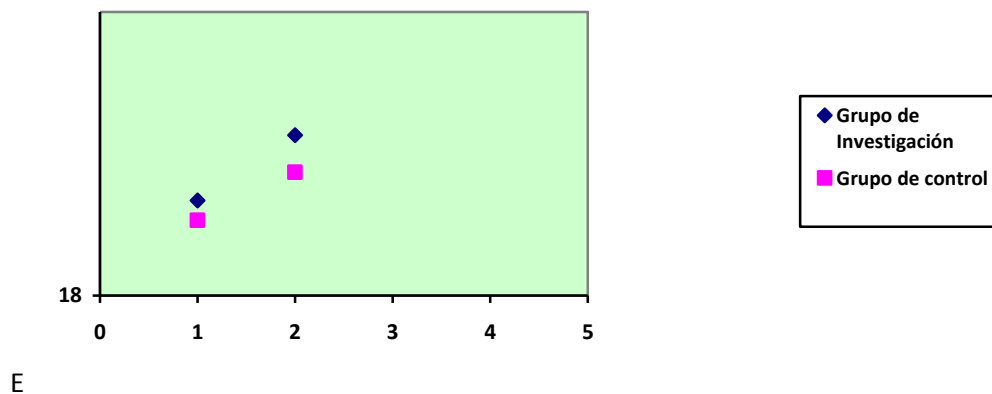
Límites de la muestra: no se aplica test de coeficiente intelectual, pero teniendo en cuenta el entorno socio-económico, la exigencia del colegio y de su entorno familiar se estima su CI por encima de 85. No se excluye ningún caso.

## 4. Resultados

Una vez realizada la prueba T de Student y la prueba F de Levene se puede ver que en el pretest no existen diferencias significativas entre el grupo de control y el grupo experimental.

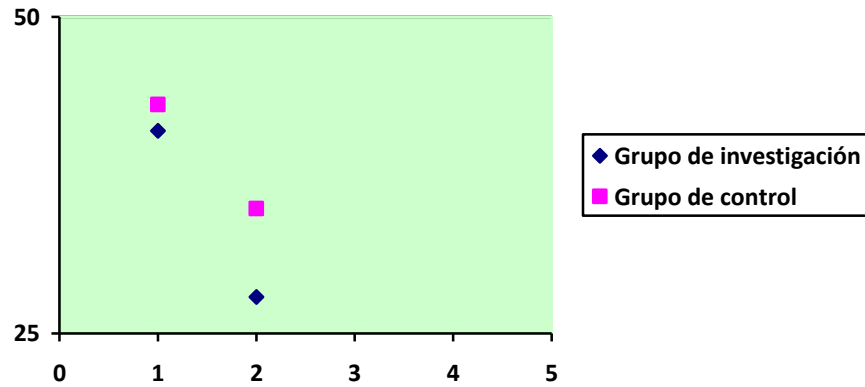
Si se analizan las variables que se han evaluado, en la prueba Nombre de Letras, la media de la potencia obtenida en el pretest es 18.5333, y el resultado en el postest es 18.8667 para el grupo de control mientras en el grupo experimental el pretest arroja una media de 18.6667 y el postest 19.1333. En esta prueba a pesar del pequeño incremento que se aprecia en el gráfico de la tabla 1 no se produce una diferencia significativa en el grupo experimental con respecto al grupo de control.

Tabla 1. Nombre de Letras (NL). Precisión de la ejecución.



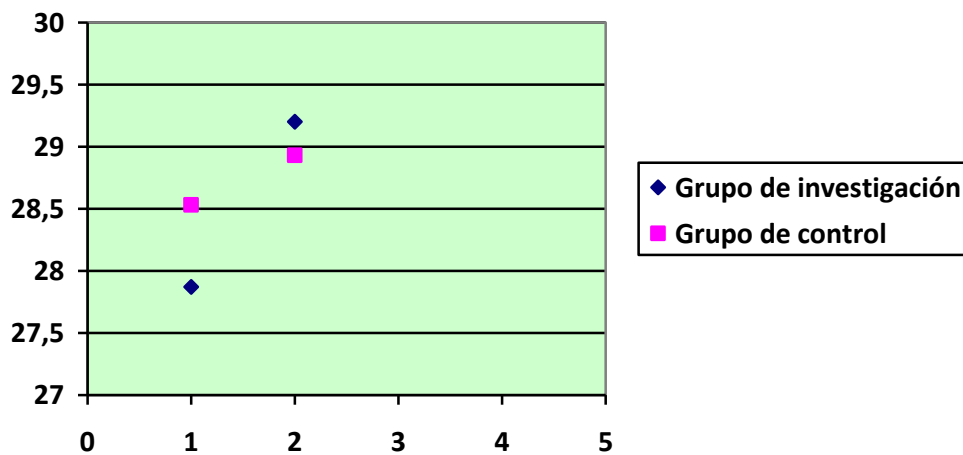
Con respecto al tiempo de ejecución de esta subprueba el grupo de control obtiene en el pretest una media de 43.0667 y en el postest de 34.8667. El grupo experimental obtiene una media en el pretest de 41.00 y en el postest de 27.8667. En esta prueba el grupo experimental sí obtiene una ventaja significativa sobre el grupo de control tal y como se puede ver en la tabla 2 donde se aprecia que el descenso en el tiempo de ejecución de la prueba es mayor en el grupo de investigación que en el grupo de control. La prueba T para muestras independientes muestra que existen diferencias significativas entre los resultados de la subprueba NL(T) antes y después de la intervención,  $t(1, 14) = 9.952$ ;  $p = 0.000$ .

Tabla 2. Nombre de Letras (NL). Tiempo de ejecución.



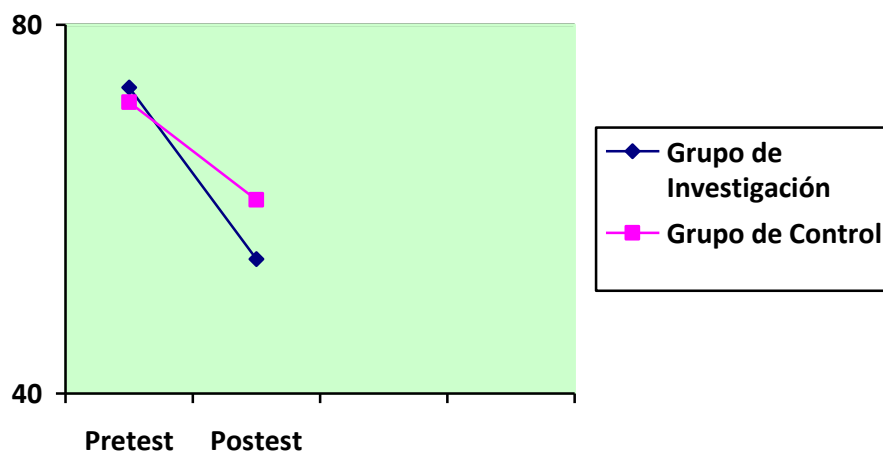
La prueba Lectura de Pseudopalabras arroja los siguientes datos en lo tocante a la potencia de la ejecución: el grupo de control obtiene una media de 28.5333 en el pretest que pasa en el postest a 28.9333. El grupo experimental obtiene una media en el pretest de 27.8667, para pasar en el postest a una media de 29.2000 que se refleja en la tabla 3 donde se puede ver que después de los diez días de uso del dispositivo el grupo de investigación sobrepasa la media del grupo de control que crece menos. La prueba T para muestras independientes demuestra que existen diferencias significativas entre los resultados de la subprueba LP(P) antes y después de la intervención,  $t(1, 14) = -2.870$ ;  $p = 0.012$ .

Tabla 3. Lectura de Pseudopalabras (LP). Precisión de la ejecución.



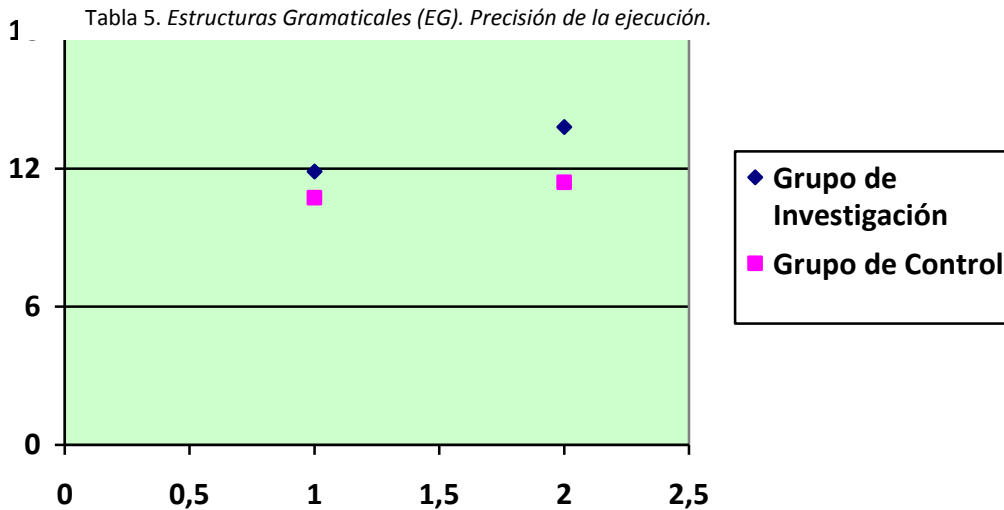
En lo que se refiere al tiempo de la ejecución de la subprueba Lectura de Palabras el grupo de control obtiene en el pretest una media de 71.6000 y en el postest de 61.0000. Sin embargo el grupo experimental obtiene una media de 73.2000 en el pretest y de 54.6000 en el postest tal y como se puede observar en la tabla 4 donde se puede observar gráficamente una disminución del tiempo de ejecución significativa en el grupo de investigación con respecto al grupo de control. La prueba T para muestras independientes demuestra que existen diferencias significativas entre los resultados de la subprueba LP(T) antes y después de la intervención,  $t(1, 14) = 7.744$ ;  $p = 0.000$ .

Tabla 4. Lectura de Pseudopalabras (LP). Tiempo de la ejecución.



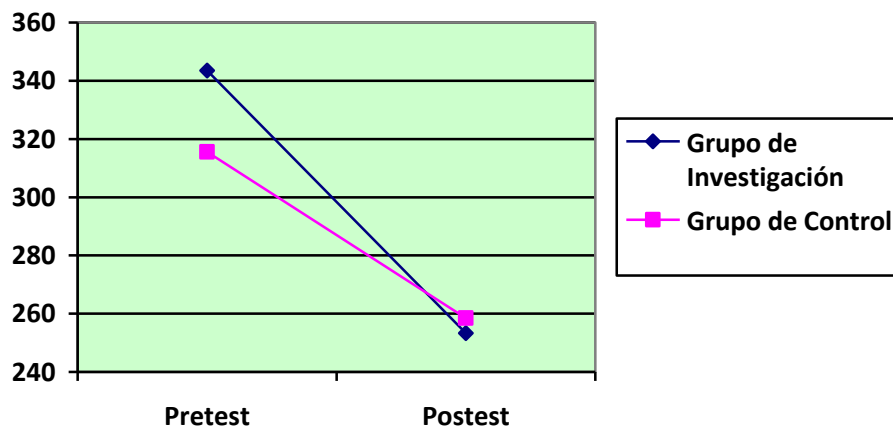
En la subprueba Estructuras Gramaticales, en potencia de ejecución el grupo de control obtiene una media de 10.7333 en el pretest y de 11.4000 en el postest. Sin embargo el grupo experimental obtiene una media en el pretest de 11.8667 y en el postest de 13.8000 tal y como se puede apreciar en la tabla 5 donde el grupo de investigación muestra un aumento significativo en la precisión de la lectura con respecto al grupo de control. La prueba T para muestras independientes demuestra que existen diferencias significativas entre los resultados de la subprueba EG(P) antes y después de la intervención,  $t(1, 14) = -3.194$ ;  $p = 0.006$ .





En cuanto al tiempo de ejecución de la subprueba Estructuras Gramaticales la media que obtiene el grupo de control en el pretest es de 315.6000 y en el posttest de 258.5333. El grupo experimental por el contrario obtiene una media en el pretest de 343.4667 y en el posttest de 253.2667 tal y como se puede ver en la tabla 6 donde se aprecia un aumento significativo por parte del grupo experimental. La prueba T para muestras independientes demuestra que existen diferencias significativas entre los resultados de la subprueba EG(T) antes y después de la intervención,  $t(1, 14) = 4.403$ ;  $p = 0.001$ .

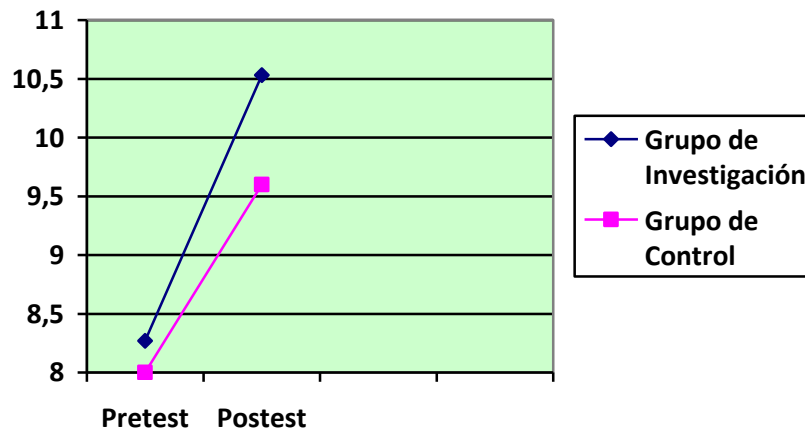
Tabla 6. Estructuras Gramaticales (EG). Tiempo de la ejecución.



La subprueba Comprensión de Textos en su vertiente precisión de la ejecución presenta los siguientes resultados: el grupo de control arroja una media en el pretest de 8.0000 y en el posttest de 9.6000. El grupo experimental por el contrario presenta una media de 8.2667 en el pretest y de 10.5333 tal y como se puede

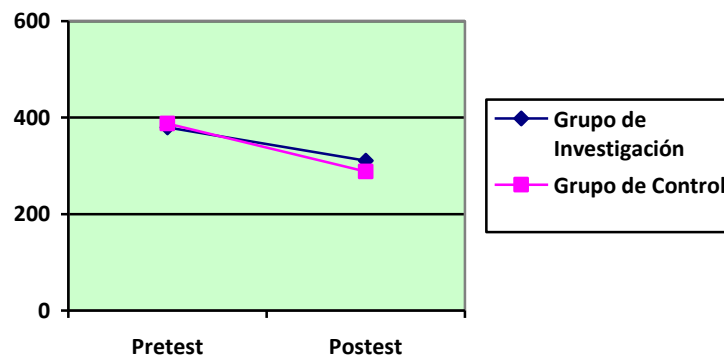
observar en la tabla 7 donde el grupo de investigación obtiene una media de resultados significativamente superior al grupo de control. La prueba T para muestras independientes demuestra que existen diferencias significativas entre los resultados de la subprueba CT(P) antes y después de la intervención,  $t(1, 14) = -4.432$ ;  $p = 0.001$ .

Tabla 7. *Comprensión de textos (CT). Precisión de la ejecución.*



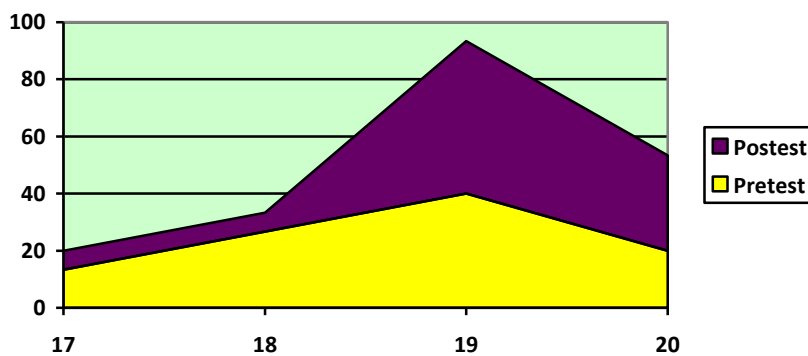
El tiempo de ejecución de la subprueba Comprensión de Textos el grupo de control obtiene una media de 387.8667 en el pretest y de 287.7333 en el posttest. El grupo experimental consigue en el pretest una media de 379.4000 y en el posttest de 310.9333 por lo que ambos grupos obtienen resultados muy similares disminuyendo ligeramente en el grupo de control que tarda de media menos tiempo, aunque la precisión no aumente en la misma proporción. La prueba T para muestras independientes demuestra que existen diferencias significativas entre los resultados de la subprueba CT(T) antes y después de la intervención,  $t(1, 14) = 6.117$ ;  $p = 0.000$ .

Tabla 8. *Comprensión de textos (CT). Tiempo de la ejecución.*



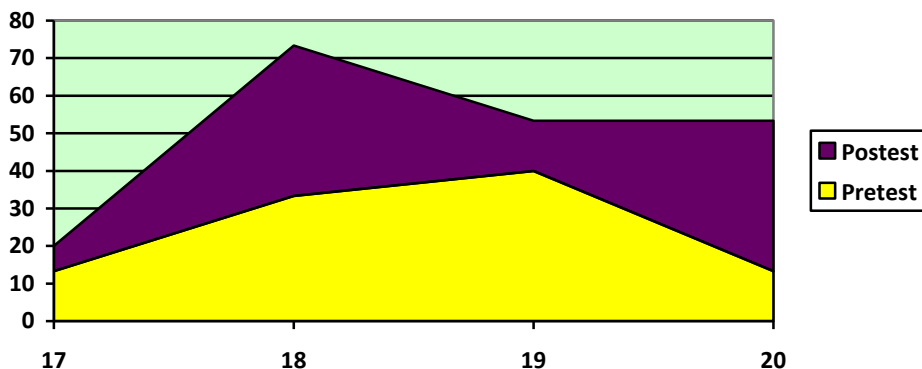
Si analizamos los datos obtenidos en función de los porcentajes calculados sobre las puntuaciones obtenidas por los alumnos en cada prueba tenemos que en la subprueba Nombre de Letras, NL(P), los alumnos del grupo de investigación mejoran significativamente el porcentaje de respuestas aumentando su rendimiento de forma significativa en las dos puntuaciones máximas, que pasan del 40% al 53.33% en los alumnos que obtienen de puntuación un 19 y del 20% al 33.33% para aquellos alumnos que obtuvieron un 20 de puntuación en la subprueba NL(P) tal y como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. NL(P). Porcentaje de respuestas, grupo de investigación



Sin embargo en el grupo de control nos encontramos que el porcentaje de alumnos que alcanza la máxima puntuación aumenta, pero se puede observar en la tabla 10 un retroceso en el número de alumnos que alcanzan la puntuación 19, que pasa de un 40% a un 13.33%.

Tabla 10. NL(P). Porcentaje de respuestas, grupo de control



En la subprueba Lectura de Pseudopalabras, LP (P), nos encontramos que el grupo de investigación aumenta significativamente el porcentaje de resultados obtenidos en las puntuaciones más altas, de forma que tal y como se puede ver en la tabla 11 se pasa del 13.33% al 20% en aquellos alumnos que obtienen 29 puntos. Mientras que en esta misma prueba como se aprecia en la tabla 12 el grupo de control se aprecia un aumento del 26.67% al 53.33% en el porcentaje de aquellos alumnos que obtienen un 29 de puntuación pero se produce un retroceso en la puntuación más alta pasando del 40% al 26.67%.

Tabla 11. LP(P). Porcentaje de respuestas, grupo de investigación

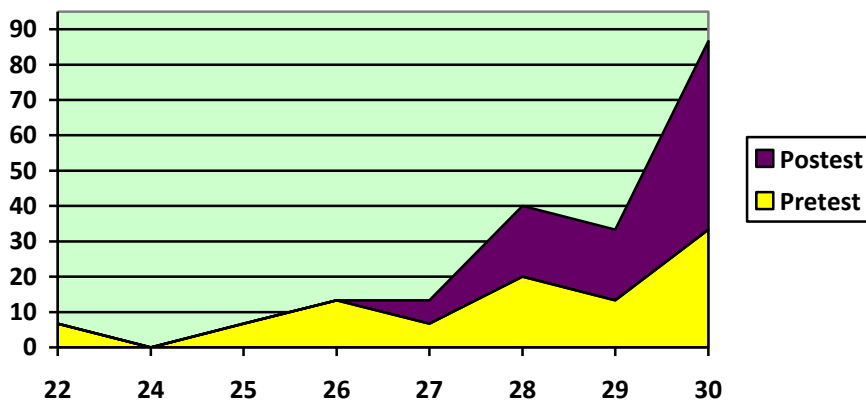
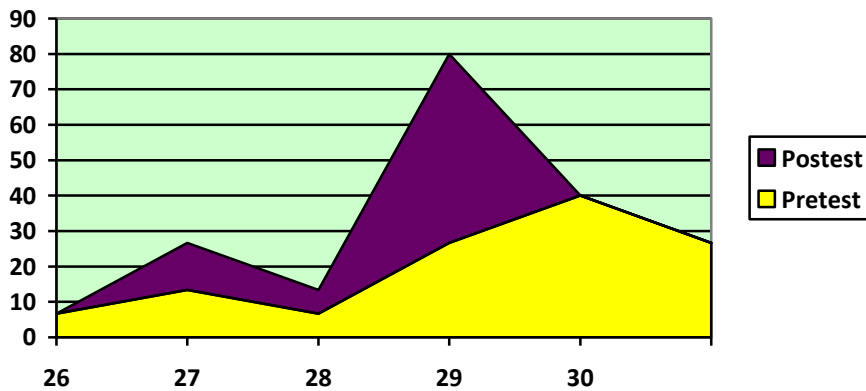
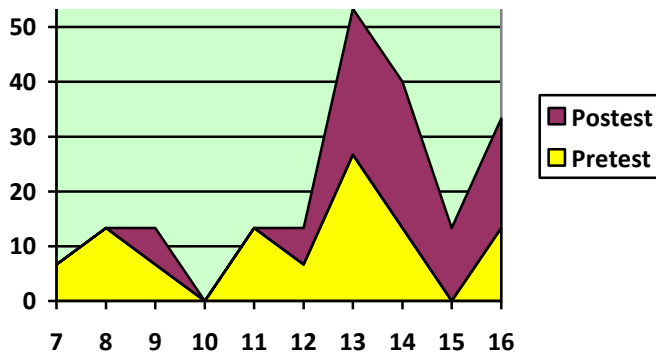


Tabla 12. LP(P). Porcentaje de respuestas, grupo de control



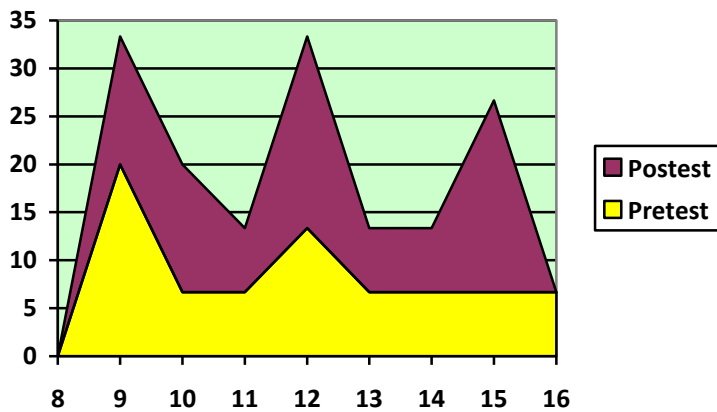
En la subprueba Estructuras Gramaticales EG(P), podemos observar cómo se produce una disminución en los resultados de las puntuaciones más bajas para aumentar los resultados en las puntuaciones más altas de forma que los alumnos que obtuvieron 14 de puntuación pasaron del 13.33% en el pretest al 26.67% en el posttest; los alumnos que obtuvieron 15 de puntuación pasaron del 0% al 13.2%; y aquellos alumnos que obtuvieron un 16 de puntuación pasaron de 13.3% al 20% , tal y como se aprecia en la tabla 13.

Tabla 13. EG(P). Porcentaje de respuestas, grupo de investigación



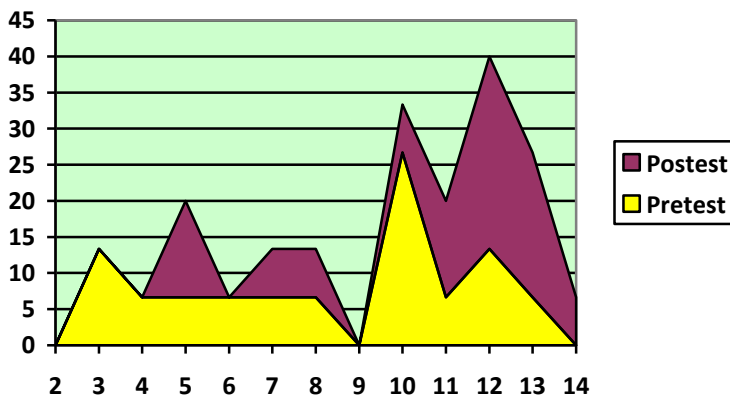
Sin embargo en esta misma prueba el grupo de control obtiene picos de rendimiento en las puntuaciones bajas y medias de forma que los alumnos que obtuvieron una puntuación de 12 pasaron de ser un 13.3% en el pretest a un 20% en el posttest. Las puntuaciones altas también mejoran, así los alumnos que obtienen un 15 pasan del 6.6% al 20% aunque esta puntuación disminuye con respecto al grupo de investigación y no llega a puntuar en la puntuación más alta de todas pasando del 6.6% al 0% en el posttest.

Tabla 14. EG(P). Porcentaje de respuestas, grupo de control



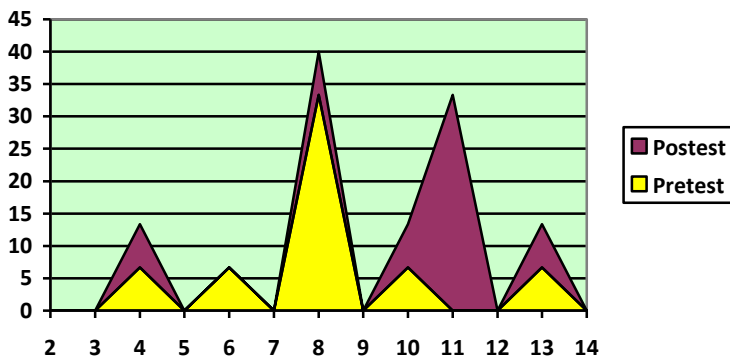
En lo tocante a la subprueba Comprensión de Textos, CT(P), en el grupo de investigación se produce un avance desde las puntuaciones más bajas en el pretest a las más altas en el posttest llegando los alumnos que obtuvieron un 11 de puntuación del 6.6% al 13.3%, los que obtuvieron un 12 de puntuación pasaron del 13.3% al 26.6% en el posttest, los que obtuvieron un 13 de puntuación pasaron de un 6.6% en el pretest a un 20% en el posttest, y aquellos alumnos que obtuvieron la puntuación más alta pasaron de un 0% en el pretest a un 6.6%, como se observa en la tabla 15.

Tabla 15. CT(P). Porcentaje de respuestas, grupo de investigación



En esta misma prueba en el grupo de control se produce un ligero desplazamiento de los resultados hacia los parámetros medio alto de forma que los alumnos que obtuvieron un 11 de puntuación pasaron de un 0% en el pretest a un 33.3% en el postest, pero no mejoran los resultados altos que permanecen estables de forma que los alumnos que consiguieron un 12 de puntuación permanecieron en un 0% en ambos test, los que lograron un 13 de puntuación se quedaron en un 6.6% en ambos test y ningún alumno logró alcanzar la máxima puntuación en ninguno de los dos tests tal y como se aprecia en la tabla 16.

Tabla 16. CT(P). Porcentaje de respuestas, grupo de control



## 5. Programa de intervención neuropsicológica

A partir de los resultados obtenidos se hace necesario la elaboración de un programa de intervención que vaya encaminado a orientar sobre el uso del Forbrain en el centro escolar con objeto de trabajar los procesos lectores fundamentalmente con alumnos de los primeros ciclos de Educación Primaria.





### 5.1 Justificación/Presentación

El objetivo principal de la Neuropsicología debe ser no sólo intervenir en aquellos casos de dificultades de aprendizaje sino además en la proposición de estrategias que permitan desarrollar un correcto aprendizaje, en este caso del proceso de lectura, que además resulte útil para prevenir las posibles dificultades que puedan aparecer a lo largo de todo el proceso de aprendizaje.

Los datos resultantes de esta investigación dan luz a la necesidad de proponer y recomendar el uso del Forbrain en general en los centros educativos para aquellos alumnos que se inician en el aprendizaje de la lectura. El uso de Forbrain se puede llevar a cabo tanto en el ámbito profesional con técnicos terapeutas registrados, como en el ámbito escolar y familiar, puesto que su uso no está orientado sólo a terapeutas profesionales, siendo posible que lo use el personal docente en el centro e incluso sus padres en el ámbito familiar siempre que se sigan las instrucciones adecuadamente.

Con el uso de este dispositivo se puede mejorar no sólo los ámbitos de la lectura que se han medido en este estudio: el proceso de reconocimiento de letras, el proceso de conversión grafema-fonema, la capacidad de comprensión de las estructuras gramaticales y la capacidad comprensiva de la lectura de los alumnos sino también los mecanismos de atención, fluidez oral y escrita, y autoestima tal y como muestran otras investigaciones que se están realizando actualmente y que se encuentran en proceso de publicación.

### 5.2 Objetivos

-  Manejar y solucionar dificultades de la lectura
-  Prevenir posibles dificultades en los procesos lectores
-  Trabajar los procesos léxicos, sintácticos y semánticos.
-  Mejorar la comprensión lectora

### 5.3 Metodología

Para llevar a cabo este programa es importante que el profesor asignado para ello explique en qué consiste el dispositivo, cómo funciona, y qué se pretende conseguir con su uso. También es importante que se les explique que se va a aplicar durante períodos de quince días alternados con descansos igualmente de quince días de duración. Durante los períodos de trabajo el profesor pasará por el aula para sacar al alumno, desplazarse ambos hasta el aula de aprendizaje asignado donde se trabajará entre tres y diez minutos con el dispositivo.

Es importante la participación y la colaboración de los alumnos en esta actividad.

El programa se realizará de inicio a fin con todos aquellos alumnos que tras pasar la evaluación pertinente se considere aconsejable su participación en este programa y de acuerdo con los criterios del orientador y de los profesores y tutores.

Se realizará un seguimiento exhaustivo de los avances mediante la evaluación de cada una de las variables implicadas y por superar tras la finalización de cada uno de los períodos de quince días de trabajo con el dispositivo.

#### 5.4 Actividades

Todo lo que hay que hacer es leer en voz alta durante el tiempo de uso del dispositivo. Para ello se seleccionarán el nivel de lectura más adecuado para cada uno de los alumnos teniendo en cuenta sus dificultades y sus características lectoras.

También se pueden realizar otro tipo de actividades como cantar canciones, recitar poesía, repetir palabras, frases, diálogos, juegos de sonido, memorizar,... etc.

#### 5.5 Evaluación

El programa contempla una evaluación inicial además de una evaluación a la finalización de cada uno de los períodos de trabajo. Para ello se pasará la prueba PROLEC en toda su extensión y se compararán los resultados obtenidos antes y después del uso del dispositivo, de forma que podamos ir anotando los avances y las mejoras que se vayan produciendo de forma exhaustiva teniendo en cuenta cada uno de los parámetros que mide la prueba.

#### 5.6 Cronograma

A pesar de que a lo largo de la investigación el dispositivo se ha utilizado durante 10 días debido a la escasez de tiempo. Además de los resultados se obtiene que en la prueba Comprensión Lectora (T) se ha echado de menos cinco días más para que los resultados posttest del grupo de investigación supere al grupo de control. Por todo ello se recomienda de cara a mejorar los resultados en todas y cada una de las pruebas su uso según la siguiente tabla:



Tabla 17: *Uso para niños de 3 – 14 años*

		<b>Uso básico</b>
CICLO 1 15 días	Todos los días	3'-5'-10' x día
PAUSA DE 15 DÍAS		
CICLO 2 15 días	Todos los días	3'-5'-10' x día 1 o 2 veces x día
PAUSA DE 15 DÍAS		
CICLO 3 15 días	2 a 3 veces por semana	3'-5'-10' x día 1, 2 o 3 veces x día
Continuar el entrenamiento de 2 a 3 veces por semana en función de las necesidades y la evolución.		

No obstante es importante señalar que el uso de Forbrain tiene restricciones, ya que no es aconsejado para niños menores de 3 años, para personas que sufren de epilepsia, que tienen pérdidas auditivas globales y bilaterales  $\geq$  al 70%, como para las personas con implantes cocleares bilaterales.

## 6. Discusión y Conclusiones

De la interpretación de los datos arrojados por la investigación, bajo el prisma del marco teórico que pretende sustentar su funcionamiento, se puede observar que los resultados del grupo que ha usado el Forbrain han mejorado en general con solamente diez días de uso con respecto al grupo de control

debido a que las estructuras cerebrales que intervienen en el proceso lector son plásticos y consecuentemente se pueden modificar y mejorar.

De este modo los alumnos han podido mejorar su capacidad para leer y entender cada uno de los sonidos, palabras, pseudopalabras, estructuras sintácticas y textos, habilidades que son el objetivo principal de la lectura según Adam y Collins (1977). El avance que han experimentado en la lectura de pseudopalabras en concreto supone un logro importante en la organización de la correspondencia grafema-fonema o acceso fonológico, fundamental en todo el proceso de lectura.

Han logrado superarse de este modo en cada uno de los procesos léxicos, sintácticos y semánticos necesarios para su aprendizaje, mejorando a su vez necesariamente los componentes psicológicos que Vallés Arándiga describe.

Durante los diez días de uso del dispositivo se han puesto a trabajar las rutas neurológicas necesarias para la comprensión del lenguaje, descritas por autores tales como Hickock y Poeppel (2004), Damasio y col. (2004) e Indefray y Levelt (2004), entre otros.

De todos ellos, el elemento que se puede decir que mejor ha funcionado ha sido el desarrollo y reorganización de la conciencia fonológica a través del sistema auditivo gracias a su plasticidad que permite el aprendizaje mediante la modificación de los estímulos sonoros tal y como establece el Dr. Escera (2004).

Los estímulos sonoros modificados y presentados tanto por vía ósea como por vía aérea han mejorado la percepción auditiva del habla y consecuentemente de aquí que haya mejorado la comprensión de los textos leídos tal y como explican Stürzbecher y col., 2001). La presentación por vía ósea es muy importante ya que facilita la acción correctiva del área Spt facilitando el proceso de modificación de los sonidos que llegan a esta área lo que conlleva que las mejoras se hagan visibles en un tiempo reducido de uso. Mediante la vía ósea conjuntamente con la vía aérea nos aseguramos que llegan los sonidos de alta y baja frecuencia lo que nos permite abarcar todo el rango de sonidos del lenguaje y mejorar a su vez su percepción.

Los datos recopilados tal y como se muestran en los gráficos mostrados con anterioridad han ilustrado la mejora general de los parámetros medidos y modificados mediante el uso del Forbrain en cada una de las pruebas. Sin embargo en la prueba Comprensión de Textos, aunque el grupo de investigación realiza un avance significativo desde las puntuaciones más bajas hacia las puntuaciones medio-altas en el postest, llegando algunos alumnos a las puntuaciones más altas en la medida de la potencia de la comprensión lectora, no ocurre lo mismo con los resultados en el tiempo de ejecución que han sido muy similares para

los dos grupos. Se valora la posibilidad de que este dato pueda mejorar si aumentamos el tiempo de trabajo con el dispositivo a quince días.

Con todo ello nuestro objetivo principal consistente en estudiar la base del funcionamiento del Forbrain y comprobar como cierto su funcionamiento se ha visto refrendado por los resultados obtenidos. De esta forma además queda igualmente justificado su uso como mecanismo que permite prevenir, trabajar y dar solución a aquellas dificultades relacionadas con la conciencia fonológica y la discriminación auditiva en particular y el funcionamiento del bucle audiovocal o fonoarticulatorio en general.

## 7. Limitaciones y Prospectivas

Para garantizar la validez de los resultados sería necesario ampliar la investigación de forma que la muestra sea más representativa y la población abarque distintos ámbitos sociales contando con distintos colegios en distintas zonas geográficas. Se podría además evaluar su efecto en una muestra con y sin necesidades especiales, y ambos grupos con su correspondiente grupo de control. Se podría ampliar igualmente el tiempo de uso del dispositivo y que la evaluación se lleve a cabo por varios investigadores de forma que independientemente de quien pasa las pruebas de evaluación y realiza la lectura, no se pueda conocer cuándo el dispositivo se encuentra encendido y cuándo no (doble ciego), es decir, ni los alumnos ni el investigador conoce qué alumnos pertenecen a qué grupo.

En lugar de la versión reducida del PROLEC se podría pasar la prueba completa de forma que se pueda medir con mayor eficacia los resultados en cada uno de las subpruebas que miden los procesos que intervienen durante la lectura.

Sería también interesante de cara a una futura investigación medir si hay mejora del Coeficiente Intelectual antes y después del uso del dispositivo tal y como afirma el Dr. Berard (1982) que se produce tras un período amplio de reeducación auditiva.

No se han comprobado el funcionamiento de las bases neurológicas mediante neuroimagen ni se han medido ni evaluado la mejora de los procesos escritos, memoria verbal y a corto plazo, atención y concentración, ni fluidez oral. Tampoco motivación, autoestima ni autoconfianza por algún otro medio que podrían convertirse en un objeto futuro de investigación.

En el momento en que se están escribiendo estas líneas sí he tenido noticia de que el Dr. Carles Escera, Director del Instituto de Investigación en Cerebro, Cognición y Conducta de la Universidad de Barcelona

(IR3C) y Catedrático de Neurociencia Cognitiva de la Facultad de Psicología de esta misma Universidad ha finalizado recientemente una nueva, interesante y amplia investigación sobre el uso del Forbrain en la que a modo de resumen se extraen las siguientes conclusiones:

“1) En primer lugar, la utilización de Forbrain durante 15 minutos mejoró la calidad de la voz, evaluado por seis parámetros cuantitativos de los utilizados para su medida.

2) En segundo lugar, en un registro de 7 minutos durante la utilización de Forbrain, hubo una mejora significativa del estado emocional, medido a través de la conductancia de la piel y la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

3) Por último, y de manera notable, el uso de Forbrain sintoniza la red cerebral de control de la atención para que el participante se haga más resistente a distractores y más centrado en la ejecución de tareas. Apoyado por las respuestas del cerebro atenuadas a distractores, y dado que la medición posterior a la utilización de Forbrain se realizó 80 minutos después de su uso, se puede concluir que los efectos duran por un largo período de tiempo”.

La publicación de la investigación completa será realizada en breve en la página web que publicita el dispositivo.

## 8. Bibliografía

Adams, M. J., & Collins, A. (1977). A schema-theoretic View of Reading. *Technical Report*, (32).

Amunts, K., Lenzen, M., Friederici, A. D., Schleicher, A., Morosan, P., Palomero-Gallagher, N., et al. (2010). Broca's region: Novel Organizational Principles and Multiple Receptor Mapping. *PLoS Biology*, 8(9), e1000489.

Arándiga, A. V. (2005). Comprensión Lectora y Procesos Psicológicos. *Liberabit*, (11), 49-61.

- Baluch, B., & Besner, D. (1991). Visual Word Recognition: Evidence for Strategic Control of Lexical and Nonlexical Routines in Oral Reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17(4), 644.
- Bérard, G., & Estalayo, V. (2003). *Reeducación Auditiva: Para el Éxito Escolar y el Bienestar Emocional*. Biblioteca Nueva.
- Bravo Valdivieso, L. (2002). La Conciencia Fonológica Como Una Zona de Desarrollo Próximo Para el Aprendizaje Inicial de la Lectura. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, (28), 165-177.
- Cardelús, R., Galindo, C., & García, A. (2013). *Anatomofisiología y Patología Básicas*. España: Macmillan Iberia, S.A.
- Cervera, J. F., & Ygual, A. Evaluación e Intervención en Niños con Trastornos Fonológicos y Riesgo de Dificultad de Aprendizaje de la Lectura y Escritura.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (2013). Models of Reading Aloud: Dual-Route and Parallel-Distributed-Processing Approaches. *Exploring Cognition: Damaged Brains and Neural Networks: Readings in Cognitive Neuropsychology and Connectionist Modelling*, 100(4), 367.
- Cóppola, L. B. (2011). Las Destrezas Perceptuales y los Retos en el Aprendizaje de la Lectura y la Escritura. Una Guía para la Exploración y Comprensión de Dificultades Específicas. *Actualidades Investigativas En Educación*, 4(1)
- Damasio, H., Tranel, D., Grabowski, T., Adolphs, R., & Damasio, A. (2004). Neural Systems Behind Word and Concept Retrieval. *Cognition*, 92(1), 179-229.
- De Villers-Sidani, E., Chang, E. F., Bao, S., & Merzenich, M. M. (2007). Critical Period Window for Spectral Tuning Defined in the Primary Auditory Cortex (A1) in the Rat. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 27(1), 180-189.

DEL OIDO, I. A. Anatomía y Fisiología del Oído. *Colciencias*, 2.

Dubovoy, S. (2008). *Cuentos Para Antes de Dormir de Todo el Mundo*. León: Everest.

Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Schuster, B. V., Yaghoub-Zadeh, Z., & Shanahan, T. (2001). Phonemic Awareness Instruction Helps Children Learn to Read: Evidence from the National Reading Panel's Meta-Analysis. *Reading Research Quarterly*, 36(3), 250-287.

Escera, C. (2014). Evaluación Científica de los Principios de Acción del Forbrain. Manuscrito no publicado. Instituto de Investigación en Cerebro, Cognición y Conducta (IR3C) y Departamento de Psiquiatría y Psicobiología Clínica. Universidad de Barcelona.

Fairbanks, G. (1954). Systematic Research in Experimental Phonetics: 1. A Theory of the Speech Mechanism as a Servosystem. *Journal of Speech & Hearing Disorders*, American Speech-Language-Hearing Association.

Forbrain. (2015). Disponible en <https://es.forbrain.com> [2015, 22 de abril].

Giménez-Amaya, J. (2000). Anatomía Funcional de la Corteza Cerebral Implicada en los Procesos Visuales. *Rev Neurol*, 30(7), 656-662.

González-Moreno, C. X., Solovieva, Y., & Quintanar-Rojas, L. (2012). Neuropsicología y Psicología Histórico-Cultural: Aportes en el Ámbito Educativo. *Rev Fac Med*.60 (3), 177-187.

Guzmán Rosquete, R. (1997). *Métodos de Lectura y Acceso al Léxico*.

Hernández-Valle, I., & Jiménez, J. E. (2001). Conciencia Fonémica y Retraso Lector: Es Determinante la Edad en la Eficacia de la Intervención? *Infancia y Aprendizaje*, 24(3), 379-395.

Hickok, G., Houde, J., & Rong, F. (2011). Sensorimotor Integration in Speech Processing: Computational Basis and Neural Organization. *Neuron*, 69(3), 407-422.

- Indefrey, P., & Levelt, W. J. (2004). The Spatial and Temporal Signatures of Word Production Components. *Cognition*, 92(1), 101-144.
- Izquierdo, M. A., Oliver, D. L., & Malmierca, M. S. (2009). Functional and Activity-Dependent Plasticity Mechanisms in the Adult and Developing Auditory Brain. [Mecanismos de Plasticidad Funcional y Dependiente de Actividad en el Cerebro Auditivo Adulto y en Desarrollo] *Revista De Neurologia*, 48(8), 421-429.
- Jiménez Rodríguez, V. (2006). *Metacognición y Comprensión de la Lectura: Evaluación de los Componentes Estratégicos (Procesos y Variables) Mediante la Elaboración de una Escala de Conciencia Lectora (ESCOLA)*. España: Universidad Complutense de Madrid.
- Kim, N., Homma, K., & Puria, S. (2011). Inertial Bone Conduction: Symmetric and Anti-Symmetric Components. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 12(3), 261-279.
- Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music Training for the Development of Auditory Skills. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(8), 599-605.
- López-Escribano, C. (2012). Aportaciones de la Neurociencia al Aprendizaje y Tratamiento Educativo de la Lectura. *Aula*, 15, 47-78.
- Marco Algarra, J., & Morant Ventura, A. (2008). Fisiología de la Estimulación Sonora por Vía Ósea y la Importancia de la Transmisión de las Frecuencias Agudas por Vía Ósea. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 59(Supl. 1), 3-6.
- Merino, J.M., y Muñoz-Repiso, L. (2013). La Percepción Acústica: Física de la Audición. *Revista De Ciencias*, 2, 19-26.
- Miguel, E. S. (2008). La Comprensión Lectora. *La Lectura En España. Informe 2008: Leer Para Aprender*, pp. 191-208.

- Muñoz Marrón, E., & Periañez Morales, J. A. (2013). *Fundamentos del Aprendizaje y del Lenguaje*. España: Editorial UOC.
- Pienkowski, M., Munguia, R., & Eggermont, J. J. (2013). Effects of Passive, Moderate-Level Sound Exposure on the Mature Auditory Cortex: Spectral Edges, Spectrotemporal Density, and Real-World Noise. *Hearing Research*, 296, 121-130.
- Poeppel, D., & Hickok, G. (2004). Towards a New Functional Anatomy of Language. *Cognition*, 92(1), 1-12.
- Puente Ferreras, A. (1994). *Estilos de Aprendizaje y Enseñanza*. Madrid: Cepe,
- Puria, S., & Rosowski, J. (2012). Békésy's Contributions to our Present Understanding of Sound Conduction to the Inner Ear. *Hearing Research*, 293(1-2), 21-30.
- Redolar Ripoll, D., Blázquez Alisente, J. L., & González Rodríguez, B. (2013). *Neuropsicología*. España: Editorial UOC.
- Stenfelt, S. (2011). Acoustic and Physiologic Aspects of Bone Conduction Hearing. *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*, 71, 10-21.
- Stürzebecher, E., Cebulla, M., & Pschirrer, U. (2001). Efficient Stimuli for Recording of the Amplitude Modulation Following Response: Estímulos Eficientes para el Registro de la Respuesta de Seguimiento a la Modulación de la Amplitud (AMFR). *International Journal of Audiology*, 40(2), 63-68.
- Tomatis, A. (2005). *The Ear and the Voice*. Scarecrow Press.
- Von Békésy, G., & Wever, E. G. (1960). *Experiments in Hearing*. McGraw-Hill, New York.