

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

HERRAMIENTA CUANTITATIVA DE ANÁLISIS DE SEÑALES  
ELECTROENCEFALOGRÁFICAS PARA APOYAR AL  
DIAGNÓSTICO DEL TDAH EN NIÑOS

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**Michael Miranda Gutierrez**

**ASESOR: Willy Eduardo Carrera Soria**

Lima, Febrero del 2012

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad plantear una solución a la falta de una herramienta cuantitativa que apoye a la objetividad del diagnóstico del Trastorno de Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) en niños mediante el uso de tecnología existente en el Perú. Para ello, se ha planteado como objetivo diseñar una herramienta de apoyo al diagnóstico del TDAH constituida por un sistema de procesamiento de señales electroencefalográficas que identifique patrones comunes y estime sus niveles de incidencia en forma cuantitativa. Esta herramienta ha sido desarrollada acorde a las necesidades del país en el sector de la salud mental, ya que permitirá a los médicos especialistas validar su análisis y brindar un mejor diagnóstico psiquiátrico mediante la cuantificación de las características de la enfermedad y la realización de un diagnóstico objetivo.

El primer capítulo presenta una visión de la problemática actual del diagnóstico psiquiátrico en Lima-Perú, así como el estado del arte a nivel mundial y las tecnologías existentes. Se plantean los objetivos para dar solución a dicha problemática.

El segundo capítulo muestra los conceptos referentes a los 3 pilares de la tesis: Neurociencias, Electroencefalografía y las investigaciones sobre el TDAH así como el marco teórico de los conocimientos necesarios para entender todo el proceso de diagnóstico del TDAH.

El tercer capítulo muestra el diseño de la herramienta de apoyo al especialista, su estructura, funcionamiento, así como las técnicas utilizadas para el desarrollo de la misma.

El cuarto capítulo muestra las pruebas realizadas a pacientes del Departamento de Pediatría del Policlínico Castilla, así como los resultados obtenidos, con los cuales se pudo corroborar el diagnóstico brindado por el especialista.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1: Problemática y Objetivos .....	3
1.1 Antecedentes .....	3
1.1.1 El Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad.....	3
1.1.2 Causas del TDAH.....	3
1.1.3 Consecuencias del TDAH.....	4
1.1.3.1 En la Vida Escolar.....	4
1.1.3.2 En la Vida Familiar y el Funcionamiento Familiar .....	5
1.1.3.3 En las relaciones con los compañeros y relaciones sociales...	6
1.1.3.4 Sobre la Autoestima.....	6
1.1.3.5 Sobre la Salud y Seguridad.....	6
1.2 Estado del arte .....	7
1.2.1 Presentación del asunto de estudio.....	7
1.2.2 Estado de la investigación .....	8
1.3 Problemática .....	8
1.3.1 Declaración del marco problemático.....	8
1.3.2 Fundamentación y Justificación.....	9
1.4 Hipótesis .....	10
1.5 Objetivos .....	10
1.5.1 General.....	10
1.5.2 Específicos .....	11
Capítulo 2: Neurociencias, Electroencefalograma e Investigaciones sobre el TDAH .....	12
2.1 Neurociencias .....	12

2.1.1	Definición.....	12
2.1.2	Trastorno Cerebral.....	13
2.1.3	Estructura del cerebro .....	14
2.2	Electroencefalograma .....	18
2.2.1	Definición.....	18
2.2.2	Historia del EEG .....	18
2.2.3	Características de las ondas EEG .....	20
2.2.4	Adquisición de las Ondas EEG.....	21
2.2.5	Electrodos de Registro .....	22
2.2.6	Amplificadores y Filtros.....	27
2.2.6.1	Desplazador de Nivel .....	28
2.2.6.2	Digitalizador .....	28
2.2.6.3	Procesamiento e interface gráfica.....	29
2.3	Electroencefalógrafos en la actualidad.....	31
2.4	Investigaciones sobre el TDAH .....	32
2.4.1	Sistema DSM-IV .....	32
2.4.2	Cuestionarios de Conners .....	35
2.4.3	Presencia del Electroencefalograma en el Diagnóstico del TDAH	36
Capítulo 3: Diseño de la Herramienta Software Cuantitativa de Análisis de las Señales EEG Para Apoyar el Diagnóstico Psiquiátrico .....		38
3.1	Requisitos del software .....	38
3.2	Método de Diagnóstico.....	39
3.3	Descripción del Programa.....	40
3.3.1	Obtención de la Transformada de Fourier de la señal EEG .....	41
3.3.2	Obtención de las Potencias Absolutas de las Bandas de Frecuencias de Interés.....	43

3.4	Aspecto visual de la Herramienta.....	45
3.4.1	Ingreso de Datos .....	45
3.4.2	Visualización de resultados .....	46
3.5	Creación del ejecutable.....	47
3.6	Costo de la Herramienta Desarrollada .....	56
Capítulo 4: Pruebas y Resultados .....		57
4.1	Captura de la onda EEG .....	57
4.1.1	Materiales .....	58
4.1.2	Adquisición .....	58
4.2	Obtención de los Cocientes de Control .....	58
4.3	Comprobación del diagnóstico dado por la “Herramienta de Apoyo al Diagnóstico Psiquiátrico de TDAH” .....	60
4.3.1	Pruebas .....	60
4.3.2	Resultados del análisis final .....	67
CONCLUSIONES.....		70
RECOMENDACIONES .....		71

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1: Mapa mental de la problemática de la tesis. ....	9
Figura 2.1: Regiones estructurales y funcionales de la corteza cerebral. ....	14
Figura 2.2: Hemisferios cerebrales y los cuatro lóbulos. ....	16
Figura 2.3: Bandas de Frecuencia.....	21
Figura 2.4: Diagrama de bloque de un electroencefalógrafo general.....	22
Figura 2.5: Sistema internacional 10-20, los electrodos A1 y A2 son electrodos de referencia.....	23
Figura 2.6: Esquema de un montaje para un registro monopolar. ....	24
Figura 2.7: Esquema de un montaje para un registro bipolar. El electrodo a está a un potencial de +5, el electrodo b a un potencial de +2, registrándose así un potencial de $(+5) - (+2) = +3$ .....	25
Figura 2.8: Esquema de un montaje A. longitudinal bipolar, B. transversal bipolar. Cada segmento situado entre dos puntos representa un canal de registro.....	26
Figura 3.1: Programa principal de la herramienta desarrollada.....	1
Figura 3.2: Transformada de Fourier de la señal EEG.....	43
Figura 3.3: Programa que delimita las BFI y halla las potencias de energía contenidas en estas.....	44
Figura 3.4: Código del programa que halla los cocientes.....	45
Figura 3.5: Aspecto visual de la Herramienta.....	47
Figura 3.6: Se abre carpeta principal.....	48
Figura 3.7: Se ingresa el comando “deploytool”.....	48
Figura 3.8: Ventana del proyecto.....	49
Figura 3.9: Selección de archivos a utilizar para el ejecutable.....	49
Figura 3.10: Se agrega programa principal. ....	50
Figura 3.11: Se agrega archivos secundarios. ....	50

Figura 3.12: Archivos completos para crear el proyecto. ....	51
Figura 3.13: Se abre la ventana de configuración del proyecto. ....	51
Figura 3.14: Pantalla de configuración del proyecto.....	52
Figura 3.15: Construcción del proyecto.....	52
Figura 3.16: Compilado del proyecto.....	53
Figura 3.17: Ejecutable creado.....	53
Figura 3.18: Empaquetado del paquete. ....	54
Figura 3.19: Empaquetado en proceso. ....	54
Figura 3.20: Empaquetado del paquete completado.....	55
Figura 3.21: Directorio del proyecto empaquetado.....	55
Figura 3.22: Ejecutable empaquetado y listo para utilizar.....	56
Figura 4.1: Realizando las pruebas de la herramienta desarrollada en este trabajo de tesis en el Departamento de Pediatría del Policlínico Castilla ESSALUD, con la Doctora Rosa Alvarado, médico pediatra especialista en Neurociencias. ....	57
Figura 4.2: Cuadro comparativo de cocientes Theta / Alfa de 25 pacientes .....	59
Figura 4.3: Cuadro comparativo de cocientes Theta / Beta de 25 pacientes .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. 1: Dificultades escolares de niños y adolescentes con TDAH no tratado. ....	5
Tabla 2. 1: Montajes recomendados para EEG. LB, montaje longitudinal; TB, montaje transversal bipolar; R, montaje referencial. ....	27
Tabla 2. 2: Equipos electroencefalográficos con sus características. ....	32
Tabla 2. 3: Criterios para el diagnóstico del TDAH según el DSM-IV. ....	34
Tabla 2. 4: Cuestionario de Conners para profesores. ....	35
Tabla 3. 1: Tabla de requerimientos del software. ....	39
Tabla 3. 2: Método de diagnóstico (autoría propia). ....	40
Tabla 3. 3: Bandas de Frecuencia de un electroencefalograma (autoría propia). ....	44
Tabla 3. 4: Costo de la Herramienta Desarrollada. ....	56
Tabla 4. 1: Datos considerados por cada paciente. ....	60
Tabla 4. 2: Datos considerados del Paciente 1. ....	61
Tabla 4. 3: Datos considerados del Paciente 2. ....	62
Tabla 4. 4: Datos considerados del Paciente 3. ....	64
Tabla 4. 5: Datos considerados del Paciente 4. ....	65
Tabla 4. 6: Datos considerados del Paciente 5. ....	66
Tabla 4. 7: Tabla de diagnósticos sin usar y usando la herramienta. ....	67
Tabla 4. 8: Tabla comparativa de resultados vs. frecuencia. Paciente CMX001. ....	68
Tabla 4. 9: Tabla comparativa de resultados vs. Frecuencia. Paciente CMX002. ....	68
Tabla 4. 10: Tabla comparativa de resultados vs. frecuencia. Paciente CMX003. ....	68
Tabla 4. 11: Tabla comparativa de resultados vs. frecuencia. Paciente CMX004. ....	69
Tabla 4. 12: Tabla comparativa de resultados vs. frecuencia. Paciente CMX005. ....	69



## INTRODUCCIÓN

Considerando el avance en el conocimiento de la fisiopatología de las enfermedades psiquiátricas se hace necesario el apoyo tecnológico de señales e imágenes en la complementación del diagnóstico [1]. No es sino hasta la aparición de los equipos de neuroimagenología y electroencefalografía que esta rama de la medicina cuenta con un apoyo en la ingeniería, destacando la técnica de procesamiento digital de señales en el análisis neurológico y psiquiátrico, para obtener un diagnóstico cuantitativo [2], [3].

Dentro de las patologías neurológicas y psiquiátricas en niños de edad escolar destaca el Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH); se estima que está presente del 3% al 7% de la población de niños en edad escolar [4] [22].

Una de las tecnologías más recientes de apoyo al diagnóstico psiquiátrico del TDAH se basa en el análisis de las señales generadas por el Electroencefalograma (EEG). La utilización del EEG en psiquiatría utilizando pruebas neuropsicológicas es cada vez mayor porque suministra una medida directa de la actividad eléctrica cerebral [4]. El análisis de estas señales generalmente es de tipo cualitativo y en ocasiones difiere entre especialistas ya que este se basa en la observación de los patrones Beta, Theta y Alfa. Es en esta etapa del análisis donde prima la experiencia del especialista volviéndose este un análisis subjetivo.

Al ser un análisis subjetivo y no cuantificable, no permite tener una apreciación real de la evolución del proceso nosológico en el tiempo, entonces lo que se plantea con este trabajo de tesis es diseñar una herramienta de apoyo al diagnóstico psiquiátrico del TDAH constituida por un sistema de procesamiento de señales cerebrales, base de datos dinámica de información y señales de pacientes basados en la tecnología manejada por el EEG que identifique patrones comunes y estime sus niveles de incidencia en forma cuantitativa. Esta herramienta permitirá a los médicos

especialistas apoyar su análisis cualitativo de forma cuantitativa, elevando de esta manera, la calidad del diagnóstico psiquiátrico en esos niños. Además, contribuirá a lograr un diagnóstico mucho más temprano y oportuno de esta enfermedad en niños ya que su diagnóstico precoz y manejo adecuado son fundamentales para obtener un mejor pronóstico de inserción social y calidad de vida.



# Capítulo 1: Problemática y Objetivos

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 El Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad

Se conoce como trastornos del desarrollo y TDAH a todos aquellos cuadros crónicos y de inicio precoz que tienen en común la dificultad en la adquisición de habilidades motoras, de lenguaje, sociales o cognitivas que provocan un impacto significativo en el progreso del desarrollo de un niño [1]. La prevalencia de trastornos del desarrollo se ha estimado del 16% al 18% de los niños en el mundo, de los cuales alrededor del 90% se relacionan a problemas de aprendizaje, lenguaje o retardo mental y TDAH. En Chile, en un estudio de salud mental realizado en escolares chilenos mostró que el 25,8% de los niños de 1° básico presentan déficit cognitivo, el 27% fueron catalogados como hiperactivos, y un 45% fueron considerados con problemas conductuales por sus profesores. En Argentina, un estudio de validación de pruebas de investigación encontró una prevalencia de problemas de desarrollo del 57% [5] [23].

Específicamente se define como TDAH como un trastorno crónico del desarrollo que se caracteriza fundamentalmente por una disminución en el espectro de la atención; por dificultades en el control inhibitorio que se expresa a través de la impulsividad conductual y cognoscitiva; y por una inquietud motora y verbal. Estas características tienen que aparecer antes de los siete años de vida, y ser inapropiadas para la edad o el nivel de desarrollo del paciente [4] [22]. En otras palabras el TDAH afecta la capacidad de una persona para mantenerse quieta, concentrarse y prestar atención.

### 1.1.2 Causas del TDAH

No se conoce aún la causa fundamental del TDAH, existen muchas enfermedades que pueden mostrar síntomas similares, o pueden agravarlos, pero no pueden atribuirse como causas del TDAH [6]. Las investigaciones demuestran que el TDAH es

probablemente genético, y que en algunos casos, se hereda. Los científicos también están analizando otros elementos que podrían estar ligados al TDAH, por ejemplo es posible que el TDAH sea más común en niños prematuros y que aparezca más seguido en niños que en niñas [6] [24].

Además, se sabe que el TDAH es provocado por cambios en las sustancias del cerebro llamadas Neurotransmisores. Estas sustancias son las encargadas de la transmisión de los mensajes entre las células nerviosas del cerebro, es decir la Sinapsis. El neurotransmisor llamado "dopamina" por ejemplo, estimula los centros de atención del cerebro. Por lo tanto, es probable que si una persona tiene bajas cantidades de esta sustancia química, muestre síntomas de TDAH [7] [25].

Otras investigaciones muestran que la hiperactividad también ha sido explicada como una reacción alérgica a ciertos tipos de alimentos como el azúcar y los condimentos en general. Sin embargo esta información no ha sido confirmada ya que se sabe que un régimen de alimentación sin azúcar ni condimentos no corrige la hiperactividad [8].

### **1.1.3 Consecuencias del TDAH**

El no recibir un diagnóstico o tratamiento adecuado conlleva a consecuencias importantes para los niños y adolescentes que lo padecen. Ello demuestra su difícil inserción tanto en el ámbito escolar, familiar, social y personal.

#### **1.1.3.1 En la Vida Escolar**

El TDAH no tratado afecta a los niños y adolescentes en la escuela en forma de notas más bajas en los exámenes, repetición del curso y dificultades en aplicar los conocimientos a tareas personales y escolares. El 15% de los niños con TDAH no tratado presentan trastornos de aprendizaje que afectan el área de las matemáticas o la lectura, dejando a estos pacientes por detrás de sus compañeros del colegio. También es posible que el ausentismo alcance niveles significativos.

Asimismo, algunos niños con TDAH que no reciben tratamiento presentan comportamientos agresivos y perturbadores. En muchos casos, estas dificultades pueden exigir una atención académica adicional, la repetición del curso y la colocación del paciente en programas de educación especial. Como se muestra en la tabla 1.1, aproximadamente entre el 50% y el 60% de los niños con TDAH no tratado acaban por ser expulsados de clase y entre el 10% y el 30% de los adolescentes abandonan sus estudios y/ o no logran terminar el bachillerato. Sólo el 5% de los adolescentes con TDAH terminan sus estudios universitarios (observar la tabla 1.1) [9].

**Tabla 1. 1:** Dificultades escolares de niños y adolescentes con TDAH no tratado.

MEDIDA DE RESULTADOS	PREVALENCIA EN NIÑOS Y/O ADOLESCENTES CON TDAH NO TRATADO
Déficits que afectan el área de las matemáticas o lectura.	15%
Rendimiento educativo por debajo del nivel esperado.	80% al 90%
Repetición del curso.	29%
Expulsión de la clase.	50% al 60%
Expulsión de la escuela.	13%
Abandono del bachillerato antes de graduarse.	10% al 30%
Terminan Estudios Universitarios.	5%

Elaborador por: Eli Lilly and Company [9]

### 1.1.3.2 En la Vida Familiar y el Funcionamiento Familiar

Los problemas conductuales asociados al TDAH no tratado pueden incidir de forma negativa en la toda la familia. Los niños y adolescentes que sufren este trastorno pueden sufrir problemas por mostrarse tercos, desafiantes, por negarse a obedecer, por pataletas y hostilidad verbal. Además, el TDAH no tratado también puede tener un impacto profundo en las relaciones con sus hermanos. Todas estas tensiones pueden acabar por minar la salud psíquica y física de los padres [9].

### 1.1.3.3 En las relaciones con los compañeros y relaciones sociales

A menudo los niños y adolescentes con TDAH no tratado tienen dificultades para hacer y mantener amistades. Es posible que los compañeros (y sus padres) eviten abiertamente o desaconsejan las interacciones con niños cuya conducta es hiperactiva y descontrolada. Es más, muchos niños que sufren TDAH y que no son tratados, tienen una menor capacidad para interpretar los mensajes sociales no verbales y sutiles de sus compañeros. También les puede resultar difícil terminar un juego o saber dónde encontrar sus pertenencias [9].

### 1.1.3.4 Sobre la Autoestima

Es frecuente que los niños con TDAH no tratado tengan un nivel bajo de autoestima, sobre todo si los padres y familiares cercanos no comprenden la naturaleza de la conducta del niño que es propia del TDAH y culpan al niño por no comportarse correctamente [9].

### 1.1.3.5 Sobre la Salud y Seguridad

El no recibir un tratamiento adecuado para el TDAH tiene consecuencias claras sobre la salud y seguridad del paciente. Los niños y adolescentes con TDAH no tratado sufren más lesiones por accidente y más problemas de salud que otros. Por ejemplo, la incidencia de accidentes de tráfico es mayor para conductores adolescentes con TDAH no tratado que para otros conductores adolescentes (57% frente al 39%). Un estudio retrospectivo de expedientes provenientes de 70 hospitales detectó que los niños con TDAH no tratado eran significativamente más propensos a sufrir lesiones por accidente que requerían el ingreso hospitalario que niños sin TDAH, incluidos los siguientes:

- Accidentes mientras caminaban (27,5% versus un 18,3%).
- Accidentes de bicicleta (17,1% versus el 13,8%).
- Traumatismo craneoencefálico (53% frente al 41%).

Las lesiones en niños con TDAH no tratado tienden a ser más graves que las de los niños sin TDAH. También se dan más casos de envenenamiento accidental en niños con TDAH no tratado y la tasa de mortalidad en niños menores de 12 años con TDAH no tratado es cinco veces superior que en niños sin TDAH [9].

Existe una mayor probabilidad de que los niños y adolescentes con TDAH no tratado:

- Queden embarazadas durante la adolescencia y contraigan enfermedades de transmisión sexual.
- Se muestren más proclives a desarrollar trastornos por uso de drogas ilegales o alcohol.
- Empiecen a fumar tabaco antes de los 17 años de edad (el 46% frente al 24%).

## 1.2 Estado del arte

### 1.2.1 Presentación del asunto de estudio

La Electroencefalografía es usada para observar y diagnosticar una variedad de condiciones neurológicas. Esta también puede ser usada para evaluar desórdenes psiquiátricos. En países desarrollados, el diagnóstico del TDAH se basa en el análisis de las señales cerebrales captadas por un modulo EEG, el cual posee un software de procesamiento que permite reconocer de manera cualitativa y cuantitativa los patrones útiles para el diagnóstico, sirviendo como una herramienta de apoyo al especialista. Sin embargo, esta tecnología es de tipo propietaria y de muy elevado costo, ello hace que sea difícil el acceso a esta en nuestro país y demás países subdesarrollados.

En el Perú, hoy en día el diagnóstico del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) se lleva a cabo en niños de 5 a 6 años de edad, y se apoya en el uso de exámenes psicológicos o pruebas basadas en los criterios presentes en el Manual de Diagnóstico y Estadístico de la Asociación Psiquiátrica Americana (DSM IV), así como también en el análisis de señales obtenidas por un Electroencefalógrafo (EEG). Sin embargo, el análisis de estas señales es de tipo cualitativo, el cual en ocasiones difiere entre especialistas, debido a que este se basa en la observación de

la forma de onda que presenta la señal EEG tratando de identificar un patrón que indica la presencia de la enfermedad.

### **1.2.2 Estado de la investigación**

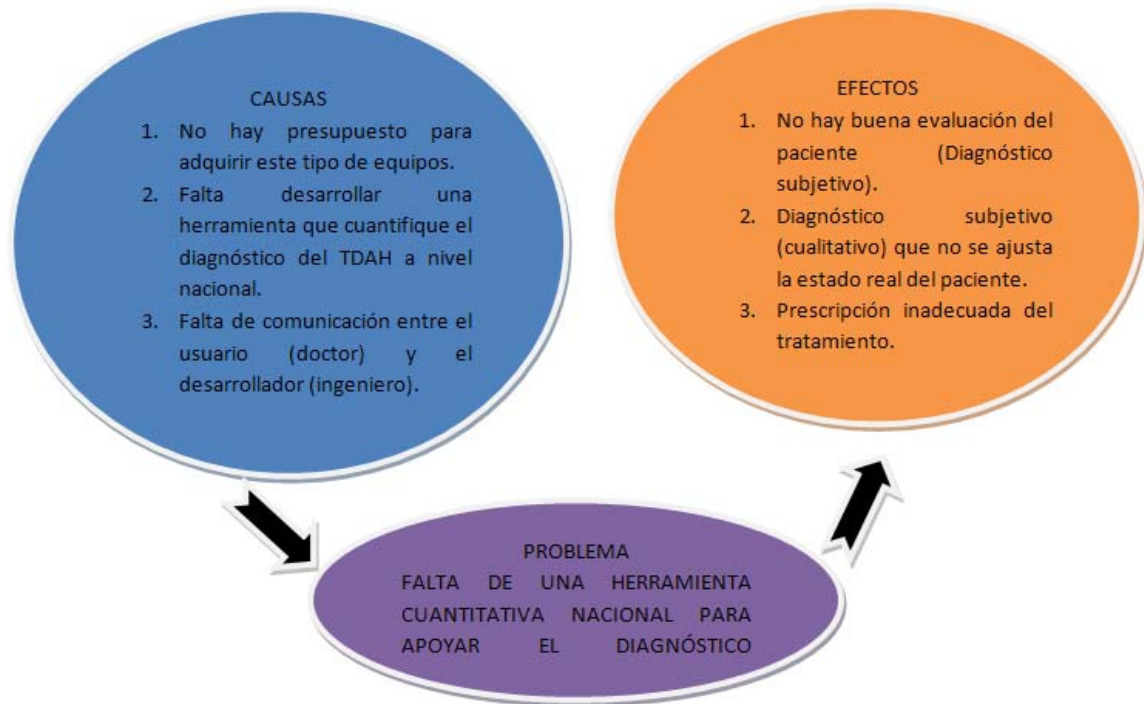
En los últimos años, se ha incrementado el número de consultas en el área de Salud referidas al Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH), retraso del desarrollo, trastornos del aprendizaje y de lenguaje a nivel mundial, probablemente producto de un mejor nivel de educación de la población, para la cual estos problemas, antes poco relevantes, han pasado a ser de alta prioridad. Con este fin se han diseñado diversos criterios para llevar a cabo este diagnóstico.

Los criterios más aceptados actualmente para el diagnóstico del TDAH son los del Manual Diagnóstico y Estadístico, cuarta revisión de la Asociación Psiquiátrica Americana (DSM IV). Este manual dice que para que un niño padezca de TDAH, deben estar presentes por lo menos seis de los nueve criterios de Desatención o por lo menos seis de los nueve criterios de Hiperactividad-Impulsividad. Para ello, es necesario que algunos de estos criterios hayan estado presentes antes de los siete años y que se presenten en más de una actividad que los niños realizan. Asimismo, como una herramienta de apoyo para el especialista se realiza el análisis de las señales cerebrales obtenidas por un EEG. Este análisis se lleva a cabo de manera cualitativa, es decir no objetiva, por lo que no se logra complementar el adecuado diagnóstico ni tratamiento [10].

## **1.3 Problemática**

### **1.3.1 Declaración del marco problemático**





**Figura 1. 1:** Mapa mental de la problemática de la tesis.

Como se observa en la figura 1.1, el problema a estudiar consiste en la falta de una herramienta cuantitativa nacional que apoye al diagnóstico psiquiátrico de nuestros médicos. Si bien existen equipos que pueden apoyar el diagnóstico de ciertas enfermedades cerebrales, los centros de salud no los pueden adquirir debido a su elevado costo. En el Perú hay escaso apoyo económico y de infraestructura para llevar a cabo la investigación de este problema. Todo ello genera un retraso tecnológico, que no exista una buena evaluación del paciente y que se tenga un reducido número de médicos especialistas.

### 1.3.2 Fundamentación y Justificación

La importancia de este trabajo de tesis reside en la utilización de los recursos existentes en el Perú (computadoras personales y módulo de adquisición de electroencefalograma) para generar tecnología, desarrollando una herramienta cuantificable de apoyo al diagnóstico psiquiátrico a un bajo costo y diseñada para cubrir las necesidades médicas formuladas por psiquiatras y especialistas en

neurociencias de nuestro país. Ello contribuirá de alguna manera, a generar interés por parte del Departamento de Salud del Perú en la Salud Mental y de esta manera aumentar el apoyo a futuras investigaciones de este rubro.

Y en lo personal me inclino a desarrollar este trabajo de investigación debido a que siempre he tenido un profundo interés en aplicar mi conocimiento de ingeniería a la medicina.

#### **1.4 Hipótesis**

Dado que el diagnóstico psiquiátrico del TDAH cualitativo no genera un diagnóstico objetivo, entonces se plantea la necesidad de diseñar una herramienta de apoyo al diagnóstico psiquiátrico nacional basada en el procesamiento de señales cerebrales, una base de datos que contenga información de pacientes para el análisis y la evaluación cuantitativa de las señales cerebrales obtenidas por el EEG.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 General**

El objetivo de este trabajo de tesis es diseñar una herramienta software de apoyo al diagnóstico psiquiátrico del TDAH constituida por un sistema de procesamiento de señales cerebrales, base de datos dinámica de información y señales EEG de pacientes que identifique patrones comunes de esta enfermedad y estime sus niveles de incidencia en forma cuantitativa. Esta herramienta permitirá a los médicos especialistas apoyar su análisis cualitativo de forma cuantitativa, elevando de esta manera, la calidad del diagnóstico psiquiátrico en esos niños. Además, contribuirá a lograr un diagnóstico mucho más temprano y oportuno de esta enfermedad en niños ya que su diagnóstico precoz y manejo adecuado son fundamentales para obtener un mejor pronóstico de inserción social y calidad de vida.

### 1.5.2 Específicos

- Desarrollar una herramienta que procese la señal electroencefalografía previamente registrada para hallar índices cuantitativos que indiquen la presencia de la enfermedad TDAH de forma precoz.
- Desarrollar una interface para que el especialista interactúe con el software desarrollado.
- Desarrollar un ejecutable, que podrá ser instalado en cualquier computadora, sin necesidad de comprar un software necesario de elevado costo.



## Capítulo 2: Neurociencias, Electroencefalograma e Investigaciones sobre el TDAH

### 2.1 Neurociencias

#### 2.1.1 Definición

La neurociencia estudia la estructura y la función química, farmacología, y patología del sistema nervioso y de cómo los diferentes elementos del sistema nervioso interactúan y dan origen a la conducta.

El propósito principal de la Neurociencia es entender cómo el encéfalo produce una marcada individualidad de la acción humana. El estudio neurobiológico de la conducta incorpora el espacio entre las moléculas y la mente, involucra el nivel estructural y funcional y las interacciones físicas y químicas de lo normal para poder comprender lo patológico. El encéfalo contiene una red de 100,000 millones de células nerviosas delimitadas que se interconectan en sistemas que producen nuestra percepción del mundo externo e interno, centran nuestra atención y controlan la maquinaria de la acción. Cinco disciplinas principales nos permiten acercarnos al concepto actual de las células nerviosas: la anatomía, la embriología, la fisiología, la farmacología y la psicología.

Para entender que el cerebro es algo más que un litro y medio de materia grisácea e inerte que ocasionalmente se ve como un encurtido en frascos sobre algún estante polvoriento de laboratorio, se debe considerar que el cerebro es una entidad viva que genera una actividad eléctrica definida. Tal actividad podría describirse como tormentas eléctricas “autocontroladas” o, si adoptamos el término de uno de los pioneros de la neurociencia, Charles Sherrington, como un “tekar encantado”. En el concepto más amplio de las redes neuronales, dicha actividad es la mente [11].

El estudio biológico del cerebro es una área multidisciplinaria que involucra muchos niveles de estudio, desde el nivel molecular hasta el nivel celular (neuronas

individuales), las asambleas y redes pequeñas de neuronas como las columnas corticales, las asambleas grandes como las de percepción visual incluyendo sistemas como el córtex cerebral o el cerebelo y el nivel más alto del sistema nervioso en completo. En este nivel más alto, intentos neurocientíficos se combinan con ciencia cognitiva para crear neurociencia cognitiva, una disciplina que al principio fue dominada totalmente por psicólogos cognitivos. La neurociencia cognitiva apenas se está estableciendo como una especialidad dinámica por derecho propio. Algunos científicos creen que la neurociencia cognitiva proporciona una nueva manera de entender el cerebro y la conciencia que podrá reemplazar la manera que se usa popularmente [12].

La neurociencia incluye temas tan diversos, como:

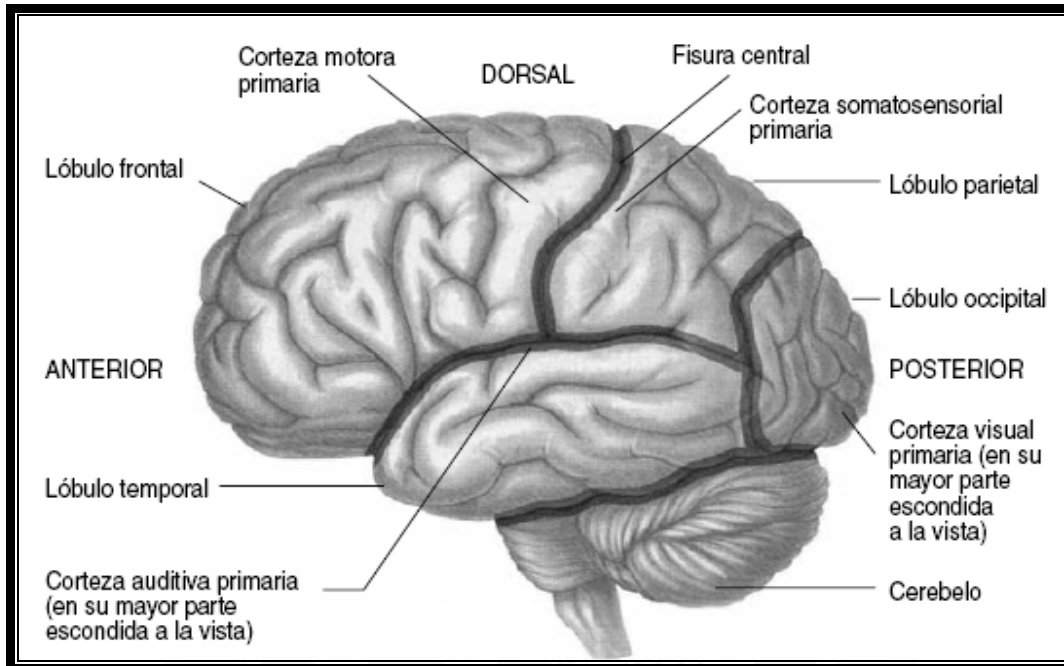
- La operación de neurotransmisores en la sinapsis.
- Los mecanismos biológicos responsables del aprendizaje.
- Cómo los genes contribuyen al desarrollo neuronal desde la concepción.
- La operación de redes neuronales.
- La estructura y funcionamiento de redes complejas involucradas en la memoria humana, la percepción, y el habla.
- La estructura y funcionamiento de la conciencia humana.

### 2.1.2 Trastorno Cerebral

El TDAH es un trastorno cerebral que involucra los sistemas motivacionales del cerebro. Al igual que con cualquier otro trastorno específico en un órgano o sistema, debemos entender primero la función normal de tal órgano o sistema para comprender posteriormente su disfunción. Puesto que la función del cerebro es producir comportamientos y pensamientos, los trastornos cerebrales son susceptibles de producir síntomas conductuales altamente complejos. El cerebro puede padecer muchos tipos de enfermedades y traumas, desde condiciones neurológicas como el TDAH, embolias y epilepsias, hasta enfermedades neurodegenerativas como los

males de Parkinson y Alzheimer, pasando por infecciones y daños cerebrales de origen traumático. En cada uno de estos casos, se reconoce al comportamiento como parte del trastorno [13] [29].

### 2.1.3 Estructura del cerebro



**Figura 2. 1:** Regiones estructurales y funcionales de la corteza cerebral.

El sistema nervioso es el principal sistema de comunicaciones del cuerpo y se divide en las regiones central y periférica (Figura 2.1.). El sistema nervioso central consiste del cerebro y la médula espinal; el sistema nervioso periférico abarca todos los nervios que están fuera del sistema nervioso central. La médula espinal controla las acciones reflejas, y transmite información sensorial y motora entre el cuerpo y el cerebro, para que el organismo pueda reaccionar apropiadamente a su entorno [14].

**Romboencéfalo o Cerebro Posterior:** región del cerebro donde se une con la médula espinal.

- **Mielencéfalo (médula):** la médula es vital para sostener la vida, y controla procesos como la respiración, el ritmo cardíaco y el flujo sanguíneo. La médula también contiene receptores para las drogas opioides como heroína y morfina,

y a ello se debe que estas drogas puedan causar depresión respiratoria y la muerte.

- **Metencéfalo (puente y cerebelo):** es una estación de transmisión de señales que van de la corteza al cerebelo, el cual está implicado en la coordinación y los movimientos del cuerpo.

Encima del cerebro posterior se encuentra:

**Mesencéfalo o Cerebro Medio:** que contiene dos zonas sumamente importantes para la dependencia de sustancias.

- **El Área Tegmental Ventral (ATV):** es rica en células dopaminérgicas, y se proyecta a las regiones del sistema límbico y el lóbulo anterior. El ATV está implicada en señalar la importancia de los estímulos que son críticos para la supervivencia, como los asociados con la alimentación y la reproducción. Sin embargo, muchas drogas psicoactivas también ejercen poderosos efectos sobre esta zona del cerebro, la cual contribuye al desarrollo de la dependencia, señalando que las sustancias psicoactivas son muy importantes desde una perspectiva motivacional.
- **La Sustancia Negra:** que también posee proyecciones dopaminérgicas hacia el lóbulo posterior, aunque estas rutas están implicadas en la coordinación y ejecución de movimientos del cuerpo. La degeneración de neuronas en la sustancia negra produce los síntomas característicos del mal de Parkinson.

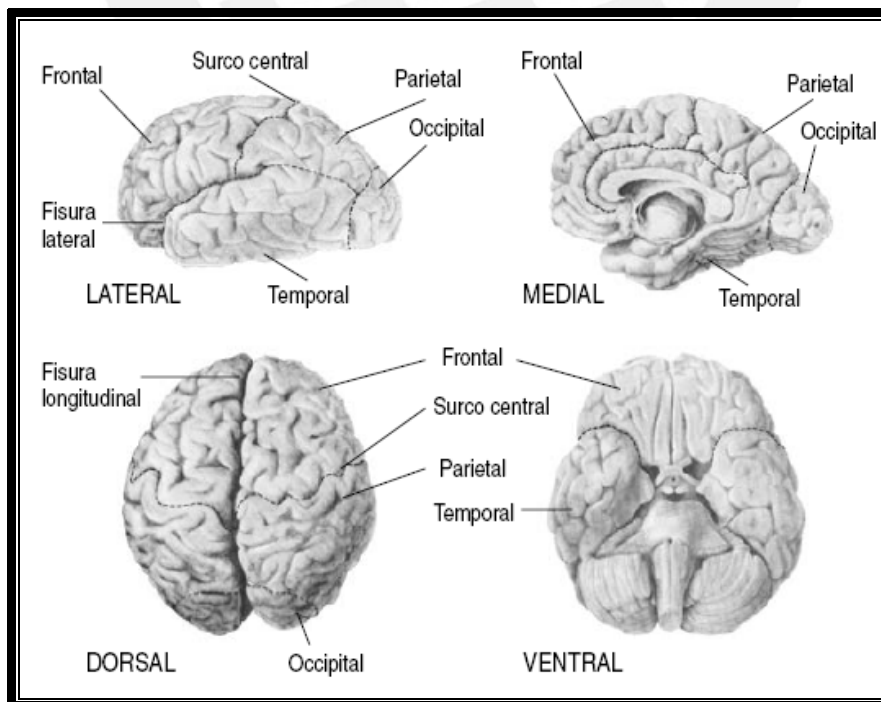
Finalmente, se encuentra

**Prosencéfalo o Cerebro Frontal: Compuesto del Diencefalo:** algunas zonas relevantes del diencefalo son el tálamo, hipotálamo y el lóbulo posterior de la glándula pituitaria.

- **El Hipotálamo:** es de importancia crítica para regular las señales hormonales y las funciones corporales básicas (relacionadas, por ejemplo, con el equilibrio de agua, temperatura corporal y hormonas reproductivas), así como para

responder a los cambios en estas funciones. El hipotálamo también secreta hormonas que viajan al vecino lóbulo posterior de la glándula pituitaria.

- **El Tálamo:** funciona como estación de transmisión de información sensorial y motora, que fluye hacia y desde la corteza y otras zonas del cuerpo del cerebro.
- **El Telencéfalo (hemisferios cerebrales):** El telencéfalo del lóbulo frontal es la zona más notablemente desarrollada del cerebro y está compuesto por dos hemisferios cerebrales separados por la fisura longitudinal. La capa más exterior del cerebro es la corteza, formada por capas de células nerviosas o neuronas, y tiene una organización sumamente plegada que incrementa su área de superficie y la cantidad de neuronas que contiene. Bajo la corteza corren millones de axones, que interconectan a las neuronas, permitiendo la comunicación entre las distintas zonas del cerebro y la coordinación de la conducta. El telencéfalo está compuesto por dos hemisferios cerebrales, separados por la fisura longitudinal media. Cada hemisferio está subdividido en cuatro lóbulos: frontal, parietal, occipital y temporal (Figura 2.2).



**Figura 2. 2:** Hemisferios cerebrales y los cuatro lóbulos.



- **Lóbulo Frontal:** su parte anterior está encargada de controlar la personalidad, emociones, razonamiento. Cuando se lesiona, produce trastornos de las funciones psíquicas, intelectuales y emocionales, con cambios del humor y carácter, confusión en el espacio y el tiempo, desorientación, trastornos en el juicio, perturbación alegre y cínica del humor, trastornos demenciales, amnesia y diferentes clases de alucinaciones visuales, auditivas, olfatorias. Su parte posterior, junto al Lóbulo Parietal, está encargada de mover los músculos. Cuando se lesiona produce parálisis en la pierna y brazo del lado opuesto.
- **Lóbulo Parietal:** encargado especialmente de recibir las sensaciones de tacto, calor, frío, presión y coordinar el balance. Cuando se lesiona produce parálisis en el brazo y pierna del lado opuesto, a veces con dolores y epilepsias sensitivas y desequilibrios de balance. La lesión del lado izquierdo produce trastornos del lenguaje y dificultad para leer.
- **Lóbulo Temporal:** encargado de la audición, lenguaje, dicción. El lenguaje está localizado en el hemisferio izquierdo, en las personas que usan la mano derecha, y por eso en los derrames del lado izquierdo del cerebro pierden el lenguaje. Los sentidos de sabor y olor, poco desarrollados en los humanos, suelen estar representados en áreas pequeñas de los lóbulos temporal y frontal. Muchas epilepsias se deben a cicatrices o trastornos de los lóbulos temporales.
- **Lóbulo Occipital:** encargado de la visión. Su lesión da una ceguera especial llamada hemianopsia homónima, con alucinaciones visuales en forma de centelleos, bolas o puntos luminosos, y agnosia visual que consiste en ver los objetos pero no reconocerlos [15].

## 2.2 Electroencefalograma

### 2.2.1 Definición

El electroencefalograma (EEG) es el registro de la actividad eléctrica de las neuronas del encéfalo. Dicho registro posee formas muy complejas que varían mucho con la localización de los electrodos y entre individuos. Esto es debido al gran número de interconexiones que presentan las neuronas y por la estructura no uniforme del encéfalo.

La Electroencefalografía es el registro y evaluación de los potenciales eléctricos generados por el cerebro y obtenidos por medio de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo.

### 2.2.2 Historia del EEG

La primera vez que se tuvo la oportunidad de explorar el cerebro humano se llevo a cabo gracias a una guerra. En 1870, Fritsch y Hitzig, médicos militares del ejército prusiano, observaron que al estimular, mediante corriente galvánica, determinadas áreas laterales de cerebros descubiertos (de algunas de las bajas de la batalla de Sedán) se producían movimientos en el lado opuesto del cuerpo [30].

Cinco años más tarde R. Caton confirmó que el cerebro es capaz de producir corrientes eléctricas. Ferrier, siguiendo en la misma línea, experimentó con la «corriente farádica». Como resultado de todo ello, hacia finales de siglo se tenían suficientes pruebas de que el cerebro de los animales poseía propiedades eléctricas comparables a las encontradas en el nervio y en el músculo.

En 1913, Prawdycz-Neminski registró lo que llamó «electrocerebrograma» de un perro, siendo el primero en intentar clasificar semejantes observaciones. Hay que puntualizar, sin embargo, que todos los experimentos se hacían sobre cerebros descubiertos. Al ser los cambios eléctricos muy pequeños y sin procedimientos de

amplificación, era imposible registrar los impulsos que alcanzaran el exterior del cráneo aún de haberse sospechado su existencia.

Fue en 1928 cuando Hans Berger ideó un método que prometía una investigación de la actividad eléctrica cerebral, descubriendo lo que se conoció como «ritmo de Berger». Sin embargo, no fue reconocida su importancia sino hasta años después debido a su falta de conocimiento técnico. Mientras tanto, las posibilidades de la electroencefalografía clínica se discutían, por primera vez, en una reunión que se realizó en el Laboratorio Central de Patología del Hospital Maudsley de Londres, en 1929. A pesar de que el grupo de investigadores intentara obtener registros del «ritmo de Berger» usando amplificadores y un galvanómetro vetusto, no se lograba tomar en serio el estudio del cerebro ni los descubrimientos de Berger.

Fue en 1934 cuando a raíz de una demostración pública ante un auditorio británico en una reunión de la Sociedad de Fisiología, en Cambridge, Adrian y Matthews verificaron por primera vez el «Ritmo de Berger». Berger, utilizando las mejoras introducidas por Adrian, siguió avanzando hasta donde le permitía su técnica defectuosa, observando por ejemplo que cuando el sujeto abría los ojos o resolvía algún problema mentalmente se alteraba el ritmo amplio y regular. Esto fue verificado posteriormente por Adrian y Matthews quienes al tener mejores conocimientos científicos y mejores técnicas avanzaron incluso mucho más, demostrando que el ritmo regular y amplio de diez ciclos por segundo surgía de las áreas visuales de asociación y no de todo el cerebro. Años más tarde se apreció la importancia de tal descubrimiento. Posteriormente la electropatología del cerebro creció en importancia, confirmándose las predicciones de Golla sobre las alteraciones de las oscilaciones rítmicas en las enfermedades. Se avanzó mucho en este campo, comenzando a interesar, entre los investigadores del EEG, el estudio de la epilepsia y otras enfermedades mentales, poniéndose de relieve la complejidad del tema y la imposibilidad de aislamiento de funciones simples, siendo necesario estudiar al cerebro como un órgano total.

A partir de estos comienzos con el paso de los años y mediante evaluaciones sucesivas, se han llegado a conocer otros aspectos del EEG tal como lo conocemos hoy en día [16] [26].

### 2.2.3 Características de las ondas EEG

La señal EEG se caracteriza por tener potenciales eléctricos que varían entre los 5 y 300  $\mu\text{V}$  de amplitud, así como un ancho de banda que llega hasta los 100 Hz. [17].

Para el mejor estudio de esta señal, los especialistas han adoptado el procedimiento de segmentar la señal en diferentes bandas de frecuencia. De esta manera se tienen las siguientes Bandas de Frecuencia (BF) (Figura 2.3):

- *Delta (1.5-3 Hz)*: Tienden a ser ondas lentas de grandes amplitudes. Se producen en estado de sueño profundo, en algunos procesos anormales y también durante experiencias de estado empático. Estas ondas están relacionadas con nuestra capacidad de integrar.
- *Theta (3–7.5Hz)*: Esta onda cerebral es también clasificada como una onda lenta. Está relacionada con la creatividad, la intuición, los recuerdos, las emociones y sensaciones.
- *Alfa (7.5-12Hz)*: Alpha es un estado común para el cerebro y se produce cuando una persona está en estado de alerta (es un marcador para la vigilancia y el sueño).
- *Beta (12-25Hz)*: En general se considera un ritmo normal y es el ritmo dominante en los estados de alerta, ansiedad, cuando se tienen los ojos abiertos y se está escuchando, en la resolución de problemas, juicio, la toma de decisiones, tratamiento de información del mundo que nos rodea.

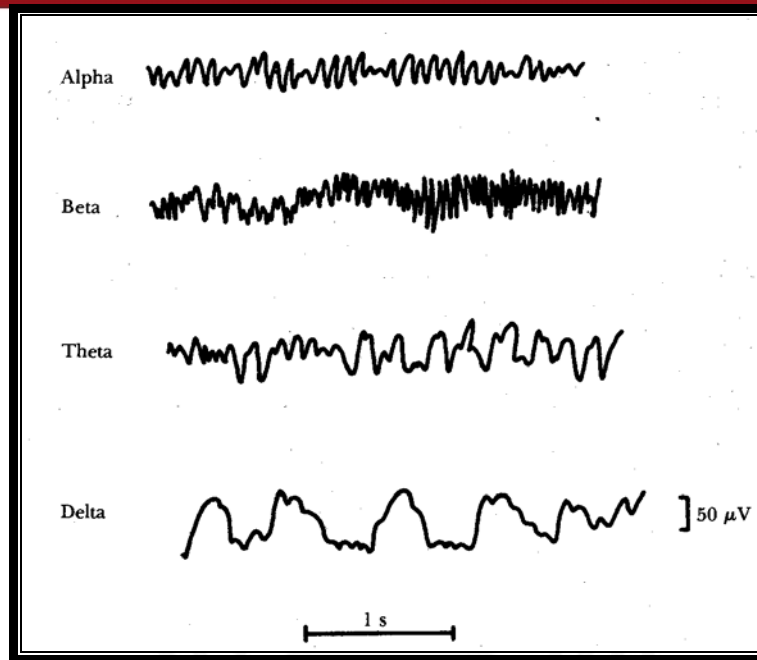
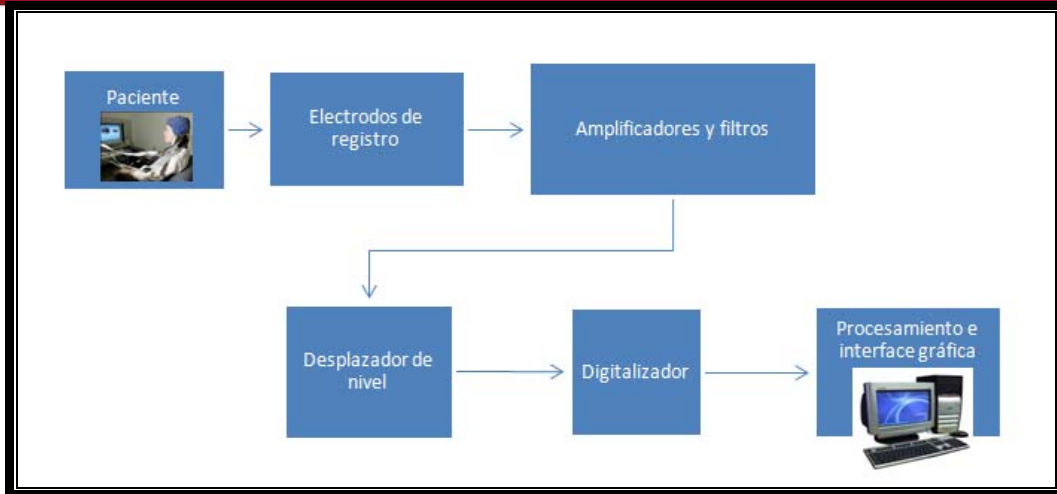


Figura 2. 3: Bandas de Frecuencia.

#### 2.2.4 Adquisición de las Ondas EEG

Como se observa en la figura 2.4, para el registro de las ondas EEG se emplea un sistema de registro que consiste en: [11] [27]

- Electrodo de registro.
- Amplificadores y Filtros.
- Desplazador de nivel.
- Digitalizador.
- Procesamiento e interface gráfica.



**Figura 2. 4:** Diagrama de bloque de un electroencefalógrafo general.

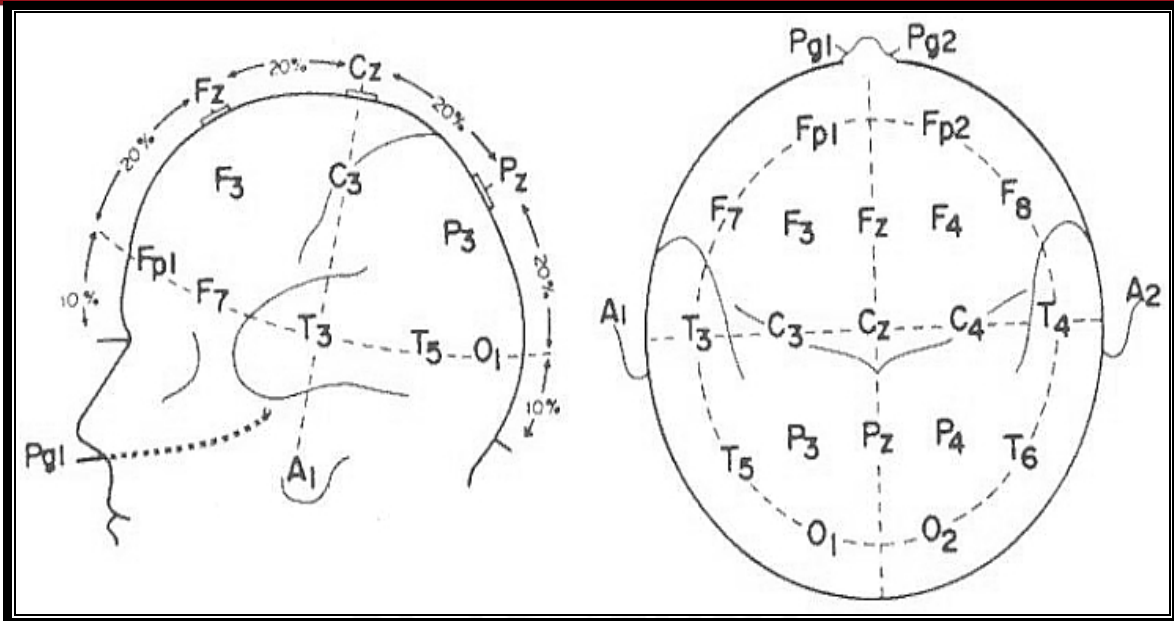
### 2.2.5 Electrodo de Registro

Los electrodos de registro y sus propiedades de adquisición son importantes para la apropiada adquisición de las señales EEG.

Existen muchos tipos de electrodos y de diferentes características. A continuación se menciona algunos tipos:

- Desechables (sin y con gel).
- De disco reusable (oro, plata, acero inoxidable y estaño).
- Capuchas con electrodos.
- Salinos.
- De aguja.

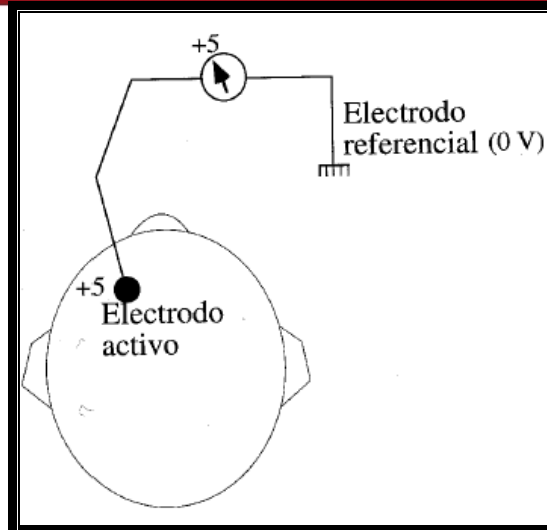
Es necesario conocer la posición donde se debe colocar los diferentes electrodos en la superficie craneal. Cabe destacar que el sistema internacional 10-20 es empleado por muchos autores (Figura 2.5.).



**Figura 2. 5:** Sistema internacional 10-20, los electrodos A1 y A2 son electrodos de referencia.

Cada electrodo es un punto de registro. Sin embargo, para poder realizar este registro es preciso disponer de dos terminales. Por esto habrá que seleccionar que electrodos deben ser la fuente de señal registrada en el electroencefalógrafo, dependiendo del número de canales disponibles y del propósito específico del registro a realizar. En este aspecto, la primera decisión que se deberá tomar será el seleccionar entre Registros Monopolares y Registros Bipolares.

En los Registros Monopolares o Referenciales (Figura 2.6) se toma la señal de cada uno de los electrodos independientemente de la de los demás. En esta situación el electrodo de registro se llama electrodo activo y el segundo cable de entrada al equipo se toma de un electrodo llamado de Referencia.



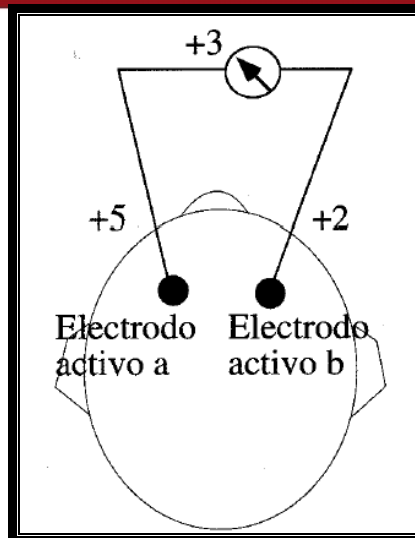
**Figura 2. 6:** Esquema que representa el montaje para un registro monopolar.

Teóricamente este electrodo debe estar situado a potencial cero, aunque esto en la práctica actual es bastante difícil de conseguir. Por eso se emplean referencias aproximadas como son el uso de electrodos en el lóbulo de la oreja, en el mentón o en el mastoides.

Existen otros tipos de referencia que se utilizan, por ejemplo, para reducir los artefactos debidos al electrocardiograma, muy corrientes en los registros referenciales, se disponen de dos o más electrodos en lugares próximos al corazón (fuera del cráneo) y se unen entre sí. De esta forma en ellos se cortocircuita la señal electrocardiográfica con lo que ésta se atenúa en gran medida. Incluso es posible balancear, por medio de un mando adecuado, el punto de referencia virtual formado con estos electrodos para asegurar una atenuación más completa de la señal EEG indeseada.

En los Registros Bipolares se toman parejas de electrodos, dos a dos y se registran las diferencias de tensión entre cada par de puntos (Figura 2.7). Los dos electrodos de cada pareja son activos.





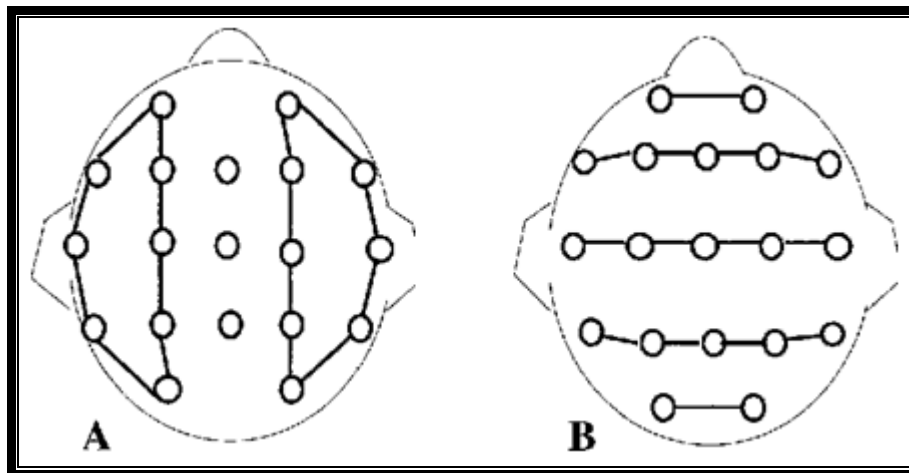
**Figura 2. 7:** Esquema de un montaje para un registro bipolar. El electrodo a está a un potencial de +5, el electrodo b a un potencial de +2, registrándose así un potencial de  $(+5) - (+2) = +3$ .

De acuerdo con lo anterior es posible realizar un número enorme de registros bipolares diferentes, tantos como parejas diferentes de electrodo, tomadas en grupos de 8, de 12, de 16 etc. (según el número de canales disponibles para registro simultáneo). Por supuesto, este número de combinaciones es enorme y por otra parte, muchas de las combinaciones posibles no rendirían información de interés. Por esta razón es preciso seleccionar, de entre todas las posibles, las combinaciones más interesantes. Cada una de las combinaciones seleccionadas se llama Montaje.

Se utilizan Montajes a Largas Distancias cuando se registra entre electrodos no contiguos. Por el contrario, en los Montajes a Distancias Cortas se hacen registros entre electrodos vecinos.

Por otra parte, los montajes también han sido clasificados por la Federación Internacional de EEG y Neurofisiología, en Longitudinales y Transversales.

En los Montajes Longitudinales se registra la actividad de pares de electrodos dispuestos en sentido antero posterior de cada mitad del cráneo. En los Montajes Transversales se realizan registros de pares de electrodos dispuestos transversalmente según los planos sagitales anterior, medio o posterior (figura 2.8) [18].



**Figura 2. 8:** Esquema de un montaje A longitudinal bipolar, montaje B. transversal bipolar. Cada segmento situado entre dos puntos representa un canal de registro.

Además de estos montajes, existen otros muy usados, como las Zetas del Standard Cero, o las triangulaciones, pero no están normalizados por la Federación Internacional.

Se recomienda, además, seguir las siguientes directrices en el diseño de montajes para registro del EEG:

- Registrar como mínimo 8 canales.
- Utilizar el sistema diez-veinte para colocación de electrodos.
- Cada sesión rutinaria de registro EEG debe incluir como mínimo un montaje de los tres tipos principales: referencial, longitudinal bipolar y transversal bipolar.

Los 16 canales recomendados por la «American Electroencephalographic Society» (1986) para cada uno de los tipos de montajes utilizados en adultos están representados en la tabla 2.1. Los canales adicionales pueden utilizarse para registrar otras funciones biológicas como ECG, movimientos oculares, respiración, EMG.

**Tabla 2. 1:** Montajes recomendados para EEG. LB, montaje longitudinal; TB, montaje transversal bipolar; R, montaje referencial.

Canales	LB	TB	R
1	FP1-F3	FP1FP2	FP1-A1
2	F3-C3	F7-F3	FP2-A2
3	C1-P3	F3-Fz	F3-A1
4	P3-O1	Fz-F4	F4-A2
5	FP2-F4	F4-F8	C3-A1
6	F41-C4	A1-T3	C4-A2
7	C4-P4	T3-C3	P3-A1
8	P4-O2	C3-Cz	P4-A2
9	FP1-F7	Cz-C4	O1-A1
10	F7-T3	C4-T4	O2-A2
11	T3-T5	T4-A2	F7-A1
12	T5-O1	T5-P3	F8-A2
13	FP2-F8	P3-Fz	T3-A1
14	F8-T4	Pz-P4	T4-A2
15	T4-T6	P4-T6	T5-A1
16	T4-O2	O1-O2	T6-A2

Elaborado por: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Salamanca [18]

### 2.2.6 Amplificadores y Filtros

Las señales necesitan ser amplificadas para ser compatibles con dispositivos tales como displays, registradores, o convertidores A/D.

Estos deben proveer una amplificación selectiva para señales fisiológicas, rechazando los ruidos superpuestos y señales interferentes, y deben de garantizar protección contra daños debido a fuentes de voltaje y corriente para el paciente y el equipo electrónico.

Los requerimientos básicos que un amplificador debe de satisfacer son:

- El proceso fisiológico a ser monitoreado no debe de ser influenciado de ninguna manera por el amplificador.
- La medición de la señal no debe ser distorsionada.

- El amplificador debe proveer la mejor entre señal e interferencias.
- El amplificador debe de proveer protección al paciente de posibles riesgos de choque eléctrico.

La señal que ingresa al amplificador consta de cinco componentes:

- La señal biopotencial deseada.
- La señal biopotencial no deseada.
- La señal de interferencia de la fuente de energía de 60Hz y sus armónicos.
- La señal de interferencia generada por la interface tejido – electrodo.
- El ruido.

El amplificador debe de tener la mayor relación señal a ruido posible para tener un nivel de ruido pequeño con respecto a la señal EEG.

#### 2.2.6.1 Desplazador de Nivel

Para poder digitalizar la señal es necesario de que la señal sea totalmente monopolar. Para ese fin se diseña un desplazador de nivel que ocasione un offset que asegure que toda la señal sea mayor que cero voltios (totalmente positiva).

#### 2.2.6.2 Digitalizador

Este proceso consta de 4 etapas:

- *Muestreo*, consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda. La velocidad con que se toma esta muestra, es decir, el número de muestras por segundo, es lo que se conoce como frecuencia de muestreo.
- *Retención*, la muestras tomadas son retenidas por un circuito de retención el tiempo necesario que permita evaluar su nivel.
- *Cuantificación*, en este etapa se mide el voltaje de cada una de las muestras. Consiste en asignar un margen de valor, analizar un margen de una señal analizada a un único nivel de salida.

- *Codificación*, en esta etapa se traduce los valores obtenidos en la etapa de cuantificación al código binario. Hay que tener en cuenta que el código binario es el más usado pero también hay otros códigos ( código octal, código decimal, etc.).

### 2.2.6.3 Procesamiento e interface gráfica

Con el fin de procesar la señal EEG y diseñar la interface gráfica para diversos fines, son utilizados diversos software de programación, entre ellos se describen los siguientes:

- **C++**, "C" es un lenguaje de alto nivel, basado en funciones, que permite desarrollos estructurados. Entre otras muchas características contempla la definición de estructuras de datos, recursividad o direcciones a datos o código (punteros).

"C ++", por su parte, es un súper conjunto de "C", al que recubre con una capa de soporte a la Programación Orientada a Objetos (POO). Permite por tanto la definición, creación y manipulación de objetos.

La POO es una nueva filosofía de programación que se basa en la utilización de objetos. El objetivo de la POO no es sino la meta de cualquier modelo de programación estructurada convencional: "imponer" una serie de normas de desarrollo que aseguren y faciliten el mantenimiento y reutilización del código.

- **BASIC**, es un lenguaje de programación que fue desarrollado como una herramienta de enseñanza. BASIC es el acrónimo de Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code por correspondencia con Thomas E. Kurtz. (Traducido al español: "código de instrucciones simbólicas de propósito general para principiantes").

La sintaxis mínima de BASIC sólo necesita los comandos LET, INPUT, PRINT, IF y GOTO. Un intérprete que ejecuta programas con esta sintaxis mínima no necesita una pila. Algunas de las primeras implementaciones eran así de

simples. Si se le agrega una pila, se puede agregar también ciclos FOR anidados y el comando GOSUB. Un intérprete de BASIC con estas características necesita que el código tenga números de línea.

Los números de línea fueron un aspecto muy distintivo del BASIC clásico. Sin embargo, el uso de números de línea tiene la desventaja de requerir que el programador estime cuántas líneas ocupará la parte del programa que escribe. Este requerimiento se cumple generalmente incrementando los números de línea en un intervalo regular, como 10, pero esto lleva a problemas a la hora que el código después agregado exceda el espacio disponible entre las líneas originales. Para aliviar este problema de los primeros intérpretes de BASIC, los usuarios expertos pronto escribieron sus propios programas utilitarios para reenumerar sus programas, después del ingreso inicial. Más tarde aparecieron intérpretes de BASIC que incluían un comando específico RENUMBER, el que permitía reenumerar rápidamente (y las veces que se quisiera) todo el código nuevamente, con cualquier intervalo entre líneas indicado y a partir de un número entero dado; eliminando así el principal problema de la numeración de líneas obligatoria.

En los dialectos modernos de BASIC MIUN ya no es necesario incluir números de línea (aunque son permitidos), y la mayoría (o todos) han añadido control de flujo estructurado y los constructores de declaración de datos similares a los de otros lenguajes, tales como C y Pascal: do, loop, while, until, exit, on... goto, gosub, select ... case.

- **Herramienta de desarrollo MATLAB**, MATLAB es la abreviatura de Matrix Laboratory (laboratorio de matrices). Es un programa de cálculo numérico, orientado a matrices y vectores y de herramientas computacionales creado por The MathWorks en 1984 que permite el manejo de algoritmos matemáticos para ser usados en todo tipo de aplicaciones, por lo que cuenta con librerías para cada aplicación [19].

MATLAB es un lenguaje de alto nivel para computación técnica matemática. Integra la computación, visualización y programación en un ambiente fácil de usar donde los problemas y soluciones son expresados en una notación matemática familiar. Es un sistema interactivo cuyo elemento básico de información es un arreglo que no requiere dimensionamiento. Esto permite formular soluciones a muchos problemas computacionales, especialmente a aquellos que requieren representaciones de matrices en una fracción de tiempo [20].

### 2.3 Electroencefalógrafos en la actualidad

Actualmente se cuenta con diversos equipos capaces de capturar señales electroencefalográficas con el fin de procesar dichas señales para el diagnóstico de diversos trastornos y enfermedades. A continuación se muestra la tabla 2.2 con diversos equipos electroencefalográficos con sus respectivas características. Cabe mencionar que los precios han sido obtenidos de la página Web del Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado (SEACE) [32]:

**Tabla 2. 2:** Equipos electroencefalográficos con sus características.

MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS	COSTO
Nihon Kohden	Neurofax EEG-1200	Sistema de EEG asistido por PC, incluye amplificadores para el registro de 38, 44, 64, 128 o 192 canales con frecuencias de muestreo de hasta 10.000 Hz. Se puede representar simultáneamente un máximo de 250 canales de EEG. Incluye Fotoestimulador. [33]	S/. 87,584.00
Nihon Kohden	Neurofax EEG-9100	Sistema de entrada de 32 canales y despliegue de hasta 64 canales en pantalla utilizado para el estudio de pacientes con trastornos de aprendizaje. [34]	S/. 45,887.66
Neurotec	Neuromap EQSA-260	Sistema EEG de 26 canales con filtros configurables. Permite su uso tanto con desktops como con notebooks. Realiza Poligrafía Neonatal, Polisomnografía, Vídeo EEG-Digital, Vídeo-Polisomnografía y Monitoreo de EEG. [35]	S/. 65,569.00
Neurotec	Neuromap 40i	Sistema de 54 canales de patrón sólido y confiable. Permite su uso tanto con desktops como con notebooks. Realiza Poligrafía Neonatal, Polisomnografía, Vídeo EEG-Digital, Vídeo-Polisomnografía y Monitoreo de EEG. [36]	S/. 59,000.00
Viasys Healthcare	Nicolet vEEG	Sistemas de EEG de 32 canales capaz de realizar estimulación fótica, temporización de hiperventilación, informes, etc. Cuenta con opciones adicionales que incluyen video digital, pico, detección de ataque, el análisis de trastornos y del sueño. [37]	S/. 52,000.00

Autoría Propia

## 2.4 Investigaciones sobre el TDAH

Lo que veremos a continuación son los test utilizados por los especialistas para el diagnóstico del TDAH.

### 2.4.1 Sistema DSM-IV

El Manual de Diagnóstico y Estadístico de los trastornos mentales, cuarta edición (DSM-IV) publicado por la Asociación Americana de Psiquiatría define los criterios



para el diagnóstico de trastornos neurobiológicos y otros trastornos psiquiátricos, como el TDAH.

El DSM-IV define el TDAH de una forma amplia y requiere para el diagnóstico la presencia de síntomas de inatención (al menos seis síntomas) o de hiperactividad/impulsividad (al menos seis síntomas). Los síntomas deben estar presentes antes de los 7 años en al menos dos ambientes de la vida del niño, y durar como mínimo seis meses.

De acuerdo al sistema DSM-IV se definen 3 tipos de TDAH:

- TDAH tipo hiperactivo-impulsivo: el niño presenta principalmente hiperactividad e impulsividad.
- TDAH tipo inatento: el niño presenta principalmente inatención.
- TDAH tipo combinado: el niño presenta las 3 características: hiperactividad, impulsividad e inatención.

A continuación en la Tabla 2.3 se muestran los criterios para el diagnóstico del TDAH según el DSM-IV:

**Tabla 2. 3:** Criterios para el diagnóstico del TDAH según el DSM-IV.

<b>A. o Bien 1 ó 2:</b>	
<b>1. Seis o más de los siguientes síntomas de desatención han persistido por lo menos durante 6 meses con una intensidad que no adaptativa e incoherente en relación con el nivel de desarrollo:</b>	
<b>Falta de atención</b>	a. a menudo no presta atención suficiente a los detalles o incurre en errores por descuido en las tareas escolares, en el trabajo o en otras actividades
	b. a menudo tiene dificultades para mantener la atención en tareas o en actividades lúdicas
	c. a menudo parece no escuchar cuando se le habla directamente
	d. a menudo no sigue instrucciones y no finaliza tareas escolares, encargo u obligaciones en el centro de trabajo (no se debe a comportamiento rebelde o a incapacidad para comprender las instrucciones)
	e. a menudo tiene dificultad para organizar tareas y actividades
	f. a menudo evita, le disgusta o es renuente en cuanto a dedicarse a tareas que requieren un esfuerzo mental sostenido (como trabajos escolares o domésticos)
	g. a menudo extravía objetos necesarios para tareas o actividades (como juguetes, trabajos escolares, lápices, libros o herramientas)
	h. a menudo se distrae fácilmente por estímulos irrelevantes
	i. a menudo es descuidado en las actividades diarias
<b>2. Seis o más de los siguientes síntomas de hiperactividad-impulsividad han persistido por lo menos durante 6 meses con una intensidad que es desadaptativa e incoherente en relación con el nivel de desarrollo:</b>	
<b>Hiperactividad</b>	a. a menudo mueve en excesos las manos o los pies o se remueve en el asiento
	b. a menudo abandona su asiento en la clase o en otras situaciones en las que es inapropiado hacerlo
	c. a menudo corre o salta excesivamente en situaciones en las que es inapropiado hacerlo (en los adolescentes o adultos puede limitarse a sentimientos subjetivos de inquietud)
	d. a menudo tiene dificultades para jugar o dedicarse tranquilamente a actividades de ocio
	e. a menudo 'está en marcha' o actúa como si 'tuviera un motor'
	f. a menudo habla en exceso
<b>Impulsividad</b>	g. a menudo precipita respuestas antes de haber sido completadas las preguntas
	h. a menudo tiene dificultades para guardar turno
	i. a menudo interrumpe o se inmiscuye en las actividades de otros (por ejemplo, se entromete en conversaciones o juegos)
<b>B. Algunos síntomas de hiperactividad-impulsividad o de desatención que causaban alteraciones estaban presentes antes de los 7 años de edad.</b>	
<b>C. Algunas alteraciones provocadas por los síntomas se presentan en dos o más ambientes (por ejemplo, en la escuela, o en el trabajo y en casa).</b>	
<b>D. Deben existir pruebas claras de un deterioro clínicamente significativo de la actividad social, académica o laboral.</b>	
<b>E. Los síntomas no aparecen exclusivamente en el transcurso de un trastorno generalizado del desarrollo, esquizofrenia u otro trastorno psicótico y no se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental (por ejemplo, trastorno del estado de ánimo, trastorno de ansiedad, trastorno disociativo o a un trastorno de la personalidad).</b>	

Elaborado por: American Psychiatric Association [31]

### 2.4.2 Cuestionarios de Conners

El cuestionario de Conners es una herramienta que puede ser usada por maestros y padres para el diagnóstico del TDAH.

A continuación se muestra, en la tabla 2.4, el cuestionario usado por profesores:

**Tabla 2. 4:** Cuestionario de Conners para profesores.

ÍNDICE DE HIPERACTIVIDAD PARA SER VALORADO POR LOS PROFESORES				
	Nada	Poco	Bastante	Mucho
1. Tiene excesiva inquietud motora.				
2. Tiene explosiones impredecibles de mal genio.				
3. Se distrae fácilmente, tiene escasa atención.				
4. Molesta frecuentemente a otros niños.				
5. Tiene aspecto enfadado, huraño.				
6. Cambia bruscamente sus estados de ánimo.				
7. Intranquilo, siempre en movimiento.				
8. Es impulsivo e irritable.				
9. No termina las tareas que empieza.				
10. Sus esfuerzos se frustran fácilmente.				
TOTAL .....				

Elaborado por: Departamento de Educación del Gobierno de Navarra

Se usa de la siguiente manera:

- Se asigna puntaje a cada respuesta de la siguiente manera:
  - NADA = 0 PUNTOS
  - POCO = 1 PUNTO
  - BASTANTE = 2 PUNTOS
  - MUCHO = 3 PUNTOS

- Se suma las puntuaciones obtenidas.
- Puntuación:
  - Para los NIÑOS: una puntuación mayor de 17 es sospecha de TDAH.
  - Para las NIÑAS: una puntuación mayor de 12 es sospecha de TDAH.

### 2.4.3 Presencia del Electroencefalograma en el Diagnóstico del TDAH

La contribución del EEG tradicional al estudio del TDAH ha tenido interpretaciones variables pero predominan los autores que refieren la presencia de anomalías frecuentes en el EEG de estos pacientes. Aunque la anomalía más común consiste en el incremento de la actividad lenta, también se ha señalado que tienen un porcentaje significativamente mayor de actividad epileptiforme que los niños normales, y que la misma es más evidente durante la hiperventilación y la foto estimulación. El análisis cuantitativo del EEG, en particular en el dominio de las frecuencias, abrió nuevas posibilidades para el estudio de los pacientes con TDAH. Entre las principales anomalías que se pueden mencionar se tiene:

- Disminuciones generalizadas de la Potencias Absoluta (PA) y Potencia Relativa (PR) Delta.
- Disminución difusa de las frecuencias medias de las bandas Beta y Alfa.
- Aumentos de las PA Theta y PR Theta.
- Aumentos de los cocientes  $\frac{PA(Theta)}{PA(Alfa)}$  y  $\frac{PA(Theta)}{PA(Beta)}$ .

Las tres primeras anomalías fueron encontradas por Chabot y Serfontein, y fueron similares a las referidas por otros autores, pero la interpretación no siempre ha sido una desviación del desarrollo, pues hay quienes señalan que se trata más bien de un retardo en la maduración del EEG.

Monastra y colaboradores hicieron pruebas con más de 400 niños y adolescentes y encontraron que el cociente Theta/Beta fue mayor en pacientes con TDAH que en los controles. Por otro lado, Clarke y colaboradores observaron que los dos cocientes

servían para diferenciar no solo a los niños con TDAH de los controles sino que también a los TDAH mixtos de los de predominio de la inatención. Además, los trabajos de Bresnahan y Barry han confirmado que el cociente Theta/Beta permanece elevado en las personas con TDAH desde la niñez hasta la adultez y que incluso permite distinguir entre pacientes adultos con TDAH de aquellos que muestran algunos síntomas pero que no presentan todos los síntomas del trastorno, lo que otorga a este marcador cierta especificidad en el TDAH. [28]



## Capítulo 3: Diseño de la Herramienta Software Cuantitativa de Análisis de las Señales EEG Para Apoyar el Diagnóstico Psiquiátrico

Del diagrama de la figura 2.4 la presente tesis esta enfocada en desarrollar el sub-bloque “Procesamiento e interface gráfica”.

### 3.1 Requisitos del software

Los requisitos del software son los siguientes:

- Menor complejidad de programación.
- Menor costo de mantenimiento.
- Mayor seguridad.

Según lo tratado en 3.1 y 2.2.4.5 se obtienen los siguientes resultados:

- MATLAB, a diferencia de C++ y BASIC, presenta una mayor velocidad de desarrollo, es mucho más lento programar en C++ y BASIC. La razón estriba en que MATLAB posee librerías que permiten obtener los mismos resultados que en C++ y BASIC con la diferencia de que en estas últimas se escribiría mayor cantidad de líneas de códigos.
- El mantenimiento de C++ y BASIC es más difícil y costoso que el de MATLAB. Los códigos en C++ y BASIC se prestan a sentencias cortas y enrevesadas de difícil interpretación. Aunque el lenguaje admite código escrito de forma fácilmente legible, algunos programadores pueden acabar escribiendo código difícil de leer si es que no se siguen normas en el equipo de programación, lo que complicaría la revisión y el mantenimiento.
- C++ y BASIC no disponen de sistemas de control automáticos y la seguridad depende casi exclusivamente de la experiencia del programador. La mayor parte de los problemas de seguridad en los sistemas informáticos actuales

deriva de haber sido realizados en C++. El fallo de seguridad clásico consiste en que algunas entradas de información al programa no se comprueban en longitud. Si un atacante introduce datos lo suficientemente grande puede provocar la sobreescritura de código en la pila del programa e incluso llegar a forzar la ejecución de código pernicioso. Los lenguajes de tipo dinámico cuentan con controles de gestión de memoria y de entrada de datos automáticos.

**Tabla 3. 1:** Tabla de requerimientos del software.

ITEMS	BASIC	Lenguaje C	MATLAB
Menor complejidad de programación	No cumple	No cumple	Cumple
Menor costo de mantenimiento	No cumple	No cumple	Cumple
Mayor seguridad	No cumple	No cumple	Cumple

Autoría propia

Por lo visto anteriormente en la tabla 3.1, se evidencia que el programa MATLAB 7.0 es el más idóneo para este tipo de diseño puesto cumple con los requisitos de software para el desarrollo del sistema de apoyo al especialista. Además posee una librería especializada en el tratamiento y procesamiento de señales lo que permite obtener la transformada de Fourier (TF) de una señal o función discreta. Asimismo, con MATLAB se pueden crear ejecutables que pueden ser utilizados en cualquier plataforma de trabajo, sin necesidad de tener instalado el programa en sí, lo que abarata los costos de adquisición de la licencia. Por tal motivo, se optó por la elección del programa MATLAB.

### 3.2 Método de Diagnóstico

Como se indica en la siguiente tabla, se elige como método de diagnóstico el aumento

de los cocientes  $\frac{PA(\Theta)}{PA(\text{Alfa})}$  y  $\frac{PA(\Theta)}{PA(\text{Beta})}$ .

**Tabla 3. 2:** Método de diagnóstico (autoría propia).

Método del diagnóstico	Aceptación de los Especialistas
Disminuciones generalizadas de la PA y PR delta.	En discusión
Disminución difusa de las frecuencias medias de las bandas beta y alfa.	En discusión
Aumentos de las potencias absoluta (PA) Theta Y potencia relativa (PR) Theta.	En discusión
Aumentos de los cociente Theta/Alfa y Theta/Beta.	<b>Aceptado por los especialistas.</b>

Autoría propia

### 3.3 Descripción del Programa

Las Señales Electroencefalográficas son señales eléctricas generadas por el cerebro que contienen las bandas Theta, Alfa y Beta requeridas para hallar los cocientes

$$\frac{PA(Theta)}{PA(Alfa)} \text{ y } \frac{PA(Theta)}{PA(Beta)}.$$

Para este trabajo de tesis, el instrumento usado para la adquisición de las señales EEG fue el BIOPAC MP35/30. Este equipo adquiere las señales mediante un canal; a la vez se encarga del amplificar, filtrar, digitalizar y enviar la señal digitalizada hacia una computadora. Mediante el software del BIOPAC MP35/30, se recoge la muestra EEG y se guarda con una extensión .TXT.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo del programa principal de la herramienta desarrollada. A continuación se describe el diagrama de flujo en dos etapas:



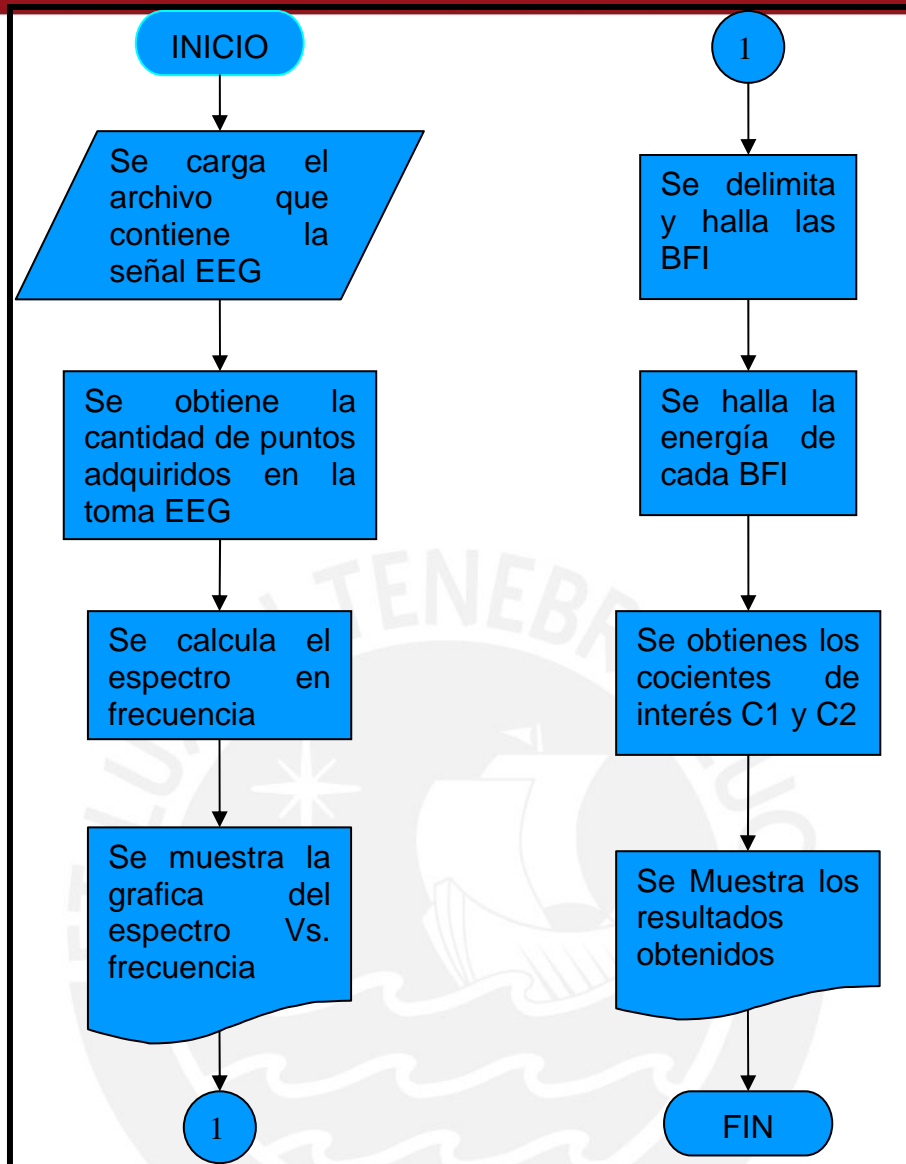


Figura 3.1: Programa principal de la herramienta desarrollada.

### 3.3.1 Obtención de la Transformada de Fourier de la señal EEG

Para hallar la Transformada de Fourier de una señal discreta es necesario contar con el número de muestras de la señal así como también la señal muestreada. Usando la herramienta del MATLAB se siguen los siguientes pasos.

1. El programa recibe como entrada el nombre el archivo con extensión .TXT que luego será procesado. Los archivos contienen los datos de la toma EEG depurados por el médico especialista, que se realizaron con el equipo BIOPAC MP35/30.

2. Se obtiene N, el cual representa el número de muestras adquiridas en la toma realizada.
3. Se calcula la Transformada de Fourier. MATLAB calcula la Transformada de Fourier mediante la siguiente fórmula:

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j) e^{\frac{(-2\pi i)(j-1)(k-1)}{N}}$$

Del valor de N y de la señal EEG ingresada se obtiene la Transformada de Fourier.

4. El espectro de potencia está definido por:

$$X_{POT}(m) = (X_{real}(m))^2 + (X_{imag}(m))^2 = (X_{mag}(m))^2$$

5. Se calculan las frecuencias correspondientes a los componentes de energía:

$$f = m * \frac{fs}{N}, m = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$$

Donde: m es el índice de la salida DFT en el dominio de la frecuencia.

El valor de la Transformada de Fourier para las frecuencias donde  $\frac{N}{2} < m$

presenta la misma información que las frecuencias donde  $1 \leq m \leq \frac{N}{2} - 1$

(Propiedad de Simetría). Por este motivo, se trabajará con el rango de

frecuencias resultantes de  $1 \leq m \leq \frac{N}{2} - 1$ .

6. Se muestra la gráfica del espectro de energía Vs. frecuencia.

A continuación se presenta el código del programa que describe los seis puntos explicados (Figura 3.2.).

```

%///PROGRAMA QUE OBTIENE LA TRANSFORMADA DE FOURIER DE LA SEÑAL EEG///

%Se carga el archivo de datos de las señales EEG.
EEGO=load(EEG);
%Se ingresa la frecuencia de muestreo.
fs = 2000;
%Se calcula el número de muestras de la señal.
n = size(EEGO,1);
%Se calcula la Transformada de Fourier (Fast Fourier Transform).
fEEG = fft(EEGO,n)/n;
%Se calcula el espectro de potencia.
pEEG = fEEG.*conj(fEEG);
%Se halla la frecuencia para cada valor de potencia.
f = fs*(0:n-1)/n;

%Se procede a graficar la Transformada de Fourier.
figure;
%Se grafica la mitad de los datos por la propiedad de simetría.
plot(f(1:n/2-1),pEEG(1:n/2-1))
axis([3.5, 100, 0, .001]);
grid
title('Transformada de fourier de EEG')
xlabel('Frecuencia')
ylabel('Potencia')
  
```

**Figura 3.2:** Transformada de Fourier de la señal EEG.

### 3.3.2 Obtención de las Potencias Absolutas de las Bandas de Frecuencias de Interés

Con la finalidad de obtener las potencias absolutas de las Bandas de Frecuencia de Interés (BFI), se siguieron los pasos mostrados a continuación:

1. Se delimitan las BFI.
2. Se halla la potencia contenida en cada una de las BFI sumando las potencias de cada frecuencia que corresponde a cada BFI.
3. Se obtiene los cocientes de potencias contenidas Theta/Alpha y Theta/Beta (C1 y C2).

La obtención de las BFI se rige bajo los parámetros descritos en la tabla 3.3. Una toma de señales EEG se subdivide en 5 bandas de frecuencia, de los cuales se tomarán en cuenta solo 3 bandas a las que se llamarán BFI: Theta, Alfa y Beta.

**Tabla 3.3:** Bandas de Frecuencia de un electroencefalograma (autoría propia).

Banda de frecuencia	Inicia (Hz)	Finaliza (Hz)
Banda Delta	1.5	3
Banda Theta	3	7.5
Banda Alfa	7.5	12.5
Banda Beta	12.5	25
Banda Gamma	25	100

Autoría propia

A continuación se muestra el código del programa que delimita las BFI y halla las potencias de energía contenidas en estas (Figura 3.3.).

```

a=3.5;           %Se delimita frecuencias de interes Theta
c=7.5;
Frec1=(f>a) & (f<c);
AT1=pE' .*Frec1;           %Se halla los componentes de potencia
                           %contenidas en esas frecuencias

RT=sum(AT1) ;           %Potencia absoluta Theta
%-----
d=7.5;           %Se delimita frecuencias de interes Alfa
e=12;
Frec2=(f>d) & (f<e);
AT2=pE' .*Frec2;           %Se halla los componentes de potencia
                           %contenidas en esas frecuencias

RA=sum(AT2);           %Potencia absoluta Alfa
%-----
g=12;           %Se delimita frecuencias de interes Beta
h=25;
Frec3=(f>g) & (f<h);
AT3=pE' .*Frec3;           %Se halla los componentes de potencia
                           %contenidas en esas frecuencias

RB=sum(AT3);           %Potencia absoluta Beta
  
```

**Figura 3.3:** Programa que delimita las BFI y halla las potencias de energía contenidas en estas.

4. Finalmente, se muestra el código del programa que halla los cocientes

$$\frac{PA(\text{Theta})}{PA(\text{Beta})} \text{ y } \frac{PA(\text{Theta})}{PA(\text{Alfa})}$$

así como también la desviación de los cocientes

hallados con respecto a los cocientes de control. (Figura 3.4.).

```

%////OBTENCION DE LOS COCIENTES PARA EVALUAR EL RESULTADO Y
%OBTENER EL DIAGNOSTICO///
Cta=RT/RA;           %Cociente Theta/Alfa
Ctb=RT/RB;           %Cociente Theta/Beta
C3=Cta-3;            %Desviación del cociente Theta/Alfa
C4=Ctb-2;            %Desviación del cociente Theta/Beta
  
```

Figura 3.4: Código del programa que halla los cocientes.

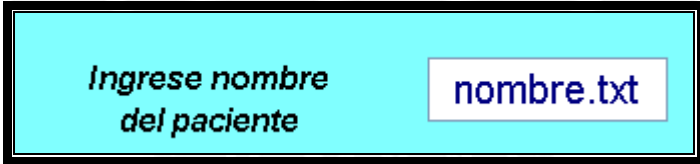
### 3.4 Aspecto visual de la Herramienta

La interface gráfica fue diseñada usando el programa MATLAB. Este programa cuenta con una herramienta llamada GUI (Grafical User Interface) la cual es utilizada para la creación de interfaces gráficas de usuario.

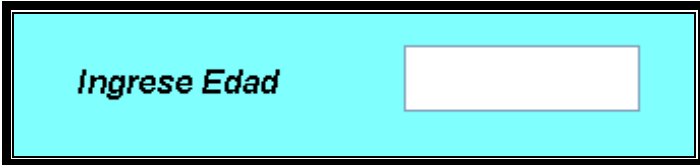
#### 3.4.1 Ingreso de Datos

De acuerdo a lo coordinado con los médicos especialistas, los cuales son los usuarios, se decidió crear los siguientes campos para ingresar información general del paciente (ello responde a sus necesidades):

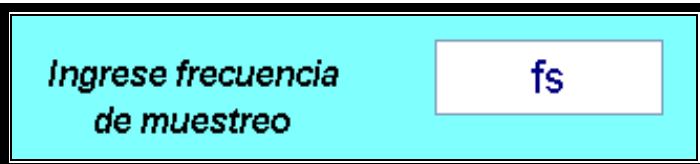
- Nombre del Paciente:



- Edad del Paciente:



Además, se ingresa la frecuencia de muestreo con la que se realizó la toma de la señal EEG.



Estos datos son los Cocientes de Control fijados por la investigación para hallar el límite de los cocientes.

Cocientes de control Theta/Alfa	3.00
Cocientes de control Theta/Beta	2.00

Finalmente, al haber ingresado los datos correspondientes, se presiona el botón "PROCESAR" con el que se comienza a procesar la información.

**PROCESAR**

### 3.4.2 Visualización de resultados

Al haber ingresado los datos necesarios y presionado el botón "PROCESAR" la interface muestra los resultados de la siguiente manera:

<b>Cociente Theta / Beta:</b>	<input type="text"/>
<b>Cociente Theta / Alfa:</b>	<input type="text"/>

Adicionalmente, se muestra un índice de desviación de los cocientes procesados con respecto a los cocientes de control.

**Presenta una desviación de:**

**Con respecto al cociente de control  
Theta/Beta y Theta/Alfa respectivamente.**

Finalmente, hay una opción que permite mostrar la Transformada de Fourier.



A continuación, se muestra el resultado final de la interface diseñada para la herramienta (Figura 3.5.).

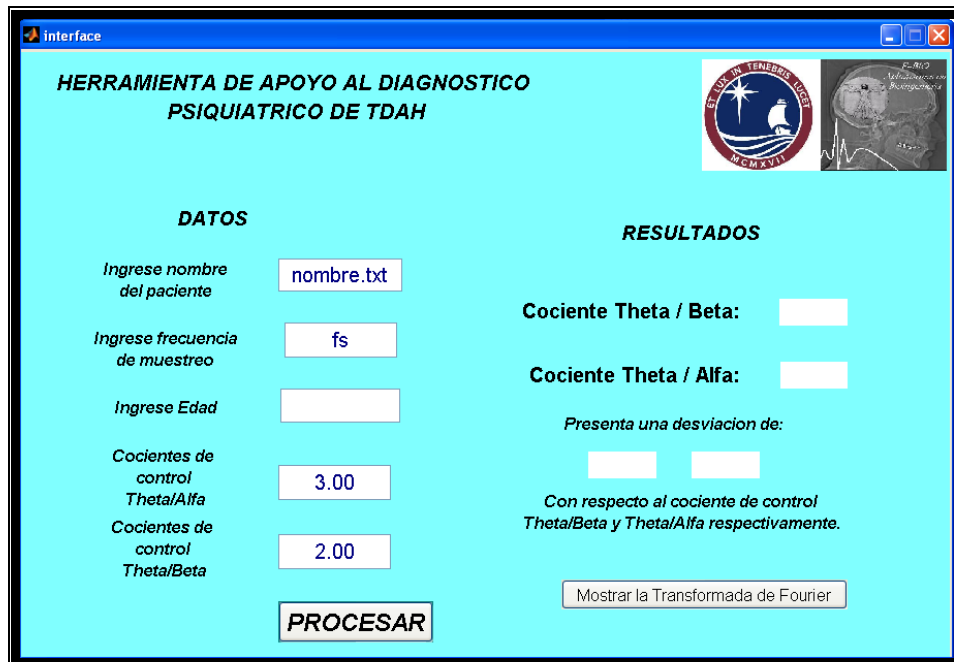


Figura 3.5: Aspecto visual de la Herramienta.

Finalmente, MATLAB permite la creación de un ejecutable para que la herramienta desarrollada pueda ser usada en computadoras que no lo tengan instalado, pero con la condición de que la computadora tenga instalada la herramienta MCR (MATLAB Component Runtime), la cual es de libre acceso y sin costo alguno.

### 3.5 Creación del ejecutable

A continuación se describe el procedimiento utilizado para la creación del ejecutable que permitirá el uso de la herramienta desarrollada en cualquier computadora sin la necesidad de contar el programa MATLAB instalado en la misma. El procedimiento se inicia ingresando al programa MATLAB, en donde se siguieron los siguientes pasos:

- Paso 1: Como se observa en la figura 3.6, se abre la carpeta donde se encuentran todos los archivos a utilizar para la creación del ejecutable y se coloca en la librería del MATLAB.

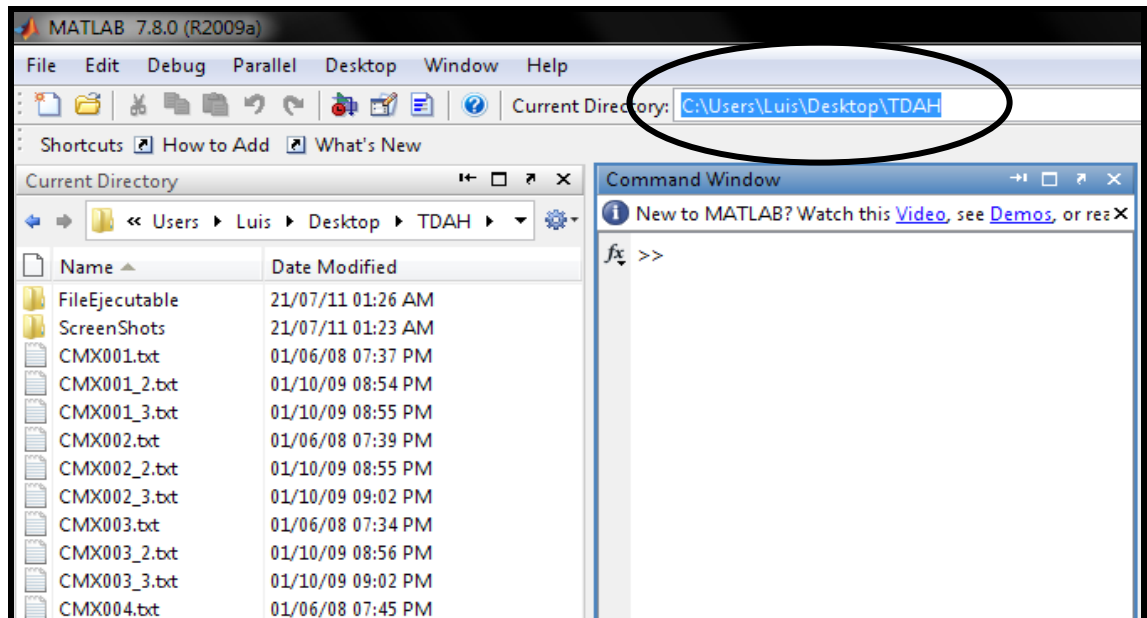


Figura 3.6: Se abre carpeta principal.

- Paso 2: A continuación, como se observa en la figura 3.7, se escribe el comando Deploytool para iniciar la creación del ejecutable y aparece una interface gráfica que muestra los pasos a seguir.

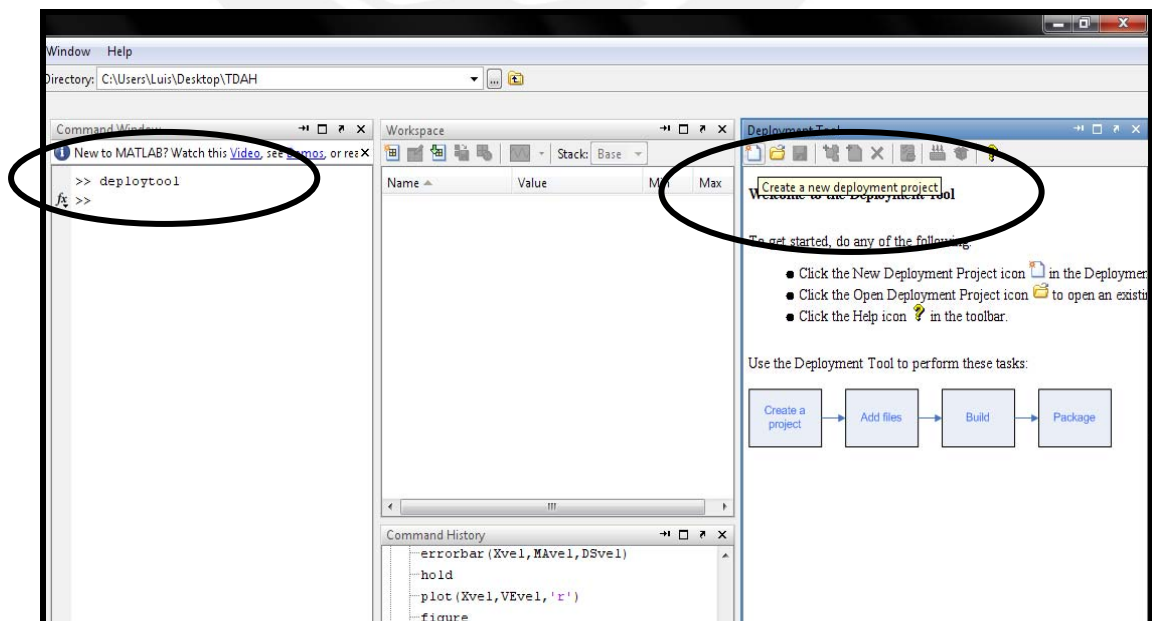


Figura 3.7: Se ingresa el comando “deploytool”.



- Paso 3: Como se observa en la figura 3.8, se crea el proyecto asignándole un nombre y la dirección donde se va a guardar.

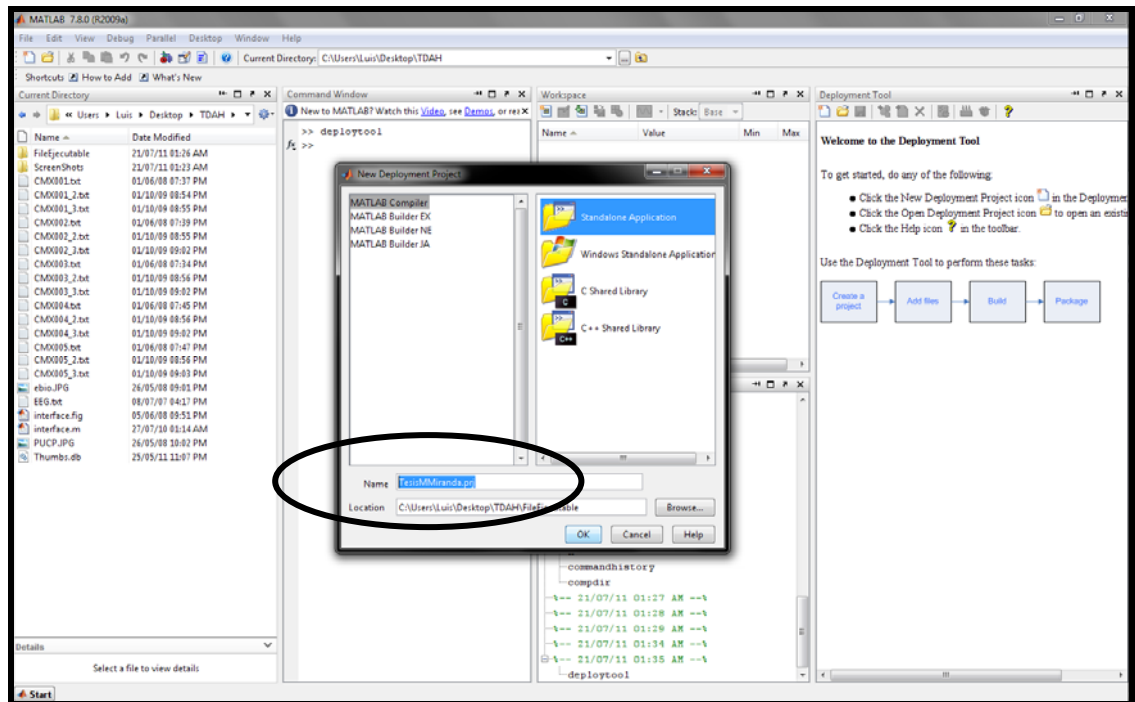


Figura 3.8: Ventana del proyecto.

- Paso 4: A continuación, como se observa en la figura 3.9, se agregan los archivos necesarios para crear el ejecutable.

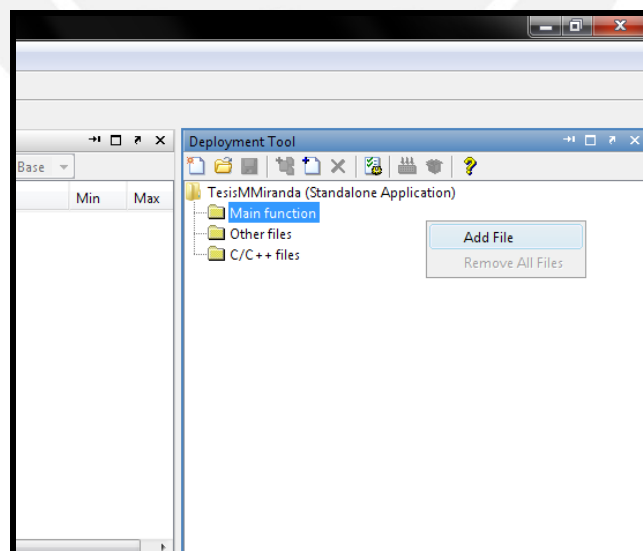


Figura 3.9: Selección de archivos a utilizar para el ejecutable.

- Paso 5: Como se observa en la figura 3.10, se agrega el archivo que contiene el programa principal llamado “Interface”.

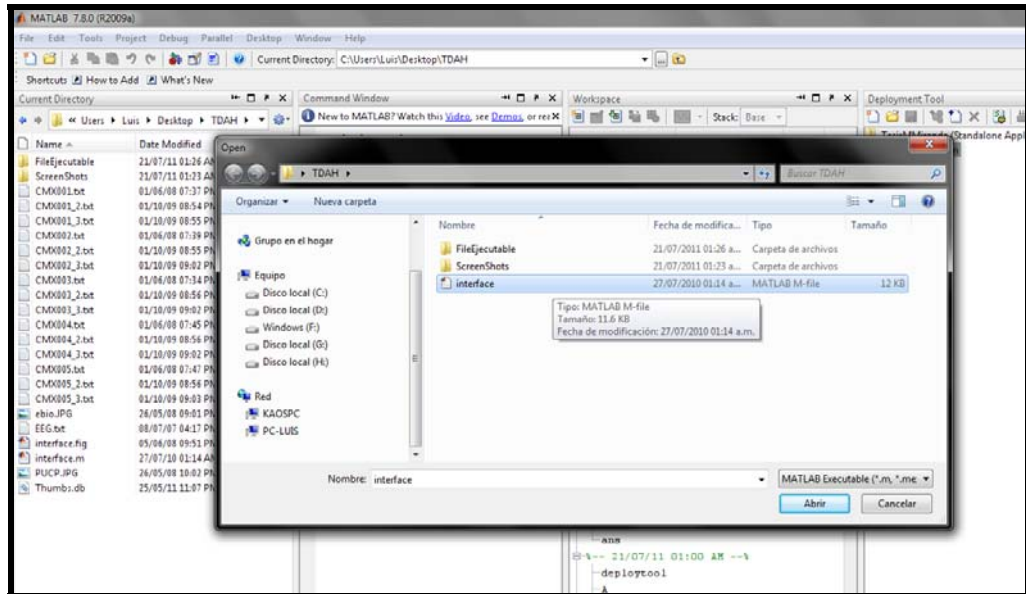


Figura 3.10: Se agrega programa principal.

- Paso 6: A continuación, como se observa en la figura 3.11, se agregan los archivos secundarios, en este caso las imágenes llamadas “ebio” y “PUCP”, y la interface gráfica “interface”.

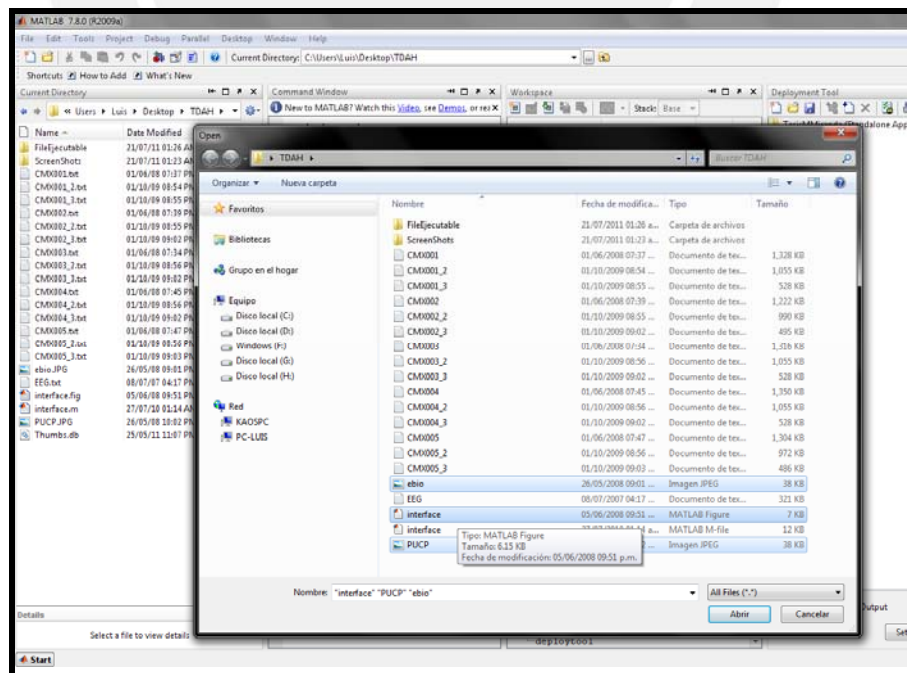
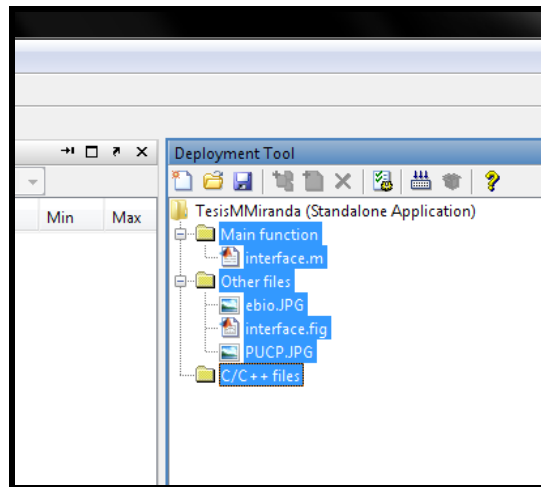


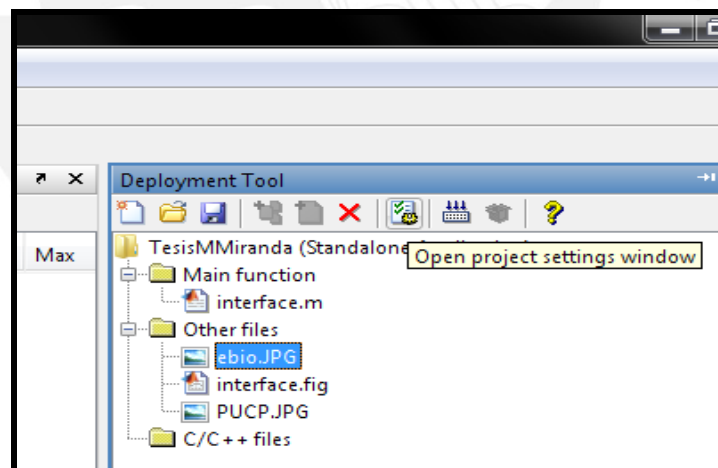
Figura 3.11: Se agrega archivos secundarios.

- Paso 7: Como se observa en la figura 3.12, se verifica que se cuente con todos los archivos necesarios para el ejecutable.



**Figura 3.12:** Archivos completos para crear el proyecto.

- Paso 8: A continuación, como se observa en la figura 3.13, se ingresa a la pantalla de configuración del proyecto haciendo click al símbolo “Open Project settings windows”.



**Figura 3.13:** Se abre la ventana de configuración del proyecto.

- Paso 9: Como se observa en la figura 3.14, se agrega la librería Runtime MCR para poder utilizar el ejecutable sin la necesidad de contar con el programa MATLAB instalado en el computador.

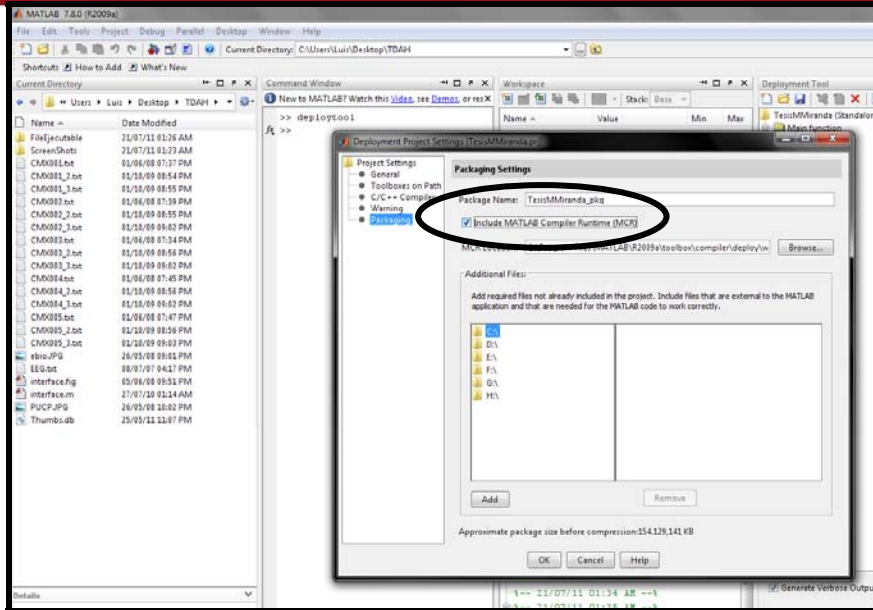


Figura 3.14: Pantalla de configuración del proyecto.

- Paso 10: A continuación, como se observa en la figura 3.15, se inicia la construcción del proyecto haciendo click en el símbolo de “Build Project”.

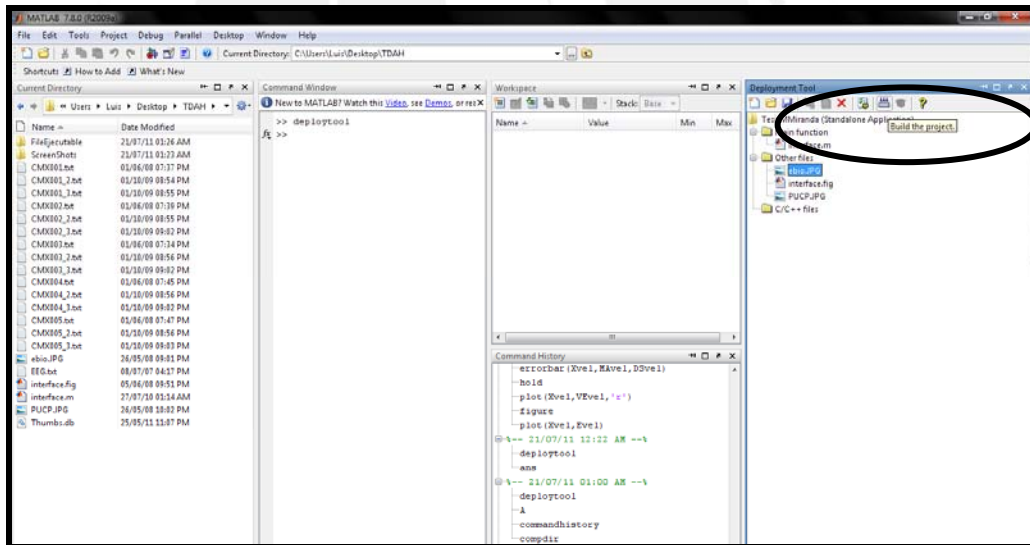


Figura 3.15: Construcción del proyecto

- Paso 11: Como se muestra en la figura 3.16, se procede a compilar el proyecto. Se abre una ventana en donde se muestra el estado de la compilación del proyecto hasta que finalice satisfactoriamente.

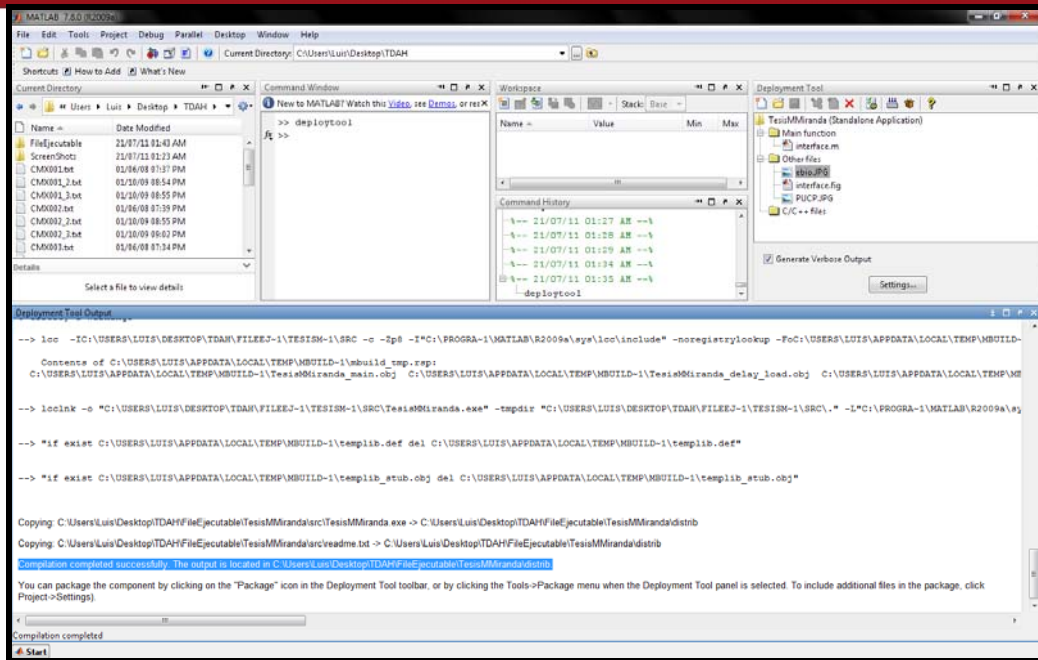


Figura 3.16: Compilado del proyecto.

- Paso 12: A continuación, se observa la figura 3.17, se verifica la creación del ejecutable llamado “TesisMMiranda.exe”. en la carpeta “distrib” ubicada dentro de la carpeta “TesisMMiranda”.

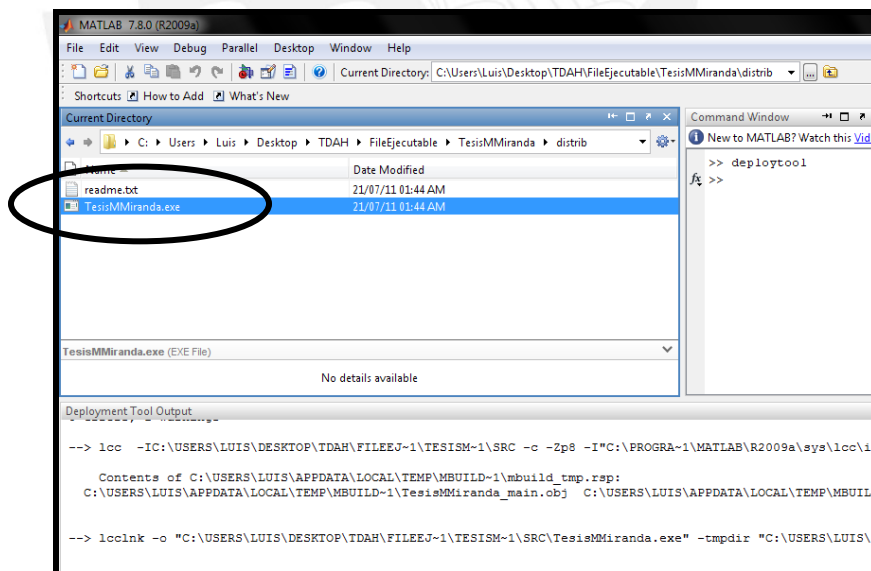


Figura 3.17: Ejecutable creado.

- Paso 13: Como se observa en la figura 3.18, se empaqueta el proyecto que cuenta con el programa principal y el runtime MCR haciendo click en el símbolo de “Package the project”.

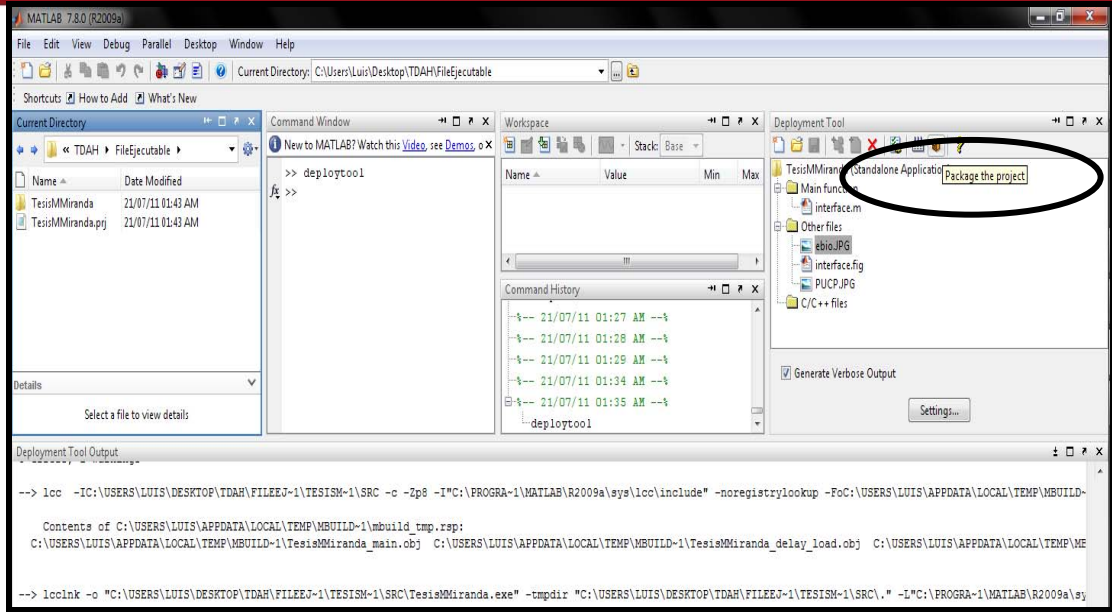


Figura 3.18: Empaquetado del paquete.

- Paso 14: A continuación, como se observa en la figura 3.19, se espera que finalice el empaquetado.

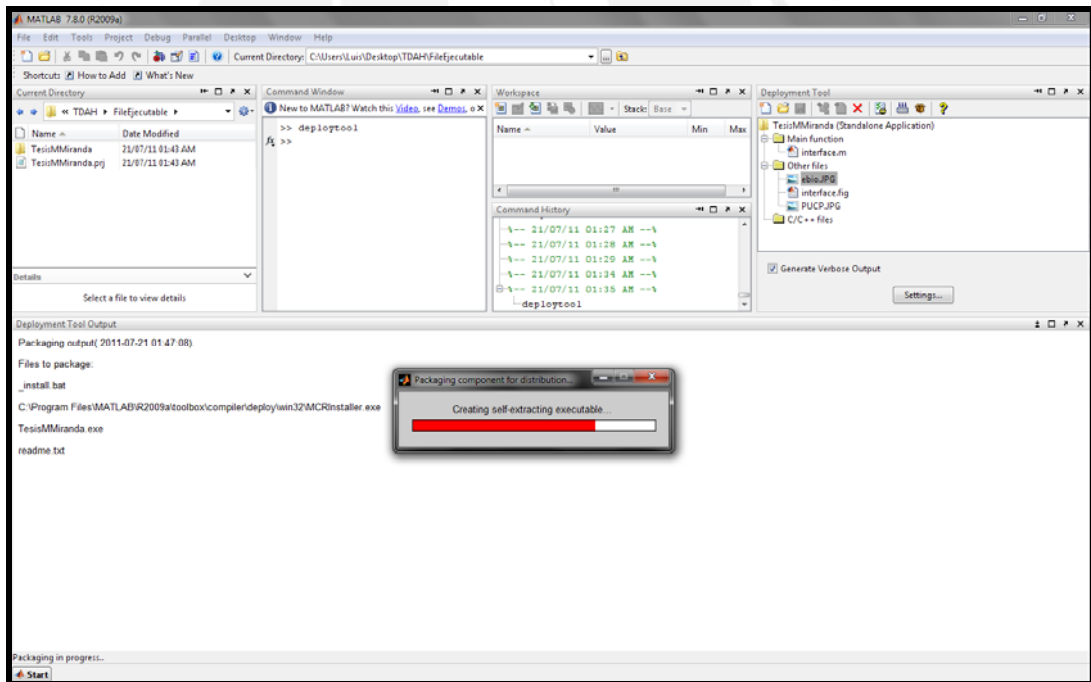


Figura 3.19: Empaquetado en proceso.

- Paso 15: Como se observa en la figura 3.20, finaliza el empaquetado del proyecto.

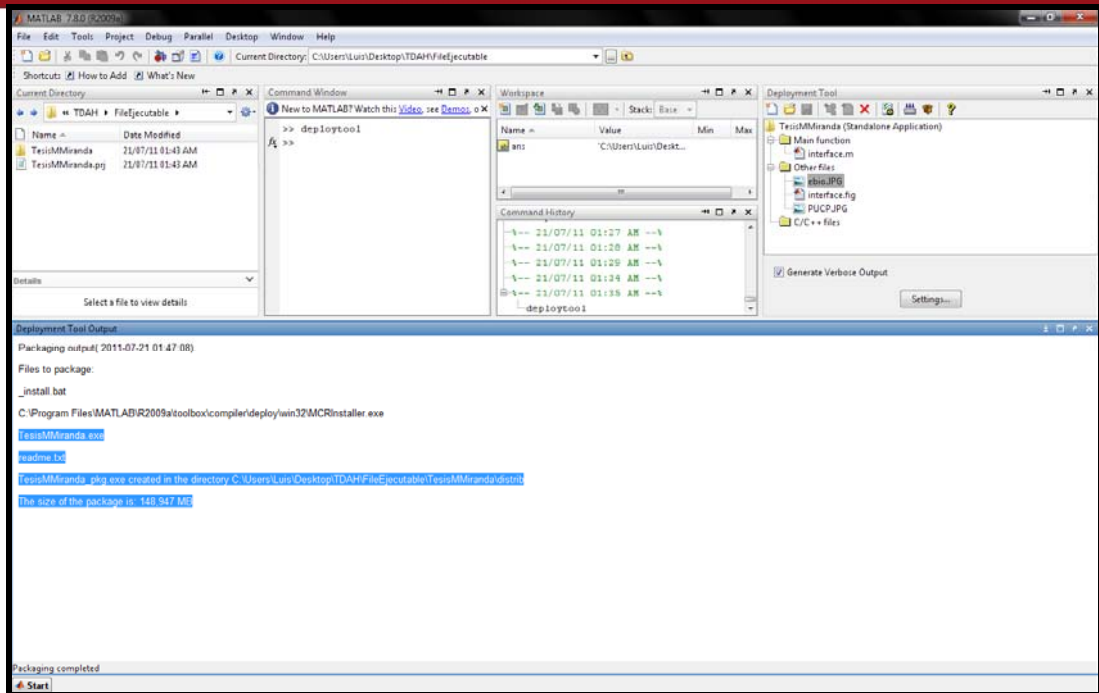


Figura 3.20: Empaquetado del paquete completado.

- Paso 16: A continuación, como se observa en la figura 3.21, se ingresa el comando “ans” para obtener el directorio donde se encuentra el empaquetado del proyecto.

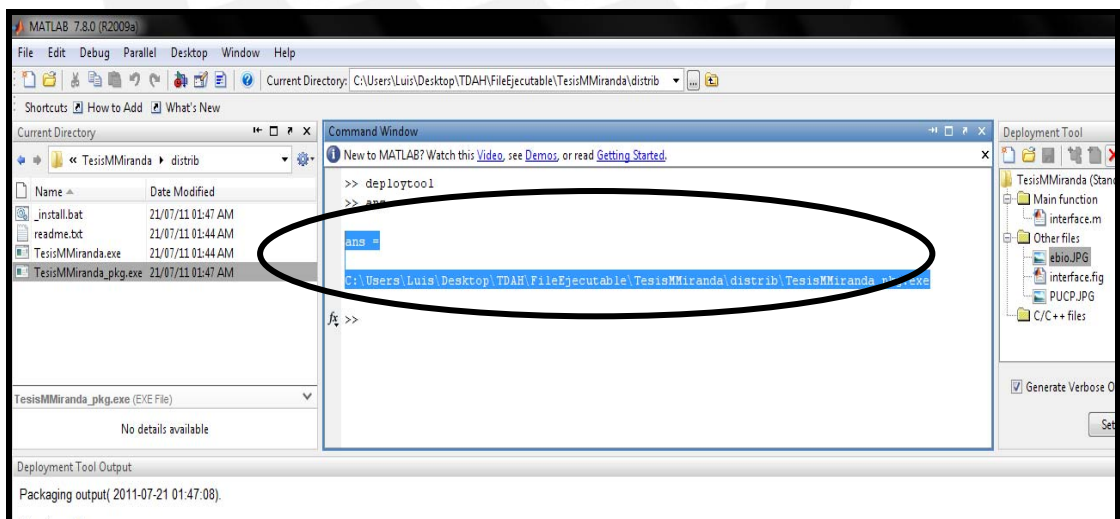
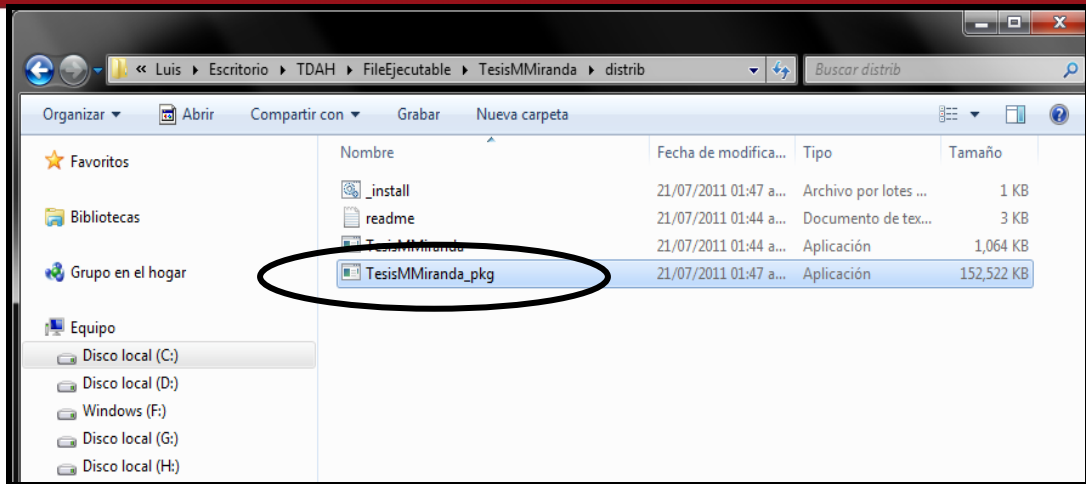


Figura 3.21: Directorio del proyecto empaquetado.

- Paso 17: Finalmente, como se observa en la figura 3.22, se verifica la creación del archivo ejecutable TesisMMiranda\_pkg.exe, el cual se podrá instalar en cualquier computador sin necesidad de contar con el programa MATLAB.



**Figura 3.22:** Ejecutable empaquetado y listo para utilizar.

### 3.6 Costo de la Herramienta Desarrollada

De acuerdo a lo trabajado en la presente tesis, a continuación se presenta la tabla 3.4 que muestra los costos del desarrollo del diseño de la Herramienta Cuantitativa de Análisis de señales EEG. En dicha tabla se incluye costos por Materiales (copias, impresiones, etc.), Licencia Original de Matlab, desarrollo de la Herramienta (por horas de trabajo) y Viáticos (movilidades).

**Tabla 3. 4:** Costo de la Herramienta Desarrollada.

<b>COSTO DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA</b>	
Descripción	Costo S/.
Materiales	200.00
Licencia de MATLAB	4560.00
Desarrollo de la Herramienta	9000.00
Viáticos	300.00
<b>TOTAL</b>	<b>14,060.00</b>

Autoría Propia



## Capítulo 4: Pruebas y Resultados

En el presente capítulo se presentarán las pruebas realizadas sobre la herramienta desarrollada en el capítulo anterior.

En la figura 4.1 se observa una sesión con la Dra. Rosa Alvarado, especialista en Neurociencias y médico del Policlínico Castilla ESSALUD, donde se están recolectando las muestras electroencefalográficas que serán ingresadas a la herramienta desarrollada.



**Figura 4. 1:** Realizando las pruebas de la herramienta desarrollada en este trabajo de tesis en el Departamento de Pediatría del Centro de Salud Castilla ESSALUD, con la Doctora Rosa Alvarado, médico pediatra especialista en Neurociencias.

### 4.1 Captura de la onda EEG

Para la captura de las señales se siguió el procedimiento que describe el manual de usuario del BIOPAC MP35/30.

#### 4.1.1 Materiales

- Gorra EEG, que tienen incorporados los electrodos y cable EEG.
- Gel de electrodos del BIOPAC, que proporciona mayor conductividad eléctrica entre la piel y los electrodos.
- Camilla y/o sillón donde descansa el paciente.
- Computadora con software BIOPAC.
- Unidad de adquisición BIOPAC MP35/30.
- Cable serial BIOPAC

#### 4.1.2 Adquisición

- Encienda la computadora.
- Conecte los electrodos al BIOPAC MP35/30.
- Encienda el BIOPAC MP35/30.
- Coloque la gorra EEG en la cabeza del paciente.
- Solicitar al paciente que se relaje, cierre los ojos y evite moverse y parpadear.
- Inicialice el programa BIOPAC.
- Presionar en el icono adquirir de la ventana del programa.

#### 4.2 Obtención de los Cocientes de Control

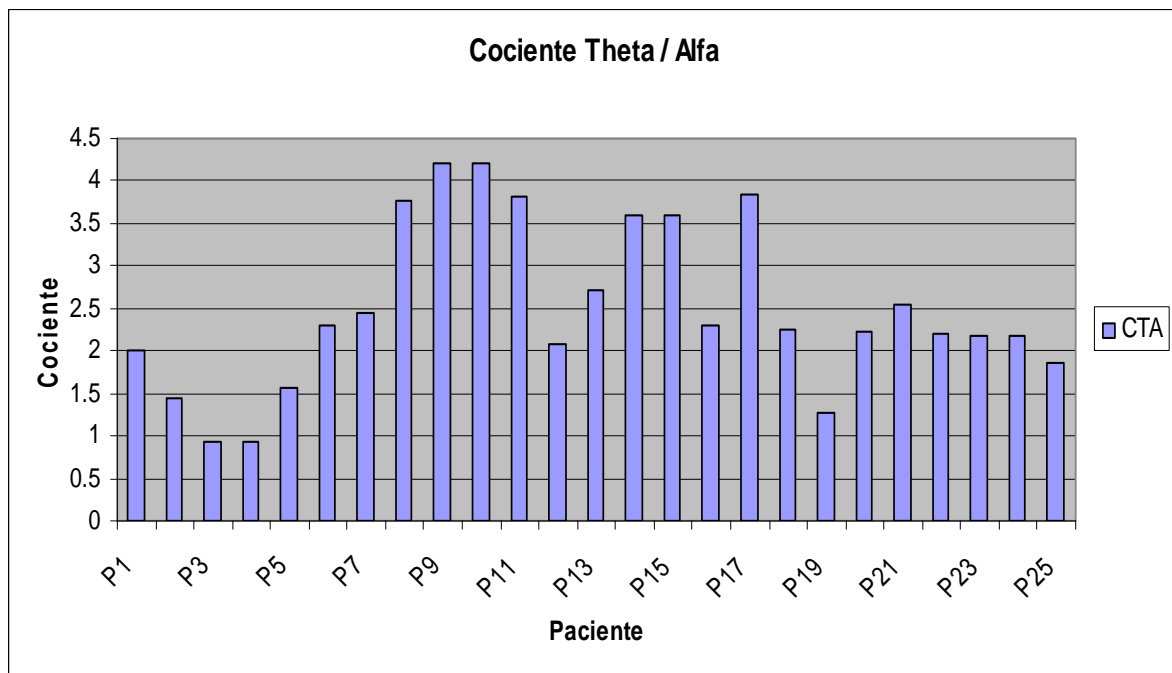
Para la obtención de los cocientes de control se siguieron los siguientes pasos.

- Se adquirió la señal EEG de 25 pacientes.
- Se sometieron a pruebas las muestras EEG de los 25 pacientes con la herramienta diseñada y se plasmaron los resultados en las figuras 4.2. y 4.3. donde se observa que los pacientes P8, P9, P10, P14, P15, P17 tienen los

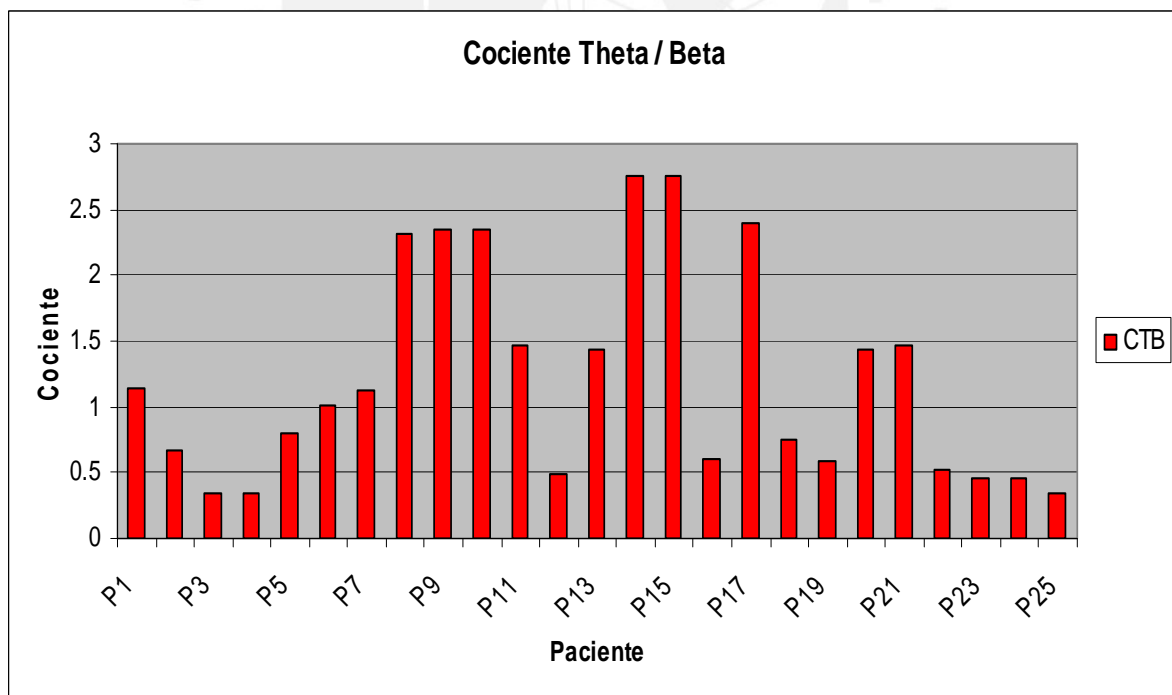
cocientes  $\frac{PA(\text{Theta})}{PA(\text{Beta})}$  ( $C_{TB}$ ) mayor a 2 y  $\frac{PA(\text{Theta})}{PA(\text{Alfa})}$  ( $C_{TA}$ ) mayor a 3. Por datos

clínicos se sabe que estos 6 pacientes tienen TDAH (Historia Clínica).

- Del punto anterior se decidió fijar los Cocientes de Control  $C_{TB} = 2$  y  $C_{TA} = 3$ .



**Figura 4. 2:** Cuadro comparativo de cocientes Theta / Alfa de 25 pacientes.



**Figura 4. 3:** Cuadro comparativo de cocientes Theta / Beta de 25 pacientes.

### 4.3 Comprobación del diagnóstico dado por la “Herramienta de Apoyo al Diagnóstico Psiquiátrico de TDAH”

Para comprobar que el diagnóstico utilizando la herramienta desarrollada en este trabajo de tesis es correcto, se sometieron a prueba cinco pacientes distintos a los anteriores veinticinco estudiados en el ítem 4.2. Con este fin se procedió a recolectar las Historias Clínicas, las tomas de las señales EEG, así como el diagnóstico brindado por la doctora. Estas tomas fueron realizadas en el Departamento de Pediatría del Centro de Salud Castilla ESSALUD.

Para cada paciente se obtuvieron los siguientes datos mostrados en la tabla 4.1:

**Tabla 4. 1:** Datos considerados por cada paciente.

PACIENTE	HISTORIA CLÍNICA	DIAGNOSTICO
<b>Paciente 1:</b> <i>Ejemplo:</i> <b>CMX001</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Edad:</b> <i>Ejemplo:</i> 6 años.</li> <li>- <b>Sexo:</b> <i>Ejemplo:</i> Masculino</li> <li>- <b>Daño Cerebral:</b> <i>Ejemplo:</i> No presenta.</li> <li>- <b>Personalidad:</b> <i>Ejemplo:</i> Hiperactiva.</li> <li>- <b>Test de Conners:</b> <i>Ejemplo:</i> 25</li> <li>- <b>Daño cerebral:</b> <i>Ejemplo:</i> No registrado.</li> </ul>	Uso del test de Conners: <i>Ejemplo:</i> <b>Con sospecha de Déficit de Atención con Hiperactividad</b>

Autoría propia

#### 4.3.1 Pruebas

El diagnóstico generado utilizando la herramienta diseñada se compara con el diagnóstico del especialista generado sin la herramienta.

Para la generación de resultados se siguieron los siguientes pasos:

- 1- Se captura la señal EEG del paciente mediante el BIOPAC bajo la supervisión de la especialista. Para ello el paciente debe estar en absoluto reposo, con los ojos cerrados, en un ambiente libre de interferencias (ruidos, luces, etc.).

- 2- Una vez que la señal es capturada, se guarda la toma con extensión .TXT para poder ser procesada por la herramienta.
- 3- Se procesa la señal EEG depurada por la herramienta y se obtienen los cocientes  $C_{TB}$  y  $C_{TA}$  de cada paciente.
- 4- Los cocientes hallados para cada niño con la herramienta se comparan con los cocientes de control, generándose de esta manera un resultado el cual indica si el niño posee o no TDAH.
- 5- Los resultados obtenidos con la herramienta generan un diagnóstico el cual se compara con el diagnóstico que obtuvo la especialista sin la herramienta. De esa forma se corrobora el diagnóstico cualitativo generándose un diagnóstico final por cada paciente y así se valida el diagnóstico.

- **Paciente 1: CMX001**

Prueba de la herramienta cuantitativa desarrollada en el primer paciente (tabla 4.2.).

**Tabla 4. 2:** Datos considerados del Paciente 1.

PACIENTE	HISTORIA CLÍNICA	DIAGNOSTICO
Paciente 1: CMX001	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Edad:</b> 6 años.</li> <li>- <b>Sexo:</b> Masculino</li> <li>- <b>Daño Cerebral:</b> No tiene otra enfermedad de fondo.</li> <li>- <b>Personalidad:</b> Hiperactiva.</li> <li>- <b>Test de Conners:</b> 25</li> <li>- <b>Daño cerebral:</b> No registrado.</li> </ul>	Uso del test de Conners: <b>Con sospecha de Déficit de Atención con Hiperactividad</b>

Autoría propia

1. Se capturó la señal EEG del paciente CMX001 teniendo como inconvenientes el manejo del niño, puesto no podía permanecer quieto ni relajado. Para ello, se capturaron 4 señales hasta que la especialista decidió que la cuarta era la que contenía mayor información. Las tomas de las señales EEG se realizaron en lugar oscuro, se trató de no generar sonidos y demás distracciones.

2. Se guardó la toma con el nombre de archivo: CMX001.TXT. Este archivo debe estar guardado en el mismo directorio en el que está el ejecutable interface.exe.
3. Se ejecuta "interface.exe", al cual se le introduce el nombre del archivo "CMX001.TXT" y la frecuencia de muestreo "2000" con la que se realizó la adquisición de la señal EEG.
4. La herramienta genera los siguientes cocientes:  
 $C_{TB} = 2.3538$  y  $C_{TA} = 4.2168$
5. Al comparar los cocientes hallados con los cocientes de control se obtienen resultados positivos, lo que quiere decir que los cocientes son mayores a los cocientes de control:  
 $C_{TB} - C_{TBC} = 0.3538$  y  $C_{TA} - C_{TAC} = 1.2168$ .
- 6- La herramienta de diagnóstico señala que la prueba es positiva para TDAH. Lo cual coincide con el diagnóstico generado por la especialista sin utilizar la herramienta de este trabajo de tesis.

- **Paciente 2: CMX002**

Prueba de la herramienta cuantitativa desarrollada en el segundo paciente (tabla 4.3.).

**Tabla 4. 3:** Datos considerados del Paciente 2.

PACIENTE	HISTORIA CLÍNICA	DIAGNOSTICO
Paciente 2: CMX002	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Edad:</b> 7 años.</li> <li>- <b>Sexo:</b> Masculino</li> <li>- <b>Daño Cerebral:</b> No tiene otra enfermedad de fondo.</li> <li>- <b>Personalidad:</b> Hiperactiva, distraído.</li> <li>- <b>Test de Conners:</b> 20</li> <li>- <b>Daño cerebral:</b> No registrado.</li> </ul>	Uso del test de Conners: <b>Con sospecha de Déficit de Atención con Hiperactividad</b>

Autoría propia

1. Se capturó la señal EEG del paciente CMX002 teniendo como inconvenientes el manejo del niño, puesto no podía permanecer con los ojos cerrados. Para ello se capturaron 4 señales hasta que la especialista decidió que la cuarta era la que contenía mayor información. Las tomas de las señales EEG se realizaron en lugar oscuro, se trató de no generar sonidos y demás distracciones.
  2. Se guardó la toma con el nombre de archivo: CMX002.TXT. Este archivo debe estar guardado en el mismo directorio en el que está el ejecutable interface.exe.
  3. Se ejecuta "interface.exe", al cual se le introduce el nombre del archivo "CMX002.TXT" y la frecuencia de muestreo "2000" con la que se realizó la adquisición de la señal EEG.
  4. La herramienta genera los siguientes cocientes:  
 $C_{TB} = 2.7597$  y  $C_{TA} = 3.5868$
  5. Al comparar los cocientes hallados con los cocientes de control se obtienen resultados positivos, lo que quiere decir que los cocientes son mayores a los cocientes de control:  
 $C_{TB} - C_{TBC} = 0.795$  y  $C_{TA} - C_{TAC} = 0.5868$ .
  6. La herramienta de diagnóstico señala que la prueba es positiva para TDAH. Lo cual coincide con el diagnóstico generado por la especialista sin utilizar la herramienta de este trabajo de tesis.
- **Paciente 3: CMX003**

Prueba de la herramienta cuantitativa desarrollada en el tercer paciente (tabla 4.4.).

**Tabla 4. 4:** Datos considerados del Paciente 3.

PACIENTE	HISTORIA CLÍNICA	DIAGNOSTICO
<b>Paciente 3: CMX003</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Edad:</b> 3 años.</li> <li>- <b>Sexo:</b> Femenino</li> <li>- <b>Daño Cerebral:</b> No tiene otra enfermedad de fondo.</li> <li>- <b>Personalidad:</b> Normal.</li> <li>- <b>Test de Conners:</b> 10</li> <li>- <b>Daño cerebral:</b> No registrado.</li> </ul>	Uso del test de Conners: <b>Sin sospecha de Déficit de Atención con Hiperactividad</b>

Autoría propia

1. Se capturó la señal EEG del paciente CMX003. La niña se mostró asustada al inicio, por lo que la doctora tuvo que esperar a que se calmara. Se hicieron dos pruebas, de las cuales la primera fue la mejor. Las tomas de las señales EEG se realizaron en lugar oscuro, se trató de no generar sonidos y demás distracciones.
2. Se guardó la toma con el nombre de archivo: CMX003.TXT. Este archivo debe estar guardado en el mismo directorio en el que está el ejecutable interface.exe.
3. Se ejecuta "interface.exe", al cual se le introduce el nombre del archivo "CMX003.TXT" y la frecuencia de muestreo "2000" con la que se realizó la adquisición de la señal EEG.
4. La herramienta genera los siguientes cocientes:  
 $C_{TB} = 1.1462$  y  $C_{TA} = 1.9988$
5. Al comparar los cocientes hallados con los cocientes de control se obtienen resultados negativos, lo que quiere decir que los cocientes son menores a los cocientes de control:  
 $C_{TB} - C_{TBC} = -.853$  y  $C_{TA} - C_{TAC} = -1.001$ .



7. La herramienta de diagnóstico señala que la prueba es negativa para TDAH. Lo cual coincide con el diagnóstico generado por la especialista sin utilizar la herramienta de este trabajo de tesis.

- **Paciente 4: CMX004**

Prueba de la herramienta cuantitativa desarrollada en el cuarto paciente (tabla 4.5.).

**Tabla 4. 5:** Datos considerados del Paciente 4.

PACIENTE	HISTORIA CLÍNICA	DIAGNOSTICO
Paciente 4: CMX004	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Edad:</b> 9 años.</li> <li>- <b>Sexo:</b> Masculino</li> <li>- <b>Daño Cerebral:</b> No tiene otra enfermedad de fondo.</li> <li>- <b>Personalidad:</b> Normal.</li> <li>- <b>Test de Conners:</b> 15</li> <li>- <b>Daño cerebral:</b> No registrado.</li> </ul>	Uso del test de Conners: <b>Sin sospecha de Déficit de Atención con Hiperactividad</b>

Autoría propia

1. Se capturó la señal EEG del paciente CMX004. El niño se mostró ansioso al inicio, por lo que la doctora tuvo que esperar a que se calmara. Se hicieron tres tomas, de las cuales la primera fue la mejor. Las tomas de las señales EEG se realizaron en lugar oscuro, se trató de no generar sonidos y demás distracciones.
2. Se guardó la toma con el nombre de archivo: CMX004.TXT. Este archivo debe estar guardado en el mismo directorio en el que está el ejecutable interface.exe.
3. Se ejecuta “interface.exe”, al cual se le introduce el nombre del archivo “CMX004.TXT” y la frecuencia de muestreo “2000” con la que se realizó la adquisición de la señal EEG.
4. La herramienta genera los siguientes cocientes:

$$C_{TB} = 0.3347 \text{ y } C_{TA} = 1.8697$$

5. Al comparar los cocientes hallados con los cocientes de control se obtienen resultados negativos, lo que quiere decir que los cocientes son menores a los cocientes de control:

$$C_{TB} - C_{TBC} = -1.665 \text{ y } C_{TA} - C_{TAC} = -1.130.$$

8. La herramienta de diagnóstico señala que la prueba es negativa para TDAH. Lo cual coincide con el diagnóstico generado por la especialista sin utilizar la herramienta de este trabajo de tesis.

- **Paciente 5: CMX005**

Prueba de la herramienta cuantitativa desarrollada en el cuarto paciente (tabla 4.6.).

**Tabla 4. 6:** Datos considerados del Paciente 5.

PACIENTE	HISTORIA CLÍNICA	DIAGNOSTICO
Paciente 5 CMX005	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Edad:</b> 3años.</li> <li>- <b>Sexo:</b> Masculino</li> <li>- <b>Daño Cerebral:</b> No tiene otra enfermedad de fondo.</li> <li>- <b>Personalidad:</b> Normal.</li> <li>- <b>Test de Conners:</b> 14</li> <li>- <b>Daño cerebral:</b> No registrado.</li> </ul>	Uso del test de Conners: <b>Sin sospecha de Déficit de Atención con Hiperactividad</b>

Autoría propia

1. Se capturó la señal EEG del paciente CMX005. El niño se mostró reacio a la toma, por temor, entonces se le hizo escuchar música infantil para poder obtener 4 tomas. Las tomas de las señales EEG se realizaron en lugar oscuro, se trató de no generar sonidos y demás distracciones.
2. Se guardó la toma con el nombre de archivo: CMX005.TXT. Este archivo debe estar guardado en el mismo directorio en el que está el ejecutable interface.exe.

3. Se ejecuta "interface.exe", al cual se le introduce el nombre del archivo "CMX005.TXT" y la frecuencia de muestreo "2000" con la que se realizó la adquisición de la señal EEG.
4. La herramienta genera los siguientes cocientes:  
 $C_{TB} = 0.9000$  y  $C_{TA} = 1.8507$
5. Al comparar los cocientes hallados con los cocientes de control se obtienen resultados negativos, lo que quiere decir que los cocientes son menores a los cocientes de control:  
 $C_{TB} - C_{TBC} = -1.099$  y  $C_{TA} - C_{TAC} = -1.149$ .
6. La herramienta de diagnóstico señala que la prueba es negativa para TDAH. Lo cual coincide con el diagnóstico generado por la especialista sin utilizar la herramienta de este trabajo de tesis.

#### 4.3.2 Resultados del análisis final

**Tabla 4. 7:** Tabla de diagnósticos sin usar y usando la herramienta.

Paciente	Diagnóstico con la Herramienta	Diagnóstico sin la Herramienta
<i>CMX001</i>	Positivo	Positivo
<i>CMX002</i>	Positivo	Positivo
<i>CMX003</i>	Negativo	Negativo
<i>CMX004</i>	Negativo	Negativo
<i>CMX005</i>	Negativo	Negativo

Autoría propia

De lo mostrado en la tabla 4.7, se puede deducir que la herramienta diseñada en este trabajo de tesis obtiene el mismo diagnóstico que obtiene el especialista bajo el test de Connors pero con la diferencia que el diagnóstico de la herramienta es independiente de la capacidad del médico para evaluar.

Para probar que el resultado no varía con la frecuencia de muestreo, se procede a muestrear la señal EEG a diferentes frecuencias; para ello, se utiliza el registro EEG

obtenido anteriormente, al cual se le anulará muestras alternadamente para obtener diferentes frecuencias de muestreo (decimar entre dos). La tabla 4.8., 4.9., 4.10, 4.11. y 4.12 muestran los resultados obtenidos con respecto a la frecuencia de muestreo.

**Tabla 4. 8:** Tabla comparativa de resultados vs. Frecuencia. Paciente CMX001.

Frecuencia de muestreo	CTB	CTA
2000	2.3538	4.2168
1000	2.3538	4.2167
500	2.35383	4.2149

Autoría propia

**Tabla 4. 9:** Tabla comparativa de resultados vs. Frecuencia. Paciente CMX002.

Frecuencia de muestreo	CTB	CTA
2000	2.7597	3.5868
1000	2.7601	3.5857
500	2.7602	3.5831

Autoría propia

**Tabla 4. 10:** Tabla comparativa de resultados vs. Frecuencia. Paciente CMX003.

Frecuencia de muestreo	CTB	CTA
2000	1.1462	1.9988
1000	1.1454	2.0001
500	1.1434	1.999

Autoría propia

**Tabla 4. 11:** Tabla comparativa de resultados vs. Frecuencia. Paciente CMX004.

Frecuencia de muestreo	CTB	CTA
2000	0.3347	1.8697
1000	0.3348	1.8700
500	0.3348	1.8702

Autoría propia

**Tabla 4. 12:** Tabla comparativa de resultados vs. Frecuencia. Paciente CMX005.

Frecuencia de muestreo	CTB	CTA
2000	0.9000	1.8507
1000	1.8506	1.8506
500	0.9000	1.8496

Autoría propia

Después de realizado este análisis, como se mostró en las tablas de los 5 pacientes los cocientes CTB y CTA no varían significativamente aún variando la frecuencia de muestreo de la señal EEG tomada. Por lo tanto, se llega a la conclusión de que la herramienta es válida aún cuando se trabaje bajo diversas frecuencias de muestreo.

## CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos en el Capítulo 4, se concluye que la herramienta cuantitativa desarrollada y el diagnóstico subjetivo muestran los mismos resultados, con la diferencia de que el primero brinda un diagnóstico objetivo y mayor información ya que cada paciente presenta un estado de gravedad o profundidad único y esto se demuestra con los diferentes cocientes que se obtienen por cada paciente, los cuales nos indican su gravedad.
2. Al ser una herramienta que cuenta con una interface gráfica, permite al médico especialista interactuar con dicha interface, al ingresar la toma de señales EEG con la que trabajará y mostrar el resultado del diagnóstico.
3. La herramienta desarrollada, si bien esta escrita en un programa propietario (MATLAB 7.0), puede ser usado en computadoras que no necesariamente tengan instalado el MATLAB 7.0 a través de un ejecutable. Sólo basta con instalar la librería MCR, que está disponible en la Internet. Con ello se demuestra su portabilidad y libre acceso.
4. Se probó el uso de la herramienta para diferentes frecuencias de muestreo teniendo como límite el criterio de Nyquist (ver capítulo 4). Asimismo, la herramienta trabaja con señales EEG tomadas por el BIOPAC MP35/30 que entrega la información en formato de texto (.TXT).

## RECOMENDACIONES

1. Para llevar a cabo una óptima toma de señales EEG se debe esperar a que el paciente se relaje, evite moverse y pestañar. No siempre la primera toma es la mejor y depende mucho de la destreza del médico especialista el conseguir el apoyo del paciente.
2. Si el niño se muestra reacio a la adquisición de la toma EEG, se debe tratar de relajarlo con el uso de música. De esta manera se logra mejorar la toma EEG.
3. Para hacer uso de esta herramienta, es necesario trabajar con tomas de señales EEG que hayan sido aprobadas por un especialista ello con el fin de evitar trabajar con tomas de señales EEG que hayan sido obtenidas con errores (por ejemplo ruidos debidos a movimientos, pestañeos, etc.).
4. Probar la herramienta desarrollada con nuevas muestras EEG a diferentes frecuencias de muestreo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] AMEN, Daniel, September 2000, "Brain Imaging in Clinical Psychiatry", The American Journal of Psychiatry.
- [2] AMEN, Daniel, February 2001, "Why Don't Psychiatrists Look At The Brain: The Case for the Greater Use of SPEC Imaging in Neuropsychiatry" Neuropsychiatry Reviews
- [3] ABIUDON, Oa, May 2005, "Role of radiology in psychiatry: a review", Department of Behavioural Sciences, College of Medicine, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria-East Africa Medicine Journal.
- [4] FUNDACIÓN PRIVADA ADANA, Febrero 2000, "TDAH: TRASTORNO POR DEFICIT DE ATENCION CON O SIN HIPERACTIVIDAD"  
<http://www.asociacionamos.es/img%5Cenfermedades%5C78tdah.pdf>
- [5] DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA EVOLUTIVA Y DE LA EDUCACION, UNIVERSIDAD DE MURCIA, 2003, "EL TRANSTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN CON HIPERACTIVIDAD DESDE UNA PERSPECTIVA ACTUAL"  
[http://www.google.com.pe/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=7&ved=0CB0QFjAG&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fservlet%2Ffichero\\_articulo%3Fcodigo%3D649313%26orden%3D85679&rct=j&q=Swanson+1998%2C+DSM-IV+tr%2C+2002&ei=k4HOS4SQClbq9gTKsoW2Bg&usg=AFQjCNEuTDxijL8LL-ZpR1L4N5aaJ9PFig](http://www.google.com.pe/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=7&ved=0CB0QFjAG&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fservlet%2Ffichero_articulo%3Fcodigo%3D649313%26orden%3D85679&rct=j&q=Swanson+1998%2C+DSM-IV+tr%2C+2002&ei=k4HOS4SQClbq9gTKsoW2Bg&usg=AFQjCNEuTDxijL8LL-ZpR1L4N5aaJ9PFig)
- [6] Moizeszowicz, Julio, 2004, "Psicofarmacología Psicodinámica IV"  
[http://fundopsi.com.ar/publicaciones/libros/files/actual\\_2004.pdf](http://fundopsi.com.ar/publicaciones/libros/files/actual_2004.pdf)
- [7] FRIAS, Olga, 2008, "El Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad"  
<http://interaccionteatral.wordpress.com/2008/06/25/el-trastorno-por-deficit-de-atencion-con-hiperactividad/>
- [8] PSICOPEDAGOGIA, 2010, "CAUSAS DE LA HIPERACTIVIDAD"  
<http://www.psicopedagogia.com/articulos/?articulo=186>
- [9] ELI LILLY AND COMPANY, 2007, "CONSECUENCIAS DEL TDHA",  
<http://www.hiperactividadinfantil.com/tdah-consecuencias.htm>
- [10] American Psychiatric Association, 2000, "DIAGNOSTIC AND STATISTICAL MANUAL OF MENTAL DISORDERS"
- [11] PACHON OVALLE, Luis Germán, 2004, "VALORACION METODOLOGICA PRELIMINAR DE LA ENSEÑANZA PROBLEMICA COMO MODELO PEDAGOGICO PARA EDUCACION SUPERIOR VIRTUAL",  
<http://www.virtualidadreal.com/VALORACION%20METODOLOGICA%20PRELIMINAR%20DE%20LA%20EP.pdf>
- [12] Hospital de la Sta. Creu i Sant Pau, 2010, "Trastorno por déficit de atención con Hiperactividad", <http://www.neuropsicol.org/Protocol/CritADHD.pdf>
- [13] Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas CICAD, 2005, "Neurociencia del Consumo y Dependencia de Sustancias Psicoactivas",



[http://www.counselingamericas.org/pdf/libros/01\\_Neuroscienciadelconsumodedrogas.pdf](http://www.counselingamericas.org/pdf/libros/01_Neuroscienciadelconsumodedrogas.pdf)

[14] Biblioteca Nacional de Medicina de EE.UU., 2010, "Neurociencias", <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/007456.htm>.

[15] GRUPO DE INVESTIGACION EN MODELOS EXPERIMENTALES PARA LAS CIENCIAS ZOOHUMANAS, universidad del tolima, 2008, "NEUROCIENCIAS", [http://archivo.ut.edu.co/investigacion/grupos/me\\_czh/Borrador\\_pagina\\_me\\_czh\\_archivos/page0003.htm](http://archivo.ut.edu.co/investigacion/grupos/me_czh/Borrador_pagina_me_czh_archivos/page0003.htm)

[16] PETERSON, PAUL, 2008, "ELECTROENCEFALOGRAFIA" <http://neurologiayneurocirugia.com/page3.php>

[17] BELTRAMONE, Diego, 2007, "ELECTROENCEFALOGRAFIA", [http://www.google.com.pe/url?sa=t&source=web&cd=4&ved=0CCEQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.efn.unc.edu.ar%2Fescuelas%2Fbiomedica%2FPlandeestudios%2Fmaterias%2520completas%2FInstrumentacion%2520biomedica%2FMaterial%2Fagosto%25202010%2FEEG%2FPresentaci%25F3n%2520EEG%2FEEG.ppt&rct=j&q=La%20serie%20C3%B1al%20EEG%20%20un%20ancho%20de%20banda%20que%20llega%20hasta%20los%20100%20Hz.&ei=0L\\_HTISGKcH98AbJ\\_vzIDw&usg=AFQjCNF394ZIZXdihaahxnKLTi-3xmp47Q&cad=rja](http://www.google.com.pe/url?sa=t&source=web&cd=4&ved=0CCEQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.efn.unc.edu.ar%2Fescuelas%2Fbiomedica%2FPlandeestudios%2Fmaterias%2520completas%2FInstrumentacion%2520biomedica%2FMaterial%2Fagosto%25202010%2FEEG%2FPresentaci%25F3n%2520EEG%2FEEG.ppt&rct=j&q=La%20serie%20C3%B1al%20EEG%20%20un%20ancho%20de%20banda%20que%20llega%20hasta%20los%20100%20Hz.&ei=0L_HTISGKcH98AbJ_vzIDw&usg=AFQjCNF394ZIZXdihaahxnKLTi-3xmp47Q&cad=rja)

[18] FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, 2009, "ELECTROENCEFALOGRAFIA" <http://web.usal.es/~lcal/electroencefalografia.pdf>

[19] SEMINARIO DE MECATRONICA, 2009, "INFORMACION SOBRE PROGRAMAS" [http://seminariomecatronicainvierno2009.blogspot.com/2009\\_10\\_01\\_archive.html](http://seminariomecatronicainvierno2009.blogspot.com/2009_10_01_archive.html)

[20] VENEGAS, RODOLFO, 2008, "INTRODUCCION AL MATLAB" [rodolfo.venegas.googlepages.com/TutorialMatlab.pdf](http://rodolfo.venegas.googlepages.com/TutorialMatlab.pdf)

[21] Departamento de Educación del Gobierno de Navarra, 2009, "Cuestionario de conducta de CONNERS para PROFESORES", <http://centros.educacion.navarra.es/creena/002conductuales/PDFs/conners.pdf>

[22] Ricardo Garcell, Josefina, Febrero 2004, "Aporte del lectroencefalograma convencional y el Análisis de frecuencias para el Estudio del Transtorno por Déficit de Atención. Primera Parte".

[23] Avaria, María de los Ángeles, 2005, "Pediatria del Desarrollo y Comportamiento", <http://www.revistapediatrica.cl/vol2num1/14.htm>

[24] Castellanos Cruz, Dra. Laura, "Transtorno de Déficit de atención con Hiperactividad (TDHA)", <http://www.binasss.sa.cr/adolescencia/deficit.pdf>

[25] Tynan, W. Douglas y Kingsley, Richard S., "TDHA Y TDA", [http://www.kidshealth.org/teen/en\\_espenol/mente/adhd\\_esp.html](http://www.kidshealth.org/teen/en_espenol/mente/adhd_esp.html)

[26] Barena Navarro, Rafael, "Electroencefalografía", <http://usuarios.lycos.es/legajius/Dir/Protocolos/Eeg/electroencefalografia.pdf>

[27] Teplan, M., 2002, "Fundamentals of EEG Measurement" Volume 2, section 2, <http://www.measurement.sk/2002/S2/Teplan.pdf>

- [28] Bresnahan, S. M., Barry, R. J., 2002, "Specificity of quantitative EEG analysis in adults with attention deficit hyperactivity disorder", Department of Psychology, Brain and Behaviour Research Institute, University of Wollongong, NSW 2522.
- [29] Holtmann, M., Stadler, C., "Electroencephalographic biofeedback for the treatment of attention-deficit hyperactivity disorder in childhood and adolescence", Expert Review of Neurotherapeutics 6(4), pp. 533-540(8).
- [30] Boutros, L. Fraenkel and Feingold, A., "A Four-Step Approach for Developing Diagnostic Tests in Psychiatry: EEG in ADHD as a Test Case", The Journal of Neuropsychiatry Clinical Neurosciences, 17(4): pp. 455-464.
- [31] American Psychiatric Association, 2000, Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition - Text Revision (DSMIV-TR), pp. 13.
- [32] Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado, 2011, "Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado", <http://www.seace.gob.pe/>.
- [33] Nihon Kohden Europe, 2010, "EEG-1200", <http://www.nihonkohden.de/index.php?id=394&L=2>.
- [34] Meditron, 2011, "Neurofax EEG-9100", <http://www.meditron.com.ve/p-294-neurofax-eeg-9100.aspx>.
- [35] Neurotec, Investigación y Desarrollo Biomédico, 2010, "Neuromap® EQSA260", <http://www.neurotec.com.br/esp/260.htm>
- [36] Neurotec, Investigación y Desarrollo Biomédico, 2010, "Neuromap® 40i", <http://www.neurotec.com.br/40i.htm>.
- [37] CareFusion Corporation, 2011, "NicoletOne vEEG", [http://www.viasyshealthcare.com/prod\\_serv/prodDetail.aspx?config=ps\\_prodDtl&prodID=191](http://www.viasyshealthcare.com/prod_serv/prodDetail.aspx?config=ps_prodDtl&prodID=191).