

Universidad de Alcalá

Escuela Politécnica Superior

GRADO EN INGENIERÍA DE COMPUTADORES



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR

Autor: Paula Madrilley Nieto

Tutor/es: Javier Albert Segui

2018

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

Trabajo Fin de Grado
Desarrollo de una aplicación de escritorio para la
visualización de bioseñales con WFDB

Autor: Paula Madrilley Nieto

Director/es: Javier Albert Seguí

TRIBUNAL:

(Espacio para la firma)

Presidente:

(Espacio para la firma)

Vocal 1º:

(Espacio para la firma)

Vocal 2º:

CALIFICACIÓN:

FECHA:

Agradecimiento y dedicatoria

*A **mis padres**, por apoyarme y aguantarme cada día durante todos estos años, por tener paciencia conmigo, a pesar de mi malhumor a veces, por animarme y escucharme siempre, aunque no siempre entendierais del todo de qué os hablaba, y por darme infinidad de consejos. Gracias por enseñarme las cosas que son de verdad importantes y no dejar que tirara la toalla en los malos momentos, que no han sido pocos. Os quiero.*

*A **Carlos**, por ser un apoyo y una gran ayuda día a día desde que nos conocimos. Gracias por toda la paciencia, y estar ahí siempre, por ser mi compañero de aventuras y por todo lo vivido. Empieza una nueva etapa que estoy segura que disfrutaremos más, si cabe, que esta. Siempre.*

*A **Cristina** por seguir ahí después de tantos años, por nuestras risas y nuestras charlas interminables, y por ayudarme en todo lo que has podido.*

*A **Javi**, mi tutor, gracias por la ayuda y darme un empujón en la última etapa de mi vida universitaria.*

*A **mis compañeros de UST** que han escuchado mis quejas y mis nervios del proyecto y me han ayudado, y han sido un ratito de distracción a pesar de estar en el trabajo.*

*A **Rubén**, por dejarme darle el coñazo con mil dudas y explicarme tantas cosas. De Madrid a Galicia, gracias.*

Índice

Agradecimiento y dedicatoria.....	5
Resumen	10
Palabras clave	10
Abstract	11
Keywords.....	11
1. Introducción.....	12
2. Estado del arte.....	15
3. Base teórica	21
3.1 ¿Qué es un ECG?	21
3.2 ¿Qué es una bioseñal?.....	30
4. Descripción experimental.....	31
4.1 Herramientas usadas.....	31
4.1.1 Visual Studio.....	31
4.1.2 Physionet.....	31
4.2 Estructuración del proyecto	33
4.3 Cálculos realizados para la representación de las ondas	34
4.4 Librerías usadas	35
4.4.1 WFDB	35
4.4.2 GraphLib	36
4.5 Daltonismo	36
4.6 Métodos principales.....	38
5. Conclusiones	46
5.1 Conclusiones del proyecto.....	46
5.2 Conclusiones personales	46
5.3 Mejoras futuras.....	48
5.3.1 Doble buffer	48
5.3.2 Multiplataforma	49
5.3.3 Manual	49
5.3.4 Control de acceso	49
6. Anexos	51
6.1 Manual de usuario	51
Bibliografía	58

Índice de imágenes

Imagen 1: Aplicaciones Appteca	16
Imagen 2: Software Holter.....	17
Imagen 3: Electrocardiógrafo EDAN SE-1201	18
Imagen 4: Electrocardiógrafo EDAN SE-601	19
Imagen 4: Ejemplo de monitorización múltiple	19
Imagen 5: Galvanómetro de cuerda	22
Imagen 6: Holter 24/48 horas	23
Imagen 7: Holter de eventos	23
Imagen 8: Holter de 7 días	24
Imagen 9: Holter cardíaco implantable subcutáneo	24
Imagen 10: Onda ECG	25
Imagen 11: Tipos de electrodos	26
Imagen 12: Triángulo de Einthoven	27
Imagen 13: Derivaciones precordiales	28
Imagen 14: PhysioBank ATM	32
Imagen 16: Diagrama de flujo	34
Imagen 17: Daltonismo dicromático	37
Imagen 18: Daltonismo acromático	37
Imagen 19: Ajustes color	38
Imagen 20: Label eje X	39
Imagen 21: Cargar archivo	40
Imagen 22: Textbox Datos	40
Imagen 23: Ajustes señales	41
Imagen 24: Señal seleccionada	43
Imagen 25: Menú	44
Imagen 26: Impresión	44
Imagen 27: Opciones avanzadas	45
Imagen 27: Prototipo	48
Imagen 29: Doble buffer	49
Imagen 31: Manual 2	52
Imagen 32: Manual 3	52
Imagen 33: Manual 4	53
Imagen 34: Manual 5	53
Imagen 35: Manual 6	54
Imagen 36: Manual 7	55
Imagen 37: Manual 8	55
Imagen 38: Manual 9	56
Imagen 39: Manual 10	56

Resumen

El objetivo de este proyecto es la realización de una aplicación de escritorio para la plataforma Windows que permita la lectura e interpretación de archivos procedentes de distintos dispositivos que leen y almacenan datos de bioseñales, como por ejemplo un holter, de modo que el personal sanitario pueda interactuar y desplazarse por toda la señal obtenida, así como verla en movimiento tiempo después de haber sido realizada la prueba.

Lo que se pretende con esto es facilitar el trabajo de médicos y ayudar en el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, para así mejorar la eficacia de los posteriores tratamientos, por ello he intentado que sea una aplicación sencilla e intuitiva de usar, además de completa.

Palabras clave

ECG, aplicación, señal, electrocardiógrafo, biomédica.

Abstract

The objective of this project is the realization of a desktop application for the Windows platform that allows the reading and interpretation of files from different devices that read and store biosignal data, such as holters, so that the health personnel can interact and move around the signal obtained, as well as see it moving after the test has been carried out.

What is intended with this is to facilitate the work of doctors and help in the diagnosis of cardiovascular diseases, in order to improve the effectiveness of later treatments, that's why I tried to make it a simple and intuitive application to use, as well as complete.

Keywords

ECG, application, signal, electrocardiograph, biomedical.

1. Introducción

Con el avance de las tecnologías y la informática en los últimos años, se hace necesaria cada vez más, la unión de estas con la medicina, ya que permite mejorar técnicas de diagnóstico y de tratamiento de pacientes y facilitar el trabajo del personal sanitario, así como incrementar y mejorar la calidad de vida de cada uno de nosotros.

La unión de ambas especialidades, la Informática Médica (IM), que es un campo multidisciplinario que nace de la unión de la Informática y la Computación con la Medicina, se define como el conjunto de ciencias, métodos y técnicas que se utilizan para manejar la información médica [1], o dicho de otra manera, se encarga de gestionar todos aquellos recursos, los dispositivos y los métodos diferentes que se necesitan para adquirir, almacenar, recuperar y utilizar la información en el campo sanitario y en el biomédico. La Informática Médica se basa en cuatro pilares:

- Producir estructuras para representar datos y conocimientos.
- Desarrollar métodos para una correcta y ordenada adquisición de esos datos, así como su representación.
- Manejar el cambio entre los procesos y las personas involucradas para así optimizar el uso de la información.
- Integrar la información de distintas fuentes.

La informática médica tiene a día de hoy aplicación en prácticamente todas las áreas de la medicina: laboratorios, dispositivos electrónicos para hacer mediciones, software para la gestión hospitalaria, bases de datos de los pacientes, diagnóstico por imagen (Tomografía Axial Computarizada (TACs) o resonancias), telemedicina, robótica, investigación, etc.

Una de las primeras uniones entre ambas ramas, fue el uso de la informática en imagenología: resonancias magnéticas o TACs. Pero esto ha ido evolucionando con el tiempo, y a pesar de encontrarse con prejuicios en determinados momentos, como pudieran ser la edad de las personas que componen el sector sanitario o pensar que los ordenadores servían de mero entretenimiento, hoy en día esas barreras se rompen cada vez más a favor de todas las ventajas que ofrece la informática y sus aplicaciones a médicos, enfermeros y técnicos sanitarios. Además, favorece el tejido industrial, la innovación y la economía del país.

A día de hoy y desde hace unos años, existen ya congresos de Informática Médica en Europa y Latinoamérica. En nuestro país, la Sociedad Española de Informática de la Salud (SEIS) [2], fundada en el año 1977, es una sociedad científica sin ánimo de lucro, formada por un gran grupo de profesionales interesados en la aplicación de la informática a la salud, con la misión de promover la investigación, desarrollo e innovación, además de la implantación y buen uso de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) en el ámbito sanitario para así beneficiar a la sociedad, y siempre con total respeto a los derechos de las personas, a su intimidad y privacidad. Esto viene inspirado por la normativa de la protección de aquellos datos sensibles a las personas, tal y como lo recoge la Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD) 15/1999, del 13 de diciembre, de y sus modificaciones posteriores publicadas en el Boletín Oficial del Estado (BOE) [3]. La LOPD sin embargo dice que no será necesario un consentimiento específico cuando la cesión de datos de carácter personal relativos

a la salud sea necesaria para solucionar una urgencia que requiera acceder a un fichero o para realizar los estudios epidemiológicos en los términos establecidos en la legislación sobre sanidad estatal o autonómica [4].

A pesar de esto, el 25 de mayo de 2018 empezó a aplicarse el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) que va a sustituir a la LOPD. Este es el reglamento relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos [5].

El BOE [4] es el diario oficial español, que se dedica a publicar determinadas leyes, disposiciones y actos que son de inserción obligatoria. Contiene todas las leyes aprobadas por las Cortes Generales, las disposiciones del Gobierno de España y de las comunidades autónomas.

En el ámbito internacional, existe la International Medical Informatics Association (IMIA) [5] que nació en el año 1967, y como en el caso de la española es una organización que promociona la aplicación de las ciencias de la información en la sociedad moderna, y particularmente en los campos de la salud, la biociencia y la medicina. Organizan convenciones anuales a nivel mundial para promover esta unión, y dentro de sus objetivos están:

- Promover la informática en la asistencia sanitaria y la investigación biomédica.
- Avance en la cooperación internacional.
- Estimulación de la investigación, el desarrollo y la educación.
- Disseminación e intercambio de información.

Aplicando esta unión de dos ramas inicialmente distintas y distantes entre sí, pero que cada día están más unidas, la aplicación creada, ECG Viewer es una aplicación de escritorio, como se explica más adelante, diseñada para entornos Windows, que sirve como herramienta de apoyo para el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de las distintas enfermedades cardiovasculares, y que permite la lectura e interpretación de los resultados de los electrocardiogramas de larga duración a médicos y enfermeros de una manera fácil e intuitiva, además de rápida debido a que no es necesario hacer uso de otros medios como el papel (aunque se puedan imprimir resultados), y esquivando algunos de los inconvenientes a los que se enfrenta el personal sanitario hoy en día y que son explicados a continuación.

Como su nombre nos indica, el objetivo de esta aplicación es permitir la visualización y análisis del resultado completo de la medición cardíaca realizada al paciente gracias a los datos almacenados en la memoria de un holter u otro aparato de medición de esta bioseñal, y que a diferencia de las aplicaciones que existen hoy en día, esta no nos proporciona sólo una imagen estática como es habitual, sino que nos ofrece la posibilidad de desplazarnos por la onda a nuestro antojo o verla desplazarse en tiempo real, como si de un ECG *in situ* se tratara.

La idea inicial del proyecto era hacer una aplicación multiplataforma para que de esta manera pudiera usarse en distintos sistemas operativos, no obstante, a mitad de camino hubo una serie de problemas con una de las librerías, WFDB (de la cual se habla más adelante, pero que es la que descodifica los ficheros) y MacOS X, con la apertura de los archivos. Estos problemas implicaban modificar la librería (algo tedioso, no siendo ese el objetivo del proyecto, y cuya propuesta de modificación es una de las posibles mejoras futuras).

Hasta ese momento, se usó Xamarin. Esta es una compañía propiedad de Microsoft fundada en el año 2011. Xamarin hace uso del lenguaje de programación C# para la realización de un código compartido, y sirve para el desarrollo de aplicaciones nativas para iOS, Android y Windows, tanto para móviles, tabletas como ordenadores, además de compartir código a través de múltiples plataformas. Esto facilitaría que la aplicación llegara a más hospitales y centros de salud, y la posibilidad de que la aplicación fuera adaptable a las distintas pantallas de visualización, facilitando además su portabilidad.

Además de Xamarin, se empezó usando una librería para dibujar las ondas, SkiaSharp. Esta es una librería escrita en C++ para plataformas .NET, que se basa en la biblioteca de gráficos Skia de Google y que en Xamarin dispone de un paquete específico para poder usarse directamente. SkiaSharp permite representar gráficos en 2D y para su uso es necesario agregar a nuestro proyecto un paquete NuGet. En el momento de dibujar, hace uso de un SkCanvas, donde un canvas es la superficie donde se llevarán a cabo las operaciones del dibujo, que dicho de otra manera es la parte del programa que recibe el nombre de interfaz de usuario. [6]

En un principio iba a hacer uso de esta librería para dibujar la onda del electrocardiograma, porque existe un paquete de fácil utilización en Xamarin, como he comentado, pero al no usar finalmente Xamarin y ya que utilizarla resultaba más complicado, busqué otra, GraphLib de la cual hablo más adelante; algo más sencilla e intuitiva de utilizar para el diseño de gráficos, concretamente de ondas, y que además me permitía hacer cambios en la misma de una manera más rápida.

Por tanto, debido a estos problemas, finalmente la aplicación es sólo para la plataforma Windows, pero con la intención de en un futuro expandirla al resto de plataformas, de cualquier manera, para esto será necesario hacer cambios en las dos librerías usadas, WFDB y GraphLib, para que de esta forma la aplicación tenga más funcionalidad.

2. Estado del arte

No son pocas las herramientas que a día de hoy existen para la lectura de los electrocardiogramas, no obstante, una muy pequeña parte de ellas son interactivas, de modo que la persona que lea esos resultados pueda desplazarse por ellos y buscar aquellos datos o información que necesite o le interesen.

De lo que más podemos encontrar en hospitales hoy en día, son aplicaciones de escritorio que se conectan directamente, vía wifi (que es una tecnología que permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos [7]) o bluetooth (que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia [8]) con los electrocardiógrafos y que muestran, por lo general, una imagen congelada/estática de la medición realizada, en algunos casos sin embargo dicha imagen se ve en movimiento, pero solo en aquellos casos en los que se trata de la monitorización de un paciente (que por lo general se encuentra ingresado) en tiempo real. No encontramos sin embargo tantas aplicaciones, que lo que hagan sea permitirnos leer, visualizar y desplazarnos por esos datos de un archivo generado previamente por un aparato físico, un holter por ejemplo, tiempo después de realizada la prueba.

Existen también algunas aplicaciones para móviles que ayudan a la interpretación de los resultados de los electrocardiogramas. Un ejemplo de ellas, disponibles para las plataformas iOS y Android y que están dedicadas a la ayuda al diagnóstico, provienen de aptteca, una biblioteca de aplicaciones de cardiología destinadas todas ellas a la prevención, diagnóstico y tratamiento de los pacientes con patologías cardiovasculares y desarrolladas todas conjuntamente por un cardiólogo y un médico de familia [9]:

- “Riesgo cardiovascular”: esta aplicación ofrece una herramienta sencilla y rápida para poder estimar el riesgo cardiovascular, algo útil en prevención primaria ya que facilita la tarea de determinar las intervenciones terapéuticas necesarias para reducir ese riesgo y además permite establecer directrices de cada paciente. Tiene por lo tanto una finalidad tanto diagnóstica como terapéutica.
- “ECG Práctico”: proporciona apoyo a los médicos de Atención Primaria y a otros especialistas para la toma de decisiones de forma inmediata y en tiempo real y para la lectura de los electrocardiogramas. Provee de una experiencia de uso adaptada a los usuarios según su nivel de conocimiento.
- “Semiología clínica”: sirve de ayuda en la interpretación de la disnea (dificultad respiratoria), el dolor torácico y los soplos.
- “Insuficiencia cardíaca”: apoya al personal sanitario en el manejo de los pacientes con insuficiencia cardíaca, gracias a que con sus algoritmos puede valorar síntomas y detectar las causas. Además, incluye recomendaciones de tratamientos.
- “Ecocardiografía”: sirve como guía básica para la realización e interpretación de una ecocardiografía, de modo que el sanitario que realice la prueba haga un examen completo no olvidando ningún aspecto que pueda ser relevante.
- “Hipertensión arterial”: permite calcular el riesgo cardiovascular de un paciente y calcular su grado de hipertensión arterial. Para esta estimación se han usado los criterios establecidos en la Guía de la Sociedad Europea de Cardiología y la Sociedad Europea de Hipertensión de 2013.

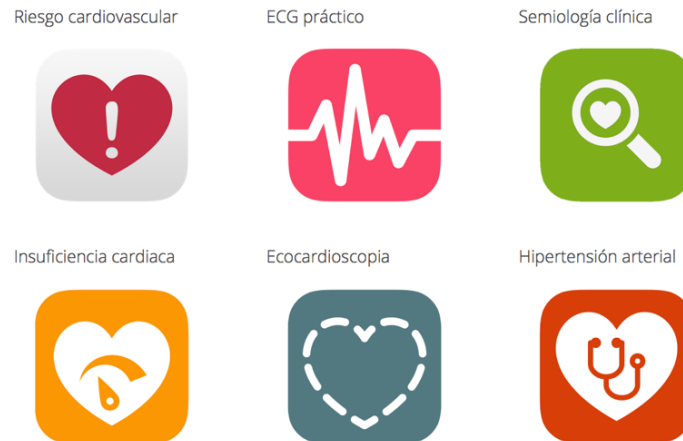


Imagen 1: Aplicaciones Appteca

El mismo caso que sus homólogos, pero sólo para iOS tenemos:

- “ECG Guide”: que permite consultar trazados para el estudio o la ayuda al diagnóstico.
- “ECG Interpreter”: ayuda a la interpretación de los electrocardiogramas, ya que incluye una amplia colección de ECG comunes e inusuales.
- “Instant ECG”: esta aplicación es una guía para personal sanitario y para estudiantes en proceso de aprendizaje.

Hace tres años, un médico extremeño, Javier Fernández Portales, creó una aplicación llamada “ECG Camera”, ésta, a través de una fotografía realizada al resultado del electrocardiograma, permite compartirlo con otros médicos a través de la propia aplicación (sin la información del paciente en cuestión, cumpliendo con la Ley de Protección de Datos) con el objetivo de poder pedir una segunda opinión y asegurar el diagnóstico. Además, la propia aplicación, incluye una parte docente para servir de apoyo y ayudar al diagnóstico y al establecimiento de tratamientos a estudiantes e incluso a médicos más experimentados, gracias a un algoritmo de preguntas y una especie de foro donde comentar y preguntar entre todos ellos. [10]

Sin embargo, de nuevo, todas ellas son aplicaciones para la ayuda a la lectura e interpretación, pero ninguna de estas nos permite desplazarnos por la onda y ver el resultado completo de la prueba de forma interactiva.

Para el caso de ordenadores, nos encontramos con aplicaciones de escritorio en la misma situación, y además en el algún caso para la monitorización.

Para macOSX podemos encontrar:

- UltraLS ECG SPO2 TEMP: esta sirve directamente para el registro de las señales y su monitorización en tiempo real.
- Virtu-ALS: es una aplicación educativa, que siendo como un juego, permite aprender a distinguir las distintas cardiopatías.

- ECG A-Z Pro: esta aplicación tiene más de 100 ejemplos de cardiopatías con toda la explicación teórica necesaria para identificar cada una de ellas y comprenderlas, además posee una versión de exámenes que pone a prueba lo aprendido.

Para Windows tenemos, por ejemplo:

- ECG Note: que permite a los médicos hacer anotaciones en una imagen estática de un electrocardiograma de lo que observa en los resultados.
- ECG 100 casos prácticos: esta es una aplicación educativa con diversas situaciones y ejemplos que pueden ayudar en el diagnóstico.

No obstante, ninguna de estas aplicaciones permite la lectura, la visualización completa y la interacción con los resultados de los electrocardiogramas realizados, sino que son aplicaciones pensadas para la ayuda a su interpretación o la visualización de una pequeña parte estática de los mismos, o como herramienta educativa para ayudar al diagnóstico.

Para la lectura de los datos registrados por un holter, se usa un software de análisis, esto es, un proceso de análisis automático integrado en el software de cada dispositivo Holter que determina automáticamente diferentes tipos de latidos cardíacos, ritmos, etc. Estos, proporcionan al médico información sobre la morfología del latido del corazón, la medición del intervalo de latido, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la visión general del ritmo y el diario del paciente.

Para el almacenamiento de esta información, los dispositivos más antiguos usaban cintas de bobina a bobina o un cassette de audio estándar y una vez que realizada la grabación, se podía reproducir y analizar a una velocidad de 60x, por lo que se podían analizar 24 horas de grabación en 24 minutos. Los más modernos graban un archivo EDF en dispositivos de memoria flash digital y los datos se cargan en una computadora que analiza automáticamente la entrada, cuenta los complejos de ECG, calcula las estadísticas de resumen, como la frecuencia cardíaca promedio, la frecuencia cardíaca mínima y máxima, y busca áreas candidatas en la grabación que el técnico debe estudiar [13].

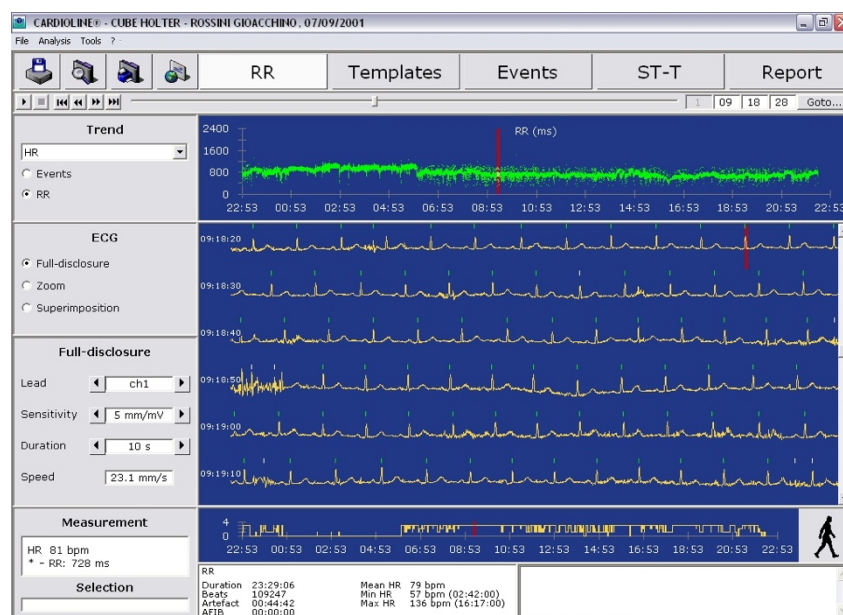


Imagen 2: Software Holter

Para conocer más a fondo cómo funcionan los electrocardiógrafos y de que sistemas disponemos en alguno de los hospitales y centros de salud de nuestro país hoy en día, he podido ir a varios de ellos: un hospital en Guadalajara y otro en Madrid, y dos centros de salud, de nuevo una en Guadalajara y otro en Madrid, donde médicos y enfermeros de estos me han enseñado y explicado los sistemas de que disponen cada uno de ellos.

En una primera visita, fui al Hospital Universitario de Guadalajara. Allí me pudo atender la jefa de urgencias Maite Antoral, quien me enseñó dos modelos distintos de electrocardiógrafos digitales que ellos usan para la realización de un primer diagnóstico cuando un paciente llega a urgencias, y además me mostró cómo ellos visualizan los resultados de estas pruebas en los ordenadores:

- El primero de los electrocardiógrafos (el modelo EDAN SE-1201), consiste en una pantalla no táctil y numerosos botones que permiten seleccionar distintos modos de electrocardiograma y realizar su configuración. Este envía el resultado de un período de tiempo determinado del ECG por wifi a una aplicación de ordenador, con la dirección IP configurada previamente, en la que sin embargo lo único que se ve es una imagen estática de las ondas sobre un fondo blanco con la que el médico no puede interactuar e incluso en ocasiones puede llegar a resultarle difícil la lectura, ya que no cuenta con los cuadrados milimetrados. A pesar de esto, el aparato también cuenta con la posibilidad de imprimir in situ el resultado de unos segundos de la prueba en el clásico papel milimetrado de color rosa.

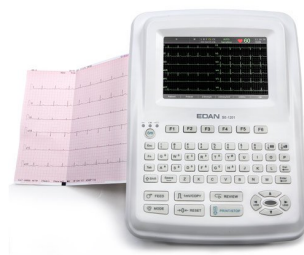


Imagen 3: Electrocardiógrafo EDAN SE-1201

- El segundo de ellos (el modelo EDAN SE-601), al igual que el anterior consta de una pantalla y numerosos botones, pero en este caso dicha pantalla es táctil, lo que facilita el trabajo del personal sanitario a la hora de configurarlo y usarlo ya que lo hace más intuitivo, pero la interfaz sigue siendo la misma que la del caso anterior. Además, este también da la posibilidad de imprimir el electrocardiograma en el momento que se realiza, sin olvidar la opción de la transmisión de la información por wifi al ordenador.

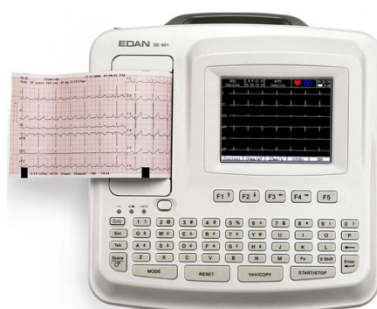


Imagen 4: Electrocardiógrafo EDAN SE-601

No solo en este hospital, como he comentado, me enseñaron el funcionamiento y las aplicaciones asociadas a dichos electrocardiógrafos.

El segundo de los hospitales al que fui fue al área de cardiología pediátrica del Hospital Materno Infantil del Gregorio Marañón, donde tuve la posibilidad de conocer cómo funcionan los sistemas de monitorización.

En este caso, uno de los enfermeros me enseñó y me explicó que los electrocardiógrafos a los que están conectados los pacientes se conectan todos ellos por wifi a un ordenador central del control de enfermería desde el que son controlados en tiempo real. La interfaz de esta aplicación está dividida en tantas celdas como pacientes haya ingresados y conectados en ese momento, pudiendo ver de forma minimizada las constantes vitales de cada uno. En el caso de que en alguno se produzca una anomalía, estas son indicadas con una alerta en rojo en la celda correspondiente al paciente que la padezca, y maximizándose dicha celda a toda la pantalla con el fin de que el personal sanitario quede bien avisado y pueda interpretar de manera más detallada lo que sucede. Así mismo, la interfaz permite en cualquier momento ampliar la información de cualquiera de los pacientes, y establecer límites normales de cada uno de ellos en el momento del ingreso, dado que estos parámetros pueden variar en función de la edad y de más factores. Además, la aplicación cuenta con un registro de las anomalías, para de esta forma facilitar diagnósticos y tratamientos.



Imagen 5: Ejemplo de monitorización múltiple

En tercer lugar, fui a las urgencias del centro de Salud de Marchamalo, donde uno de sus médicos me enseñó tanto el modelo que tienen allí, quizá el más antiguo de todos y con pocas posibilidades, como el modelo de electrocardiógrafo portátil que usan en caso de urgencia.

Por último, fui a mi centro de Salud de Atención Primaria de la Alameda de Osuna, donde por petición de mi doctora, la enfermera me realizó un ECG estándar y me explicó el funcionamiento del aparato que tienen allí y la teoría sobre las ondas.

3. Base teórica

3.1 ¿Qué es un ECG?

Un electrocardiograma (ECG) es la representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón (actividad bioeléctrica) en cada latido cardíaco en función del tiempo, y que se obtiene desde la superficie del cuerpo. Refleja la propagación de la despolarización y la repolarización eléctricas de las distintas cámaras contráctiles del corazón, dos aurículas y dos ventrículos. [11] En un principio el electrocardiograma se conoció con las letras EKG (del alemán *Elektrokardiogramm*).

El electrocardiograma se usa para medir el ritmo y la regularidad de los latidos, el tamaño y posición de las aurículas y ventrículos y nos permite detectar y diagnosticar con facilidad distintos tipos de enfermedades y anomalías cardiovasculares gracias a cambios en la morfología de la señal obtenida. Para obtenerlo es necesario hacer uso de un aparato llamado electrocardiógrafo, estos son el instrumento principal de la electrofisiología cardíaca y suelen constar de una pantalla y/o un dispositivo de impresión que imprime el electrocardiograma. De él salen los cables que mediante unos electrodos, se conectan al paciente para la realización de la prueba, es decir captan y amplían la actividad eléctrica del corazón.

Esta actividad bioeléctrica del corazón fue descubierta en el año 1842, cuando Carlo Matteucci demostró que una corriente eléctrica acompaña a cada latido del corazón. En 1856, Koelliker y Muller aplicaron un galvanómetro (que es un instrumento que se usa para detectar y medir la corriente eléctrica [12]) a la base y al apex del corazón para corroborar la existencia de dicha corriente eléctrica cardíaca, y aunque el primero en aproximarse a este órgano desde el punto de vista eléctrico gracias al electrómetro fue Augustus Waller en 1889 y en un ambiente clínico fisiológico, no fue hasta el año 1901 cuando Willem Einthoven (un médico de origen holandés que trabajaba en Leiden, Países Bajos), [13] logró darle aplicaciones clínicas, impulsado por las investigaciones previas de Waller, y descubrió un nuevo galvanómetro, mejorando al capilar ya existente creado por Waller, el galvanómetro de cuerda. Este tuvo utilidad clínica a pesar de pesar aproximadamente 270 kg, ocupar dos habitaciones y necesitar cinco personas para moverlo. Al ser un instrumento de tal envergadura, era muy difícil su transporte desde el laboratorio en el que se encontraba hasta el hospital, por lo que Einthoven planteó la solución de conectar mediante dos hilos conductores (utilizando los cables subterráneos de la red telefónica de Leiden) el aparato con el hospital, que distaba 1,5 kilómetros y donde se situaron los baldes con la solución conductora.

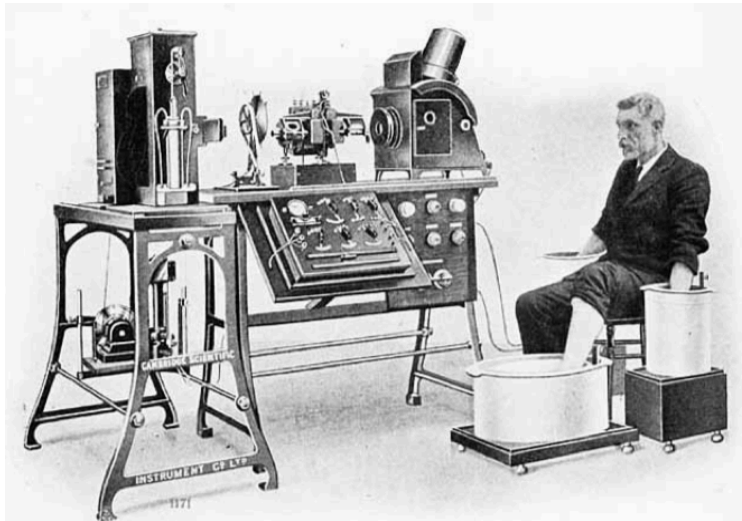


Imagen 6: Galvanómetro de cuerda

Einthoven fue quien introdujo hacia el año 1903 la nueva nomenclatura para las ondas P, Q, R, S y T, para no confundirla con la usada hasta entonces con el electrómetro capilar (A, B, C, D Y E). Esta nueva se sigue utilizando hoy en día. Fue además el primero en usar las derivaciones I, II y III, situadas en las extremidades del cuerpo, y gracias a las cuales definió el triángulo equilátero que forman y que lleva su nombre.

En 1924 le concedieron el premio Nobel de Fisiología y Medicina, que compartió con el que había sido su asistente Van de Woerd, y quién le ayudó en el desarrollo del galvanómetro de cuerda.

Ya hacia 1908, dos compañías, una de Londres y otra de Nueva York, se unieron para formar Cambridge Scientific Instrument Co., marca que se interesó por el aparato de Einthoven y a la que este vendió su idea ya que querían crear y producir versiones más comerciales y manejables del mismo.

Hacia 1942 Emanuel Goldberger aumentó el número de derivaciones añadiendo aVL, aVR y aVF, que junto a las otras tres y a las 6 derivaciones precordiales (todas explicadas más adelante), completan el electrocardiograma convencional de 12 derivaciones que conocemos y usamos a día de hoy.

Pero el electrocardiógrafo de entonces tenía un gran inconveniente, y es que suponía que el paciente estuviera completamente quieto, además de necesitar numerosos cables y electrodos, por lo que no era posible realizar mediciones de larga duración, aplicando así los estudios a personas activas.

Fue el biofísico Norman J. Holter, quien en el año 1949 desarrolló el primer electrocardiógrafo portátil, aunque este aún pesaba 36 kg, pero los posteriores avances en la miniaturización electrónica permitieron a Holter reducir el tamaño y conseguir por tanto su objetivo. Este electrocardiógrafo portátil recibió el nombre de su inventor [14].

En la década de los 60 el registro se obtenía de forma analógica en cintas magnetofónicas, y por aquel entonces se registraban uno o como mucho dos canales. Y ya en los 80 gracias a los avances en tecnología e informática se obtenían análisis más profundos. Desde hace poco más de 10 años ya pueden registrarse las 12 derivaciones.

El Holter electrocardiográfico es por tanto un dispositivo que permite registrar gráficamente y de manera continua la actividad eléctrica del corazón durante largos períodos de tiempo

permitiendo al paciente que realice las actividades habituales de su día a día [15]. Actualmente, este es uno de los sistemas más valiosos para la detección y el diagnóstico de determinados tipos de arritmias. Existen cuatro tipos distintos de Holter:

- Holter de 24/48 horas: realiza un registro continuo de 24/48 horas mientras el paciente realiza sus actividades cotidianas de la vida diaria. Pueden ser de 2, 3, o 12 derivaciones, y el registro puede ser analógico (en cintas de casete) o digital (en una memoria en estado sólido o tarjeta compacta), aunque actualmente solo se usa la segunda forma. El material externo es una grabadora, un sistema de electrodos y un electroanalizador.

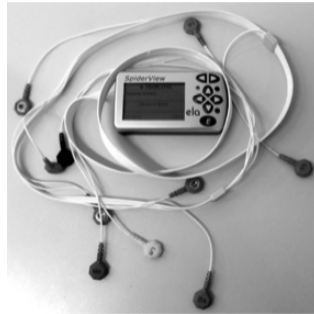


Imagen 7: Holter 24/48 horas

- Holter de eventos: está indicado para aquellos pacientes en los que los síntomas aparecen de manera esporádica y por tanto no son detectables con un electrocardiograma rutinario. Es un dispositivo de pequeño tamaño con una autonomía de hasta 40 días. Puede grabar en uno o dos canales. El paciente lo puede activar cuando nota síntomas o en algunos casos disponen de algoritmos de detección automática de arritmias. La información se suele almacenar en tarjetas compactas y posteriormente es volcada a un electroanalizador o a un programa informático.



Imagen 8: Holter de eventos

- Holter de 7 días: útil en pacientes que presentan trastornos del ritmo cardíaco de tipo paroxístico, en los que un holter de 24 horas no puede detectarlos. Es un dispositivo pequeño que funciona con una pila y una tarjeta de memoria compacta. Se conecta al paciente con tres electrodos y permite la medición de un período de tiempo más largo, sin embargo, los resultados son de menor calidad, y el registro es de solo dos derivaciones. El volcado de datos se realiza como en el holter de 24/48 horas.



Imagen 9: Holter de 7 días

- Holter cardíaco implantable subcutáneo: indicado para pacientes con síncope recurrentes. Consta de cuatro elementos: el dispositivo, un mando de control remoto que el paciente activa en caso de síntomas, un monitor de transmisión a distancia y un programador. Tiene un tamaño reducido y pesa unos 15 gramos. Se implanta de manera ambulatoria en el tejido subcutáneo pectoral izquierdo entre la primera y la cuarta costilla



Imagen 10: Holter cardíaco implantable subcutáneo

Hoy en día el electrocardiógrafo se mantiene como uno de los instrumentos electrónicos más usados en la medicina moderna.

Un ECG normal consta de una primera onda P, un complejo QRS y una onda T, (la onda U normalmente no es visible). Aquí, la sístole (contracción) comienza justo al iniciarse el complejo QRS y acaba al empezar la onda T, y la diástole (relajación) comienza cuando termina la sístole, correspondiendo con el inicio de la siguiente onda P. Dicho de otro modo, la onda representa la contracción y relajación de las aurículas y los ventrículos del corazón.

De no estar sano el corazón, esta morfología cambiaría, mostrando irregularidades en las ondas.

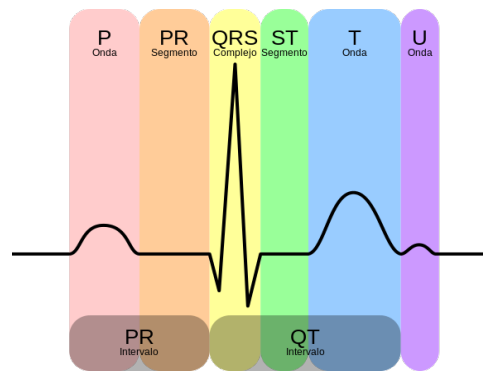


Imagen 11: Onda ECG

Estas ondas se interpretan de la siguiente forma [16]:

- El número de ondas por minuto es la frecuencia cardíaca.
- La distancia entre esas ondas es el ritmo cardíaco.
- La forma de las ondas muestra cómo funciona el corazón, sus impulsos eléctricos, su tamaño.
- La consistencia de estas ondas da información sobre si hay o no lesión en el corazón.

Un ECG se puede realizar con distintas derivaciones [17], lo más habitual es el uso de 12, para las cuales se emplean 10 electrodos colocados en las extremidades (en muñecas y tobillos) y en el pecho del paciente y unidas al electrocardiógrafo mediante cables.

Los electrodos son pequeños discos metálicos sensibles a impulsos de baja intensidad, que captan, amplifican y registran las señales de los latidos del corazón. Estos se colocan en la superficie corporal mediante ventosas o adhesivos. Hay tres grandes tipos de electrodos [18]:

- **Electrodos de superficie:** son los que están en contacto con la piel del paciente. Estos pueden ser a su vez:
 - **Placas metálicas:** consisten en un botón metálico de contacto, hecho de plata, que se rellena con gel o pasta conductiva.
 - **Electrodos de succión:** es un electrodo cilíndrico metálico hueco al que se le adhiere un gel electrolítico para hacer contacto, y se sujeta gracias a la succión.
 - **Electrodos flotantes:** en ellos se elimina el contacto con la piel, pero entra en contacto eléctrico con ella gracias a la pasta electrolítica. En los desechables, esta pasta está en una esponja que está en contacto con la piel por una cara y por la otra adherida al electrodo. Se emplea en las pruebas de esfuerzo.
 - **Electrodos flexibles:** se adaptan a las superficies del cuerpo y el contacto es con mayor área y de mejor calidad. Están hechos de un material adhesivo sobre el que se coloca una malla metálica formada por finos alambres de plata, y la pasta electrolítica se coloca sobre esta malla. Se usan sobretodo para recién nacidos y niños pequeños.
 - **Electrodos secos:** no usan pasta electrolítica.

- Electrodo interno: son insertados dentro del cuerpo humano. Suelen ser catéteres aislados delgados y largos. Hay:
 - Electrodo percutáneo: para uso clínico, son los electrodos de aguja.
 - Electrodo intrategumento: son aquellos que están implantados en el cuerpo y funcionan como un radio transmisor, cuya señal se registra con un radio receptor.
- Microelectrodos: son usados para medir la diferencia de potencial entre la parte interna y la externa de la membrana celular



Imagen 12: Tipos de electrodos

Las derivaciones son la medida de voltaje entre dos electrodos, dicho de otro modo, cada derivación es una “fotografía” diferente de la actividad eléctrica del corazón. Lo más habitual es el uso de 12 derivaciones, para las cuales se emplean 10 electrodos y dependiendo de la parte del corazón que registren, tendremos dos tipos de derivaciones:

- Derivaciones periféricas: son las correspondientes a las extremidades, brazos y piernas, y componen el plano frontal. Forman el llamado triángulo de Einthoven y son de dos tipos:
 - Derivaciones bipolares: registran la diferencia de potencial entre dos electrodos y a su vez son de tres tipos:
 - Derivación I: mide la diferencia de potencial entre el brazo derecho (-) y el brazo izquierdo (+).
 - Derivación II: mide la diferencia de potencial entre el brazo derecho (-) y la pierna izquierda (+).
 - Derivación III: mide la diferencia de potencial entre el brazo izquierdo (-) y la pierna izquierda (+).

- Derivaciones unipolares o monopolares: registran la diferencia de potencial entre un punto en el centro del triángulo de Einthoven (situado en el centro del pecho, por encima del corazón) y el electrodo de cada extremidad. Son:
 - aVR: Potencial absoluto del brazo derecho.
 - aVL: Potencial absoluto del brazo izquierdo.
 - aVF: Potencial absoluto de la pierna izquierda.

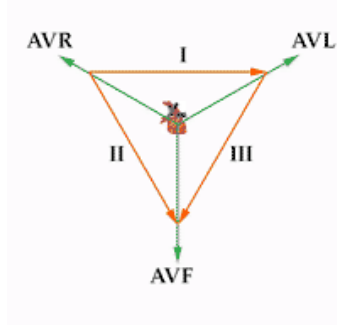


Imagen 13: Triángulo de Einthoven

- Derivaciones precordiales: son seis, y son derivaciones monopolares, que registran el potencial absoluto del punto donde está colocado el electrodo:
 - V1: parte de las aurículas, del tabique y de la pared interior del ventrículo derecho. El electrodo se coloca en el cuarto espacio intercostal, a la derecha del esternón.
 - V2: encima de la pared ventricular derecha. El electrodo se sitúa en el cuarto espacio intercostal, pero a la izquierda del esternón.
 - V3: sobre el septo interventricular. Se coloca entre V2 y V4.
 - V4: sobre el ápex del ventrículo izquierdo. Se sitúa el electrodo en el quinto espacio intercostal, en la línea medio-clavicular.
 - V5: sobre el miocardio del ventrículo izquierdo. El electrodo se coloca en la misma línea que V4, pero verticalmente en la línea axilar anterior.
 - V6: Se sitúa el electrodo en la misma línea horizontal que V4 y V5, pero en la línea medioaxilar.

Estas seis derivaciones son las que rodean, en una especie de semicírculo, al corazón desde el costado hasta la zona del pecho como se puede ver en la imagen.

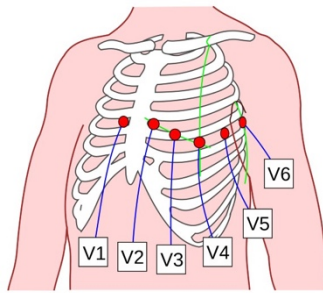


Imagen 14: Derivaciones precordiales

Si en algún caso el número de electrodos que se coloca al paciente aumenta, también aumentará entonces el número de derivaciones que se pueden calcular, y por tanto la información obtenida del corazón.

El papel en el que se imprime habitualmente un electrocardiograma tiene por lo general pequeños cuadraditos que miden 1 mm de altura y 1 mm de anchura, lo que facilita al personal sanitario la lectura de este. Cada cuadrado de un milímetro representa 40 milisegundos de medición en el eje de las X y 1 milivoltio en el eje de las Y. A esta cuadrícula se la superpone otra en la que los cuadrados son de cinco por cinco milímetros.

Para realizar un electrocardiograma correctamente:

- Los electrodos deben estar en contacto con la piel.
- El paciente debe mantenerse tranquilo, sin hablar y sin moverse.

Existen 3 posibles motivos por los que falle un ECG y que son notificados habitualmente en la pantalla del electrocardiógrafo en el momento de su realización:

- Interferencia eléctrica: si se da este fallo, se deberán apagar o se alejar del aparato otros dispositivos electrónicos (como móviles) que estén encendidos y que puedan estar causando el problema.
- Movimiento del paciente: en ese caso quien realice la prueba le pedirá al paciente que se mantenga tranquilo y sin hablar.
- Línea basal errante: es un mal contacto con la piel, en cuyo caso el sanitario recolocará los electrodos hasta conseguir un buen contacto.

A la hora de leer el resultado obtenido, lo más básico para la correcta interpretación de este es conocer lo siguiente:

1. Calcular la frecuencia cardíaca.
2. Distinguir si el ritmo es regular o irregular.
3. Comprobar si existe actividad auricular, viendo si hay presencia de onda P.
4. Comprobar si hay contracción ventricular, esto es si el complejo QRS es ancho, estrecho o normal.
5. La relación entre la actividad auricular y ventricular.
6. La medición de los intervalos.

7. Saber nombrar las anomalías.

Existen varios tipos de electrocardiogramas [19]:

- ECG estándar o en reposo: es el que se realiza cuando el paciente se encuentra en reposo, y toma pocos minutos. Es el más habitual y por tanto el más conocido porque es el que se realiza con más frecuencia en los hospitales o centros de salud para conocer el estado de los pacientes.
- ECG de esfuerzo: también conocido con el nombre de prueba de esfuerzo, se realiza durante aproximadamente 15 minutos y mientras el paciente hace ejercicio, ya sea en una bicicleta estática o en una cinta de correr, y el resultado muestra cómo funciona el corazón en situación de estrés.
- ECG de 24 horas: también llamado holter, es el que se realiza durante un período de 24 o 48 horas, para así poder comprobar cómo se comporta el corazón en un largo período de tiempo. En ella el paciente lleva un pequeño dispositivo grabador portátil que se conecta al pecho a través de cables con tres o cuatro electrodos. Además, el médico puede pedir al sujeto llevar un registro de las actividades diarias. Para estos últimos y su fácil interpretación está pensada la aplicación.
- Registrador de eventos cardíacos: son dispositivos portátiles similares al holter, pero que se utilizan para grabar los latidos del corazón sólo cuando se tienen síntomas de alguna anomalía. Se suelen activar con un botón cuando el paciente nota esos síntomas o siente una frecuencia cardíaca distinta, o bien, otros aparatos se activan automáticamente al detectar ritmos cardíacos anormales y comienzan el registro. Se pueden usar durante períodos más largos de incluso 30 días.

Dependiendo del tipo de prueba que se quiera realizar o la dolencia que pueda sufrir o sufra el paciente, se seleccionará el tipo de electrocardiograma más adecuado para cada caso en particular.

Además del electrocardiograma, en el sistema cardiovascular podemos obtener otros tipos de medidas [20]:

- Fonocardiografía: es la obtención de sonidos cardíacos.
- Presión: es la medida de la presión sanguínea del corazón, es una medida mecánica, no eléctrica que permite detectar insuficiencias valvulares o estados de hipo o hipertensión.
- Flujo: es la medida del flujo, la velocidad, de la sangre, y permite detectar obstrucciones.
- Gasto cardíaco: es la medida de la cantidad de sangre que bombea el corazón en cada latido.
- Plestimografía: es la medida que determina los cambios de volumen.

3.2 ¿Qué es una bioseñal?

Según la definición de la Real Academia de Ingeniería (RAING), una bioseñal o señal bioeléctrica es cualquier variable biomédica observada en el tiempo, o señal producida por los tejidos vivos. [21]

La RAING fue creada en el año 1994, es una institución a la vanguardia del conocimiento técnico, que promueve la excelencia, la calidad y la competencia de la ingeniería española en sus distintas disciplinas y campos de investigación. Está formada por 60 académicos de las distintas disciplinas de la Ingeniería y la Arquitectura.

De esta manera, estas bioseñales, son señales que nos permiten obtener información sobre los distintos sistemas fisiológicos del organismo que las generan, para de esta forma poder emitir un diagnóstico. Suelen estar caracterizadas por los rangos de amplitud y frecuencia.

Estas medidas médicas, pueden agruparse en varias categorías:

- Biopotenciales: son los potenciales bioeléctricos producidos por la actividad electroquímica de las membranas de ciertos tipos de células excitables, como las nerviosas, las musculares o las del tejido glandular.
- Mecánicas: son los potenciales de acción y de reposo.
- Acústicas: hacen referencia a los fonocardiogramas.
- Imágenes: se refiere a TACs, resonancias, etc.
- Impedancias: El análisis de la impedancia bioeléctrica es un método que suele usarse para conocer la composición aproximada de un cuerpo. Consiste en medir la resistencia que opone un cuerpo al paso de una corriente.
- Señales biomagnéticas: también llamadas biomagnetismo, son aquellas generadas por las actividades magnéticas cerebrales. Estas señales pueden ser detectadas sin colocar electrodos en la piel y son obtenidas con pruebas como los MEG (magnetoencefalografía) y EEG (electroencefalogramas).
- Señales bioquímicas: son el resultado de mediciones químicas de los tejidos vivos o de muestras analizadas en el laboratorio clínico.

4. Descripción experimental

4.1 Herramientas usadas

4.1.1 Visual Studio

Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE). Es una herramienta de desarrollo que soporta múltiples lenguajes de programación, entre ellos C# y permite la creación de programas informáticos, servicios web, aplicaciones móviles o de escritorio y sitios y aplicaciones web, todo esto en código nativo o no nativo. Utiliza plataformas de desarrollo software de Microsoft.

La aplicación es un Windows Forms [22], esta es una interfaz de programación de una aplicación gráfica incluida en el framework .NET de Microsoft, que proporciona acceso a todos los elementos de la interfaz de Microsoft Windows nativas envolviendo la API de Windows existente en código administrado. Windows Forms son formularios que actúan como una pizarra en blanco para que el programador pueda crear una interfaz y manejar datos en ella.

C# [23] es un lenguaje de programación orientado a objetos, que fue desarrollado y estandarizado por Microsoft como parte de su plataforma .NET. Su sintaxis deriva de C/C++ y utiliza el modelo de objetos de la plataforma .NET, que es similar al de Java, aunque incluye mejoras derivadas de otros lenguajes.

4.1.2 Physionet

physionet.org es una web que permite el acceso a numerosas muestras fisiológicas y su uso (PhysioBank [23]), entre ellas de ECG. Esta base de datos contiene datos reales de diferentes casos médicos y anomalías, pero todos ellos anónimos, para preservar la privacidad de los pacientes y cumplir con la Ley de Protección de Datos.

Además de esto, Physionet nos proporciona un simulador en el que poder ver qué formas tienen las distintas ondas de cada uno de los archivos, así como información de estos, este es PhysioBank ATM [24], y su uso es sencillo e intuitivo.

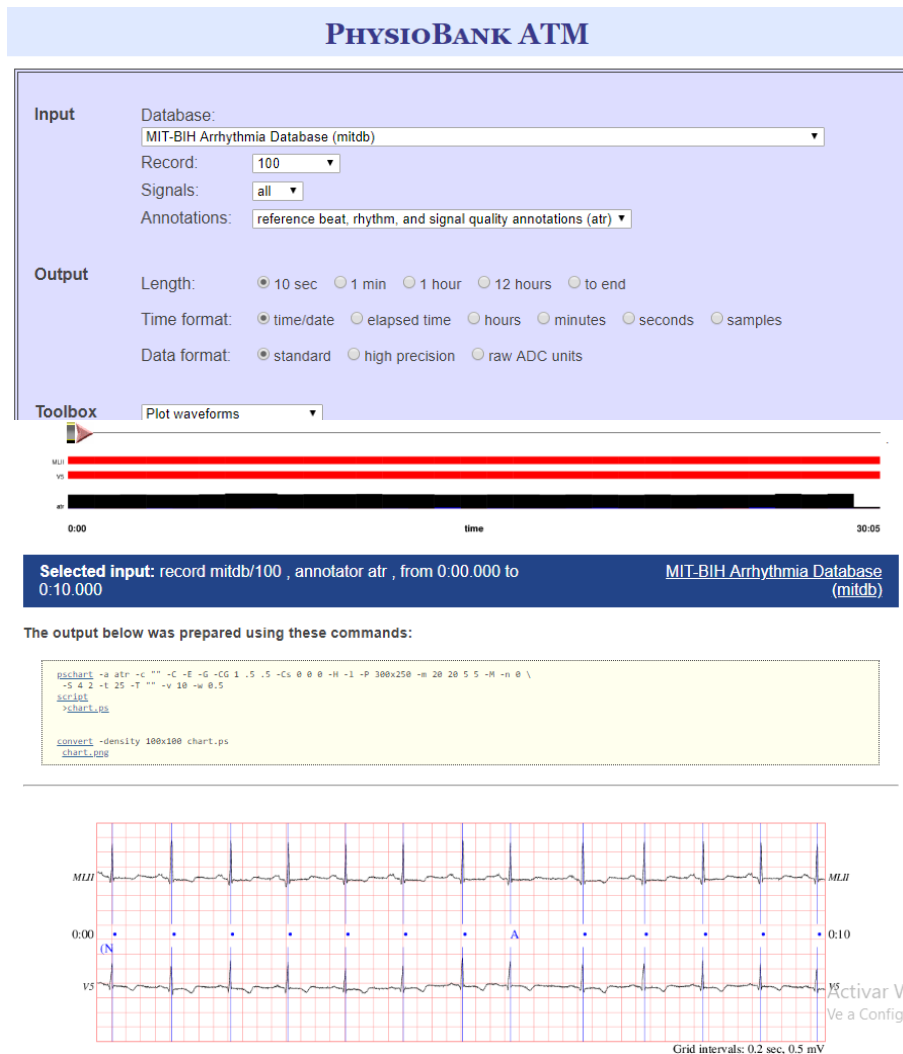


Imagen 15: PhysioBank ATM

Physionet además nos proporciona dos manuales de usuario para aprender a usar correctamente la librería WFDB, y que sirve para la interpretación y uso de los archivos que tenemos disponibles en la propia web:

- WFDB Programmer's Guide: esta guía está orientada a los desarrolladores. En ella se explican cada una de las funciones disponibles para la lectura, uso e interpretación de los datos, con información de cómo es su estructura interna y lo que devuelven cada una de ellas. Además, habla de los distintos tipos de datos posibles, y de los diferentes archivos que puede tener cada medición, desde el header, al .dat, pasando por los archivos de calibración y de anotación. Y por último encontramos ejemplos y ejercicios para poner en práctica lo que nos ha explicado la guía.
- WFDB Applications Guide: esta guía es similar a la anterior, pero tiene aplicaciones más específicas para hacer cálculos más concretos, y poder obtener así información más precisa.

Este banco de datos, Physionet, es el que he usado para poder hacer pruebas en mi aplicación con datos reales, ya que además me permitía comprobar gracias al simulador, la coherencia de los resultados que obtenía a medida que avanzaba.

No obstante, uno de los problemas encontrados es que la gran mayoría de estos archivos tienen mucho peso, porque poseen muchos datos, por lo que es necesario un ordenador potente para poder cargar los ficheros y visualizar las ondas.

4.2 Estructuración del proyecto

Para llevar a cabo este proyecto se va a dividir en bloques o tareas distintas a realizar.

El primer bloque consiste en que una vez abierta la aplicación y seleccionado el archivo, este debe cargarse para poder visualizarlo y, como se indica más adelante, debe ser un .hea. De no ser así, no sería válido (dado que no es la extensión correcta) y podremos volver a intentar cargarlo, en caso contrario, si es correcto, se nos cargarán los datos y se nos mostrará la señal o señales que contenga, y su información correspondiente en la caja de texto inferior.

Una vez tenemos todos estos datos cargados, pudiendo de esta manera visualizar las ondas, tendremos la opción de personalizar lo que vemos en la pantalla, es decir podremos configurar colores del fondo de la gráfica y colores de las ondas, así como el número de gráficas que visualizamos y cómo, con que escalado, las vemos.

Una vez analizados los resultados de la prueba, podremos cargar un nuevo archivo, o cerrar la aplicación.

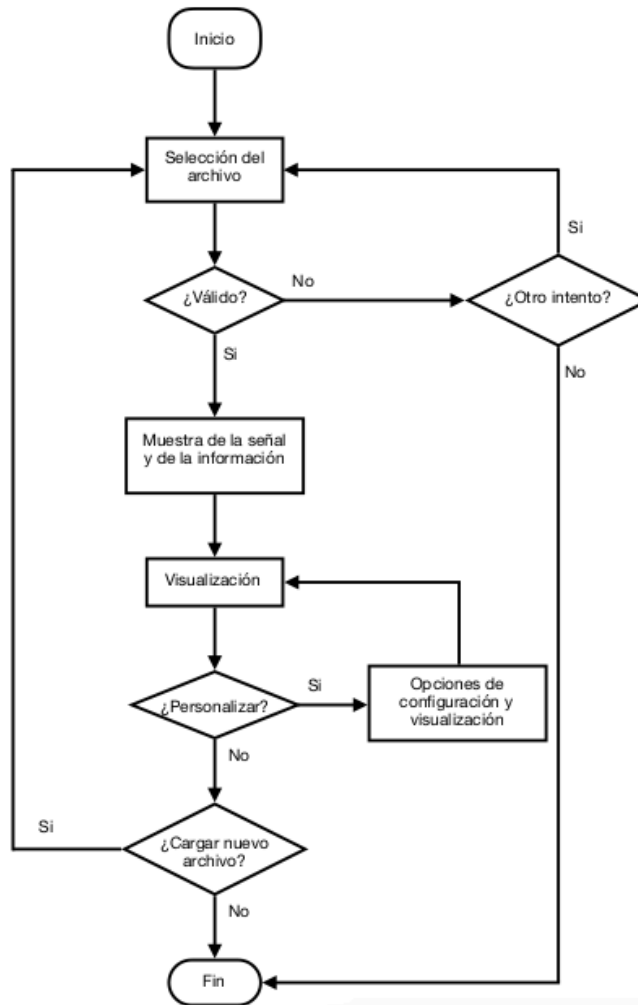


Imagen 16: Diagrama de flujo

4.3 Cálculos realizados para la representación de las ondas

Para la representación de las ondas han sido necesarios una serie de cálculos, dado que los valores que nos proporcionan los ficheros son puntos. Cada punto tiene un valor para las coordenadas X e Y del plano. Nuestro eje horizontal o eje de las X corresponde en este caso con el tiempo de medición, y nuestro eje vertical o eje de las Y corresponde con el voltaje.

Para hacer estos cálculos además, se necesitan datos generales que también nos proporciona el archivo, como es el valor de la frecuencia de muestreo (`SamplingFrequency`), esta es obtenida gracias a una función de la librería WFDB, y para obtener su valor hacemos:

```
recordFile.SamplingFrequency.Value;
```

Con la frecuencia de muestreo, que es el número de muestras que tenemos en un segundo de medición, podemos calcular el periodo de la señal:

```
Periodo = 1 / recordFile.SamplingFrequency.Value;
```

Con estos datos ya podemos pintar la señal:

- Eje X: `((float)recordFile.SamplingFrequency.Value/3)*(i * (float)periodo);`
Esto es el periodo de la señal pasado a float mediante un cast (que es una propiedad que nos proporciona la capacidad de cambiar el tipo de valor que previamente había sido declarado a otro tipo), y multiplicado por el número de muestra. Además se multiplica por la frecuencia dividida entre tres para ajustar más la onda.
- Eje Y: `(float)samples[i].ToPhys();`
Que es el valor pasado a milivoltios (mV) con otra de las funciones de la librería WFDB (`ToPhys`), de cada muestra.

4.4 Librerías usadas

4.4.1 WFDB

La librería WFDB (WaveForm DataBase) [25] consta de un conjunto de funciones o subrutinas, que permiten leer y escribir archivos en los formatos usados por la base de datos PhysioBank (entre otros), estos, suelen estar codificados de modo que no sería posible leerlos sin hacer uso de la librería.

Nos permite, en general, la lectura e interpretación de cualquier base de datos de tipo Waveform, haciendo posible la continuidad del proyecto, ya que esta era la primera barrera a la hora de llevarlo a cabo.

Algunas de estas funciones son las responsables de:

- Abrir los archivos de señal (los .dat) encontrándolos gracias a la información proporcionada por los archivos de cabecera (los .hea) que son los que debemos de seleccionar al cargar un nuevo archivo.
- Extraer la información necesaria de estos archivos de cabecera.
- Controlar como se leen y escriben estos archivos.
- Leer y escribir archivos de señal y de anotación.

De todas estas, en la aplicación uso las funciones correspondientes a abrir un archivo y cargar sus datos, y a leer la información de los archivos de cabecera, que son los que contienen información de las señales medidas, y que en ocasiones incluyen datos del paciente (como pueden ser la edad, el género y anomalías detectadas) y del resultado de la medición.

Esta librería puede ser usada por programas en diversos lenguajes, como C, C++ pero no C#. [26]. Dado que mi aplicación está realizada en C# necesitaba un envoltorio (wrapper) de esta librería para poder usarla, por lo que he usado WFDB C# Wrapper Library, que encapsula la librería nativa.

Una clase Wrapper es aquella que encapsula una librería COM, que está escrita en otro lenguaje e interactúa con el sistema, y expone los métodos de esa librería en .NET. Además, pone sus propias clases para poder usarlas en nuestro proyecto.

4.4.2 GraphLib

Esta librería fue desarrollada en el 2014 por Zimmermann Stephan, dejándola a disposición de quien la quisiera usar y/o modificar. Es sencilla, ya que hace fácil el tratado de datos gráficos en Windows Forms, y posee múltiples opciones para el diseño, de las cuales he elegido algunas concretas, que detallaré más adelante.

Esta librería traía unos datos precargados para dibujar las gráficas que para mi proyecto no eran de interés, ya que lo que hago es coger esos datos de un archivo usando la otra librería que tengo, WFDB, que además lo que hace es traducir los datos de esos archivos, que vienen cifrados, y una vez están descifrados, uso GraphLib para dibujar las gráficas. [27]

4.5 Daltonismo

Introduciéndome un poco en el tema de la usabilidad, he querido añadir a las opciones del menú tres posibilidades destinadas a personas (médicos y/o enfermeros en este caso) con daltonismo, para que estos no tengan problemas con los colores a la hora de leer el electrocardiograma y pueden ver las ondas con claridad.

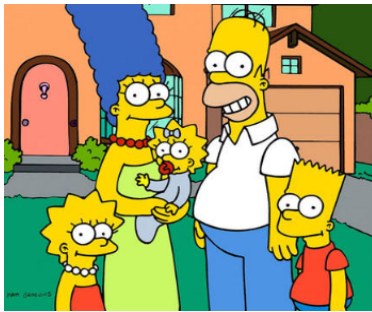
- Usabilidad: es la facilidad con que las personas pueden usar una herramienta particular o cualquier otro objeto creado con el fin de alcanzar un objetivo.
- Daltonismo: es una alteración de origen genético en la capacidad de distinguir los colores, de la que hay una gran variedad de tipos y casos.

Dicho esto, he contemplado tres casos de daltonismo dicromático (protanopia, deuteranopia y tritanopia) y uno de daltonismo acromático:

- Protanopia: es la carencia de percepción hacia el color rojo y sus derivados, también es llamada dicromacia roja, aunque también existe deficiencia para distinguir el verde. Pueden en una parte englobar a aquellas personas con deuteranopia.
- Deuteranopia: es la carencia de percepción visual del cono de luz correspondiente al color rojo también. Por tanto, se pueden englobar a grosso modo, ambos en una misma interfaz de desarrollo, lo que hace que se reduzca la cantidad de interfaces creadas sin dejar al margen ningún caso.

- Tritanopia: es la carencia de percepción visual hacia el color azul, por lo que también es llamada dicromacia azul.

Normal



Protanopia

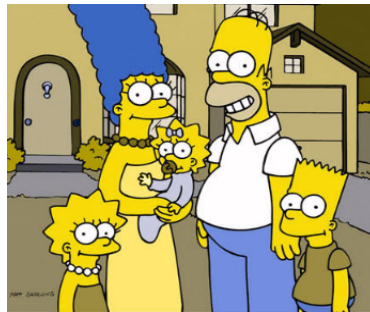
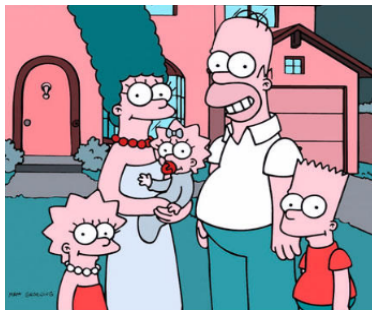
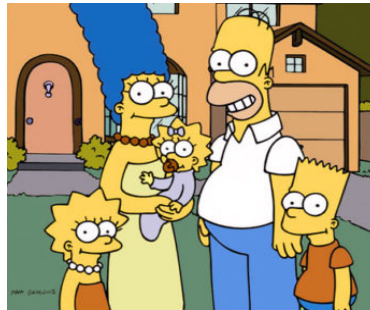


Imagen 17: Daltonismo dicromático

Tritanopia



Deuteranopia



- Acromático: las personas con este tipo de daltonismo solo ven en blanco y negro.



Imagen 18: Daltonismo acromático

Cabe destacar que, dentro de los casos de daltonismo detectados, y según estadísticas consultadas, el 99% de los casos se corresponden con los casos de protanopia y deuteranopia.

El objetivo de haber incluido una interfaz monocromática no es sólo para las personas que sufren un daltonismo acromático o monocromático, ya que en dichos casos no percibirían los colores y así es como ven de forma continua, sino también para poder proporcionar una segunda opción preconfigurada para aquellas personas que sufren otro tipo de daltonismo teniendo así más opciones de visualización, sin olvidar que se pueden elegir otras configuraciones en los menús desplegables realizando gran número de combinaciones de colores para las gráficas y para el fondo.

Para evitar cualquier problema relacionado con este colectivo se ha decidido usar un fondo blanco con letras negras para mostrar las descripciones, llevando a cabo la usabilidad y la integración en la mayor medida posible.

4.6 Métodos principales

ApplyColorSchema:

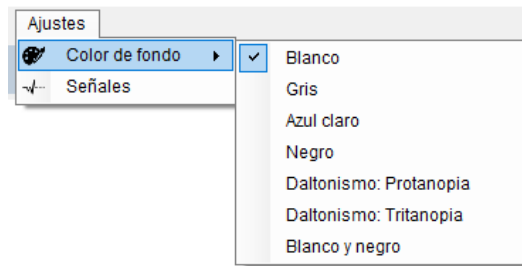


Imagen 19: Ajustes color

Este método se usa para aplicar el cambio de color de fondo según es seleccionado en el menú desplegable. Determina no solo el tono del fondo de la gráfica, sino también los colores de las ondas, así como el de los ejes (grid).

Para ello se usa un switch de `CurColorSchema`, que en función del caso cambia los colores del fondo y del grid, y en función al número de ondas (`NumGraphs`) que tenga nuestro archivo, estas, se pintarán de unos colores u otros.

```
private void ApplyColorSchema()
{
    switch (CurColorSchema)
    {
        case "BLANCO":
        {
            Color[] cols = { Color.DarkRed,
                             Color.DarkSlateGray,
                             Color.DarkCyan,
                             Color.DarkGreen,
                             Color.DarkBlue,
                             Color.DarkMagenta,
                             Color.DeepPink };
            for (int j = 0; j < NumGraphs; j++)
            {
                display.DataSources[j].GraphColor = cols[j % 7];
            }
            display.BackgroundColorTop = Color.White;
            display.BackgroundColorBot = Color.White;
            display.SolidGridColor = Color.LightGray;
            display.DashedGridColor = Color.LightGray;
        } break;
    }
}
```

Se sigue el mismo patrón que éste, para los otros tres colores contemplados: gris, azul claro y negro. Además de opciones para personas con distintos problemas de daltonismos: protanopia, deuteranopia, tritanopia y aquellas personas que ven en monocromático (blanco y negro)

```
//BLANCO
private void blancoToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    CurColorSchema = "BLANCO";
    GenerateGraphics();
    UpdateColorSchemaMenu();
}
```

UpdateColorSchemaMenu: Este método se usa para actualizar el tono del fondo del gráfico, en función al color que cliquemos nosotros en el menú y marca dicha selección en el menú con un tick para que sepamos cual hemos elegido.

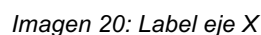
Inicialmente no hay ningún color seleccionado, pero si pulsamos sobre uno de ellos, el Checked pasará a estar a true, lo que significa que aparecerá con un tick.

Tendremos un checked a false y un condicional con su checked a true por cada color dentro todos de este mismo método.

```
private void UpdateColorSchemaMenu()
{
    blancoToolStripMenuItem.Checked = false;

    if (CurColorSchema=="BLANCO") blancoToolStripMenuItem.Checked=true;
}
```

Lo primero que hago es calcular el intervalo para pintar el valor con el número de muestras dividiéndolo entre 60 y a continuación le añado la “s”, de segundos a dicha etiqueta, creando así intervalos para facilitar su lectura y ubicación en el tiempo al profesional encargado de interpretar las gráficas.



```
private String RenderXLabel(DataSource s, int i)
{
    int Value = (int)(s.Samples[i].x / 60);
    String Label = Value + " s";
    return Label;
}
```

```
openToolStripMenuItem1_Click:
```

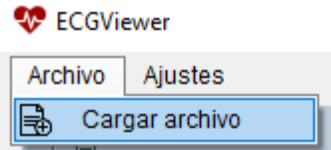


Imagen 21: Cargar archivo

Este método se usa para cargar un archivo nuevo y proceder a su lectura, además de imprimir datos relevantes del paciente o de la prueba en el textbox, que es una caja de texto en la que se escriben todos esos datos.

Para ello, lo primero que ocurre al clicar sobre “Cargar archivo” es que se abre un nuevo cuadro de diálogo, donde podemos elegir nuestro fichero, que debe ser un .hea. Si el usuario no selecciona el archivo correcto podrá volver a intentarlo.

Una vez elegido correctamente el archivo, se obtiene su nombre y lo abrimos. Tras su carga, en el textbox se escriben los datos tanto del paciente como del propio archivo que nos interesan, como son: edad, género, duración de la prueba, número total de muestras, número total de señales y sus nombres, frecuencia de muestreo...

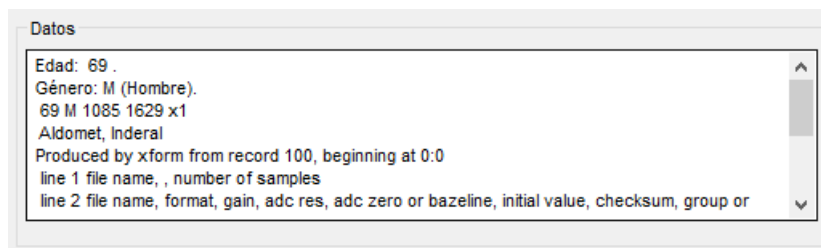


Imagen 22: Textbox Datos

Nuestro archivo tiene que estar en el directorio data, y gracias al filtro aplicado, veremos sólo los ficheros .hea.

```
dialog.InitialDirectory = AppContext.BaseDirectory + "data\\";  
dialog.Filter = "dat files (*.dat)|*.dat|All files (*.*)|*.*";
```

Una vez seleccionado el archivo, si este es correcto, paso a extraer su nombre sin la extensión, y a imprimirlo en la parte inferior izquierda de la interfaz, debajo del textbox, para que de este modo en todo momento sepamos qué fichero estamos visualizando. Esto sirve para proporcionar más seguridad a la persona que está usando la aplicación en caso de que dude si ha seleccionado el archivo deseado.

```
fichero = dialog.SafeFileName;  
fichero=System.IO.Path.GetFileNameWithoutExtension(dialog.SafeFileName;  
toolStripStatusLabel1.Text = "Archivo: " + fichero;
```

A continuación se abre el archivo, y se empiezan a imprimir todos los datos con información de interés en el textbox de la izquierda, como pueden ser el género del paciente, la edad y los problemas detectados. Además de todo esto, obtengo el tiempo total de duración de la prueba:

```
double tiempo = (samples.Count / recordFile.SamplingFrequency.Value);
```



```
string dateFormat = "HH:mm:ss";
DateTime date1 = new DateTime(2014, 9, 8, 0, 0, 0);
DateTime date2 = date1.AddSeconds(tiempo);
```

Así como el número total de muestras tomadas y el número de señales que tiene el archivo y sus nombres:

```
for (int i = 0; i < signals.Count; i++)
{
    textBox1.Text += " -> Señal " + (i + 1) + ": " + signals[i].Description
    + Environment.NewLine;
}
```

Y finalmente, se llama al método que pintan todos los gráficos en forma de cuadrícula (GenerateGraphics) y al que crea el menú dinámico con las señales que tenemos (CreateMenuSignals).

CreateMenuSignals:

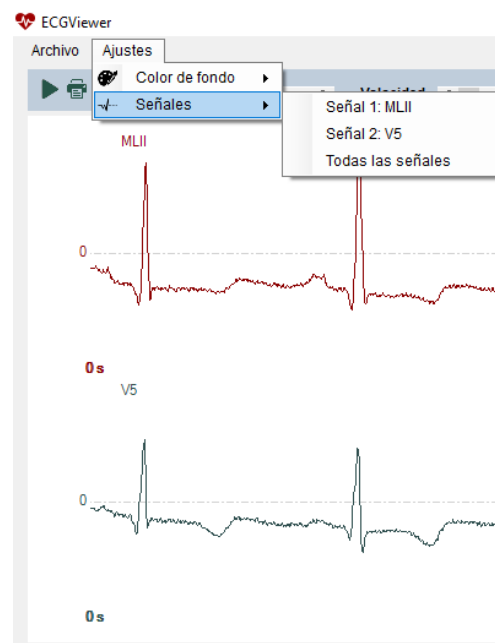


Imagen 23: Ajustes señales

Este método se usa para la creación del menú dinámico en función a las señales que tenga nuestro archivo, para de este modo poder seleccionar una y verla en todo el espacio de la pantalla y con más detalle. Cada elemento del menú desplegable que se crea lleva como nombre “Señal i:” (siendo i un número, empezando por el 1 hasta el número de señales que tenga el archivo) más el nombre de cada una de las señales que tiene el fichero, por lo que de esta forma es más sencillo poder determinar cuál queremos seleccionar. La idea de crear un menú dinámico es para que la aplicación se adapte a cada caso particular.

Además de todas las señales individualmente, tenemos una opción de “Todas las señales” que nos permitirá volver a la visión global de todos los gráficos tras haber maximizado uno de ellos, pudiendo así realizar un análisis más genérico y a conciencia de la prueba ya que nos permite

comparar todas las señales gracias a una visión más amplia de la situación que podrá ayudarnos a obtener conclusiones o realizar un diagnóstico.

```
private void CreateMenuSignals()
{
    List<Signal> signals = recordFile.Signals.ToList();
    for (int i = 0; i < signals.Count; i++)
    {
        ToolStripItem newDropDownItem = new ToolStripMenuItem();
        newDropDownItem.Text = ("Señal " + (i+1) + ": " + signals[i].Description);
        newDropDownItem.Tag = (signals[i].Description);
        signalsToolStripMenuItem.DropDownItems.Add(newDropDownItem);
    }
}
```

GenerateGraphics: Este método se usa para generar las gráficas.

Aquí en primer lugar se limpian todos los datos anteriores:

```
display.DataSources.Clear();
```

A continuación, se determinan el número de muestras y de gráficos a pintar, además del número de señales siendo estos datos que me proporciona el fichero y que obtengo gracias a las funciones de la librería WFDB:

```
display.SetDisplayRangeX(0, (float)recordFile.SamplingFrequency.Value*2);
NumGraphs = recordFile.Signals.Count();
var signals = recordFile.Signals.ToList();
```

Para cada una de las señales, la ponemos su nombre en la parte superior izquierda de cada una, la etiqueta del eje de las X, establecemos que se dibuje en forma TILES_VER (Tiled vertically), que significa que las ondas se van a representar en forma de mosaico y con alineación vertical, establecemos la longitud total de la onda, y que oscile entre -1 y 1 en el eje Y, y llamamos a CreateWave para pintar la onda:

```
for (int i = 0; i < signals.Count; i++)
{
    var ds = new DataSource();
    ds.Name = signals[i].Description;
    ds.OnRenderXAxisLabel += RenderXLabel;
    display.PanelLayout = PlotterGraphPaneEx.LayoutMode.TILES_VER;
    ds.Length = signals[i].ToList().Count;
    ds.SetDisplayRangeY(-1, 1);
    CreateWave(ds, i, signals[i].ToList());
    display.DataSources.Add(ds);
}
```

Finalmente se llama al método que aplica el color al fondo:

```
ApplyColorSchema();
```

CreateWave: Este método se usa para pintar las ondas con sus valores. Lo primero que hago es calcular el valor del periodo de la onda y luego para cada muestra, se establecen los valores de la X y la Y.

```
protected void CreateWave(DataSource src, int idx, List<Sample> samples)
{
    double periodo = 1 / recordFile.SamplingFrequency.Value;
    for (int i = 0; i < samples.Count; i++)
    {
        src.Samples[i].x = ((float)recordFile.SamplingFrequency.Value / 3) * (i *
            (float)periodo);
        src.Samples[i].y = (float)samples[i].ToPhys();
    }
}
```

signalsToolStripMenuItem_DropDownItemClicked:



Imagen 24: Señal seleccionada

Este método se usa para pintar la gráfica que hemos seleccionado en el menú dinámico previamente creado

Para cada señal, si la etiqueta del elemento clicado es igual al nombre de descripción de una de las señales:

```
else if ((string)e.ClickedItem.Tag == signals[i].Description)
```

Entonces esta se dibujará, para ello el método es como el de pintar todas las ondas, pero dibujando un solo gráfico.

En el momento que queramos ver todas las señales de nuevo por pantalla, clicaremos en la etiqueta “Todas las señales”:

```
if ((string)e.ClickedItem.Text == "Todas las señales")
```

Este botón también es generado con el menú dinámico.

Una vez cargado el archivo y ya con las ondas dibujadas, aparece un pequeño menú debajo del menú principal que nos permite ver la onda en movimiento, desplazarnos por ella o customizarla.



Imagen 25: Menú

Este menú, consta de un botón de play / pausa que la pone en funcionamiento o la para según deseemos, así mismo tiene dos sliders, uno de posición y otro de velocidad, el primero de ellos nos permite movernos por la gráfica libremente, y el segundo nos permite aumentar la velocidad en que esta se mueve cuando hemos pulsado el play.

Además de estos tenemos un botón de imprimir que nos permite imprimir el trozo de onda que en ese momento visualizamos en la pantalla. En la ventana que se nos abre, podemos elegir la impresora, el tamaño del papel, la orientación de este (vertical u horizontal), y si queremos que aparezca escalado, sin escalar o con el mejor ajuste a la hoja.

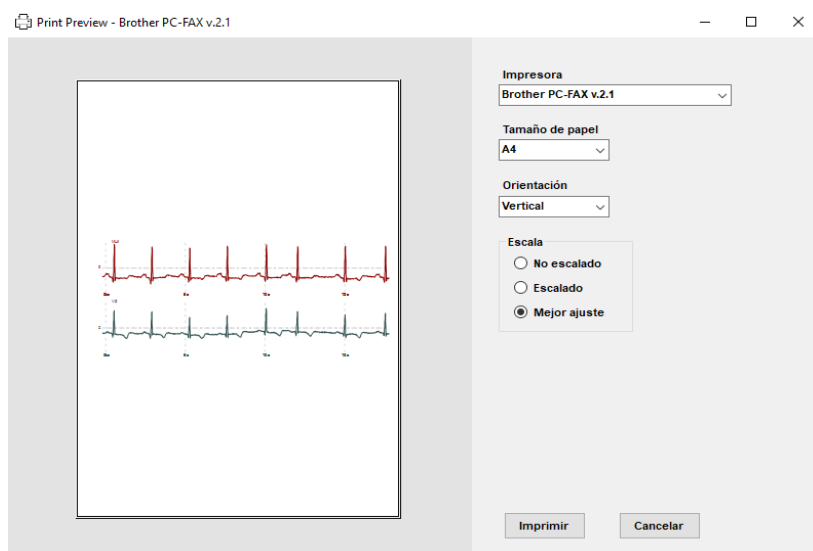


Imagen 26: Impresión

En este mismo menú tenemos “Opciones avanzadas”, este es un submenú que al clicarlo se nos abre en forma de ventana pop up (ventana emergente).

Forma parte de la librería GraphLib, no obstante, lo he adaptado a las necesidades de la aplicación, ya que, en un principio para poder visualizarlo, era necesario hacer click con el botón derecho del ratón sobre la onda, siendo de esta forma menos intuitivo y práctico, partiendo de la base de que en ocasiones el colectivo al que está destinada esta aplicación posee pocos conocimientos informáticos, y ahora como se observa a pasado a ser un botón más del menú secundario, y solo visible una vez se ha cargado el archivo, deshabilitando el click del botón derecho del ratón evitando posibles confusiones si se diese el caso de que fuese pulsado por error.

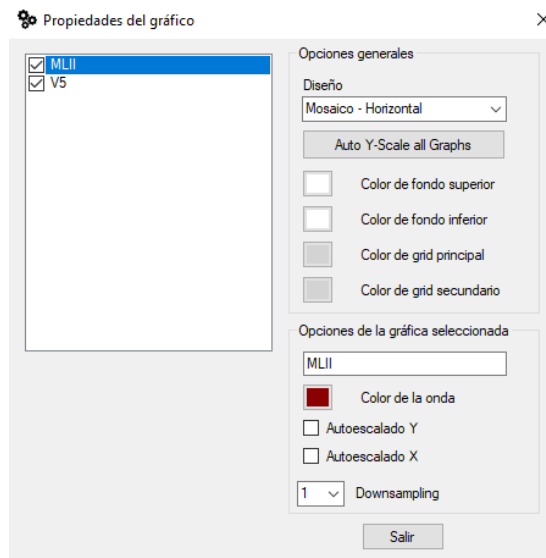


Imagen 27: Opciones avanzadas

El método que he creado para esto, lo he incluido en uno de los archivos de la librería GraphLib, PlotterGraphEx.cs, modificando con esto la librería original, y es el que sigue, y en él, a través del botón creado accedemos a nuestra ventana de propiedades (GraphPropertiesForm):

```
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    PlotterGraphSelectCurvesForm GraphPropertiesForm = null;
    if (GraphPropertiesForm == null)
    {
        GraphPropertiesForm = new PlotterGraphSelectCurvesForm();
    }
    GraphPropertiesForm.GraphPanel = this.gPane;
    GraphPropertiesForm.Show();
}
```

Para que este botón, al igual que los anteriores explicados a excepción del de imprimir estén inicialmente ocultos, tenemos en el propio archivo PlotterGraphEx dos pequeños métodos que cambian su estado de visible a invisible. Aquí a los ya existentes hemos agregado nuestro button1

```
private void SetPlayPanelVisible()
{
    panell.Visible = true;
    tbl.Buttons[0].Visible = true;
    tbl.Buttons[1].Visible = true;
    button1.Visible = true;
}

private void SetPlayPanelInvisible()
{
    panell.Visible = false;
    tbl.Buttons[0].Visible = false;
    tbl.Buttons[1].Visible = false;
    button1.Visible = false;
}
```

5. Conclusiones

5.1 Conclusiones del proyecto

Después de investigar al inicio del proyecto, se llega a la conclusión de que aún queda mucho por desarrollar en el campo de la informática médica. Sin ir más lejos, no existen aplicaciones que de una manera más elaborada/profesional lleven a cabo lo desarrollado en ECG Viewer, siendo esta una aplicación básica y sencilla con opción a mejoras.

Las dificultades encontradas, han sido debidas todas ellas a las librerías utilizadas, y han supuesto no poder cumplir con los pensamientos iniciales de hacer una aplicación multiplataforma. No obstante, como ya se ha comentado, es una mejora futura y no queda descartada, pero implica cambios en una librería tediosa, WFDB, y con muchas funciones muy específicas para la decodificación de datos, lo que conllevará tiempo y mucha investigación.

Es un campo con mucha posible evolución para la cual necesita una gran inversión, tanto a nivel de software como de hardware, pero que merece la pena.

5.2 Conclusiones personales

Una de las conclusiones principales que saco a nivel personal tras hacer este proyecto, es que, a pesar de los avances en los últimos años para unir informática y medicina, aún queda mucho camino por recorrer, ya que como he mencionado en varias ocasiones a lo largo de la memoria, y bajo mi punto de vista, es muy necesario que ambas ramas se unan para facilitar todavía más el trabajo de quienes cuidan de nosotros, además de nuestra propia comodidad.

Sobre la realización del proyecto, destacaría varias fases que han sido de importancia en la toma de las distintas decisiones durante todo el tiempo de desarrollo.

En una primera fase de investigación me empapé de información referida a los electrocardiogramas y a las librerías que podían usarse para interpretar los datos de estos, datos cifrados. Fue entonces cuando decidí usar WFDB (gracias a que tenía guías de ayuda disponibles) para cargar los archivos y decodificar y usar sus datos, todo ello en Xamarin, ya que me idea inicial era hacer una aplicación multiplataforma.

Comencé a programar en Visual Studio en macOS, diseñando una primera interfaz muy básica en la que poder empezar a cargar datos y mas adelante pintar, y fue aquí, cuando al desarrollar la parte de apertura del archivo empecé a tener problemas con esta librería, por incompatibilidades con las rutas, que implicaban modificarla. Hasta este momento además de WFDB la idea era usar también la librería SkiaSharp para dibujar los gráficos, pero al tener este fallo, decidí sacrificar la parte de multiplataforma (siendo una mejora futura) y migré todo el proyecto a Windows, lo que implicaba dejar de lado Xamarin y por tanto SkiaSharp, ya que esta es un paquete de Xamarin.

De nuevo busqué otra librería para dibujar las ondas, entonces encontré GraphLib, algo más sencilla que la anterior, y más fácil de entender, por lo que si era necesario modificarla no iba a resultar tan complicado. Por tanto, la aplicación ha resultado para Windows, con las librerías WFDB que en este caso no da error, y con GraphLib.

En el diseño de la interfaz se han tenido en cuenta varios factores, el primero de ellos es que es una aplicación destinada a personal sanitario, no experto en el uso de las tecnologías, por lo que tenía que ser sencilla e intuitiva de usar para así cumplir el objetivo de ayudar con eficacia, y no suponiendo una dificultad añadida a la hora de diagnosticar.

Otro de estos factores, es que he tenido en cuenta que entre todas las personas que usen la aplicación puede darse el caso de que alguna de ellas tenga algún problema visual de daltonismo, que les pueda dificultar ver los resultados por los colores, por lo que he adaptado en uno de los menús principales, tres opciones en las que las ondas tienen colores predeterminados que estas personas distinguen con facilidad.

A lo largo del desarrollo me he encontrado con problemas, como los que he comentado, que he podido sortear, sin embargo hay otros que no dependen tanto de mí y del desarrollo, sino de las máquinas usadas para ejecutar la aplicación, como es el caso de la potencia de las mismas, ya que como he hablado en la memoria, la gran mayoría de los archivos de los que dispongo para hacer pruebas tienen gran peso por la cantidad de datos que poseen y proporcionan y es por tanto necesario un ordenador potente para poder probarlos, de lo contrario, como es mi caso, el ordenador se queda colgado a mitad del proceso y no llega a cargar ningún dato. Para resolver este problema es necesario un ordenador con un mínimo de 32 o 64 GB de RAM, algo de lo que no dispongo. Además de esto, también sería necesario el uso del doble buffer para poder evitar así el parpadeo de la onda en movimiento, como comento en el siguiente apartado, y que lo considero como una de las posibles mejoras futuras.

Además de estos problemas de hardware, a nivel de software, se podrían optimizar ambas librerías para que tuvieran más funciones y más específicas, no obstante, al no ser ese el objetivo inicial de mi proyecto, apenas he modificado algunas de las funciones de GraphLib (más sencilla) para personalizar más la interfaz.



Imagen 28: Prototipo

Como conclusión, y como he dicho al principio, puedo destacar que, aunque se trata de dos campos muy diferentes, medicina e informática pueden ir de la mano, y en un futuro deben ir cada día más unidos, ya que un buen uso y desarrollo de las mismas se verá reflejado tanto en la detección y prevención como en el tratamiento de enfermedades, y por tanto en la mejora de la calidad de vida de cada uno de nosotros. Para todo ello no hay que olvidar que deben ser herramientas sencillas e intuitivas de usar para facilitar el trabajo de los profesionales, y no suponerles una dificultad añadida.

5.3 Mejoras futuras

5.3.1 Doble buffer

Uno de los principales problemas que surgen en la visualización cuando clicamos el botón de play, es el continuo parpadeo de las gráficas al desplazarse. Esto es debido a la ausencia de un doble buffer en los formularios y los controles.

El doble buffer permite realizar la gráfica en una imagen invisible que es diferente a la que se está visualizando en ese momento en la pantalla, y esta pasa a ser visible una vez está dibujada completa, lo que hace que se vea de manera instantánea y por consiguiente se consigue evitar el parpadeo.

Para la generación del segundo buffer hay que crear un objeto de la clase Image que debe ser del mismo tamaño de la imagen que se está visualizando y genera un objeto de la clase Graphics que permite dibujar sobre la imagen visible.

De esta manera evitamos el parpadeo que tan molesto es. [28]

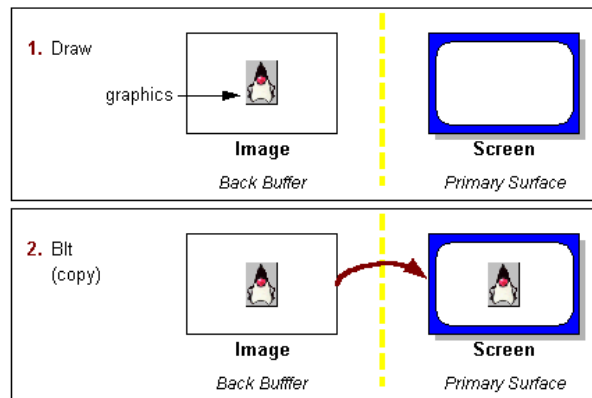


Imagen 29: Doble buffer

5.3.2 Multiplataforma

Como ya he comentado anteriormente, mi idea inicial era hacer una aplicación que fuera multiplataforma, pero tras los problemas encontrados, finalmente la aplicación es solo para Windows, por lo que una idea futura es adaptarlo para su uso en Mac y Linux y tener así la capacidad de cubrir más necesidades y un rango más amplio de ordenadores, ya que no todos los centros sanitarios disponen del mismo tipo de ordenadores y sistemas operativos. Además, también sería posible hacerlo con diseño adaptativo de modo que se pudiera usar en móviles y tabletas.

5.3.3 Manual

Una posible opción para añadir más adelante es incluir un manual o guía con todas las posibles cardiopatías que se pueden detectar en un electrocardiograma, de este modo serviría de ayuda al personal sanitario para el diagnóstico en caso de duda, o incluso para estudiantes de medicina o enfermería en prácticas.

5.3.4 Control de acceso

Una mejora para incrementar la seguridad de la aplicación es crear en ella un control de acceso, un login.

De esta forma, solo médicos y/o enfermeros podrían acceder a ella y consultar los resultados de las pruebas, protegiendo de esta manera la privacidad de los pacientes, siguiendo la Ley de Protección de Datos.

A la hora de implementarlo, sería una ventana pop up que al abrir la aplicación se abriría encima de la ventana principal de la aplicación, en ella habría dos campos:

- Uno para rellenar el usuario, que por ejemplo podría ser el email.
- Otro para rellenar la contraseña, que, dado que un mismo ordenador es usado en un hospital o centro de salud por distintos sanitarios, tendría que ser conocida por todos ellos.

Y un botón de aceptar, que en caso de ser correctos las credenciales, daría acceso a la aplicación y a cargar archivos en ella. Y en caso de ser erróneos, lo indicaría con un mensaje y daría la opción de volver a intentarlo, sin permitirnos acceder a la aplicación hasta no estar autenticados de manera correcta.

6. Anexos

6.1 Manual de usuario

Nada más abrir la aplicación nos encontramos con esta pantalla, que inicialmente está en blanco:

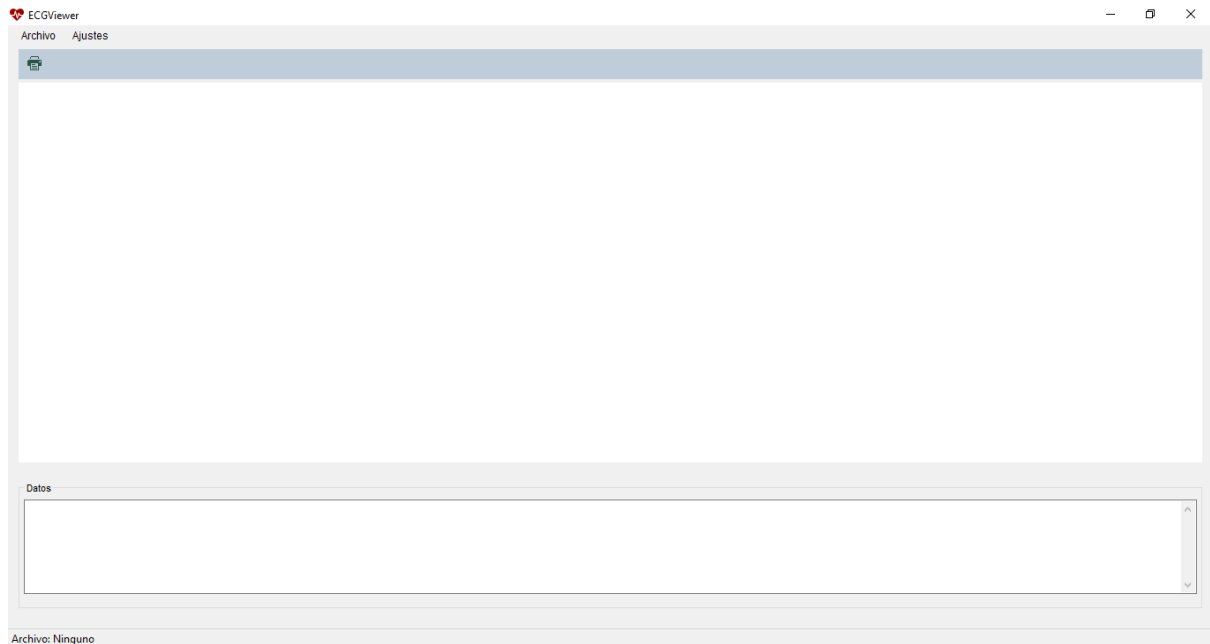


Imagen 30: Manual 1

Para comenzar a visualizar las ondas y datos, debemos hacer seleccionar Archivo -> Cargar archivo, y se nos abrirá una ventana pop up (emergente) con los posibles archivos a cargar, el que elijamos deberá ser un .hea o un .dat:

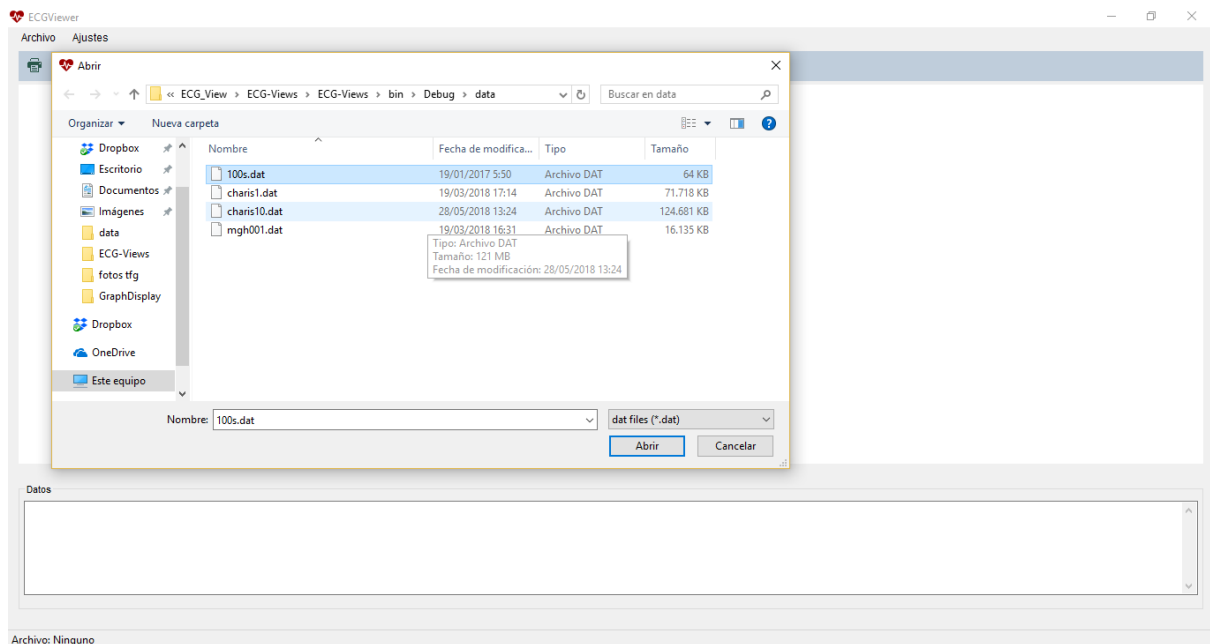


Imagen 31:Manual 2

Una vez cargado el archivo, nos aparecerá una vista general de todas las ondas que este tiene, colocadas en forma de mosaico, además de información sobre el paciente en el textbox (o caja de texto) de abajo:

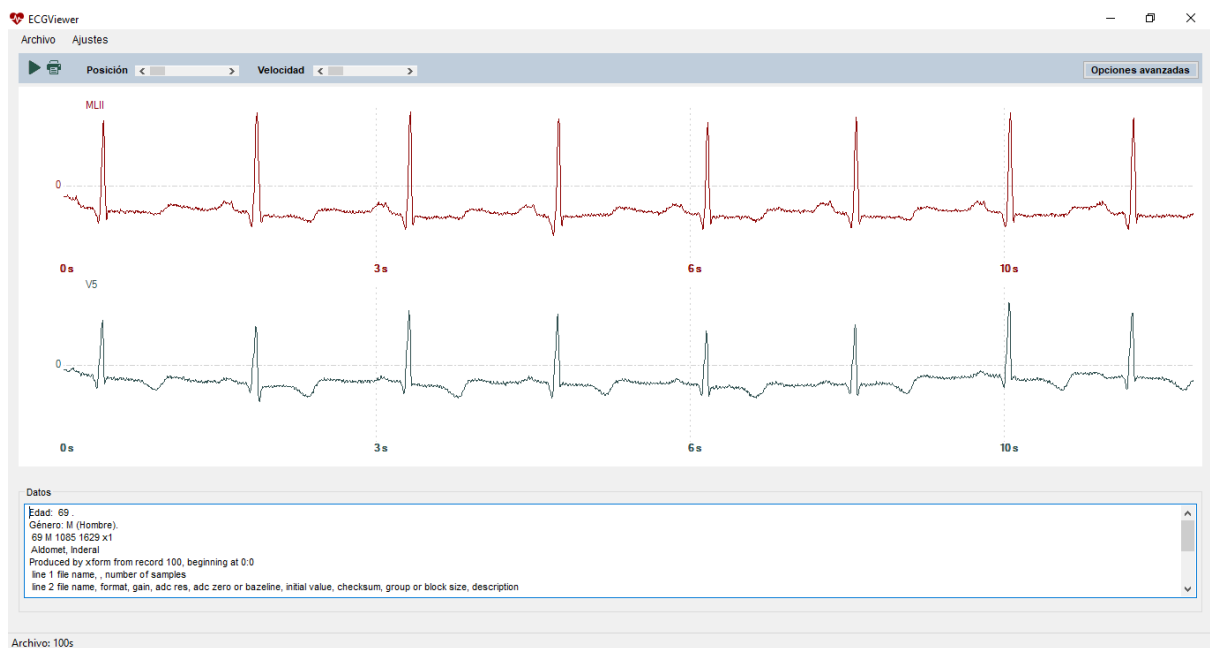


Imagen 32: Manual 3

Con esta pantalla podemos hacer varias cosas, la primera de ellas es pulsar al *play* y ver la onda en movimiento, como si se estuviera haciendo el ECG en ese momento, y para detenerla, podremos seleccionar de nuevo en el mismo botón, que será el de pausa:

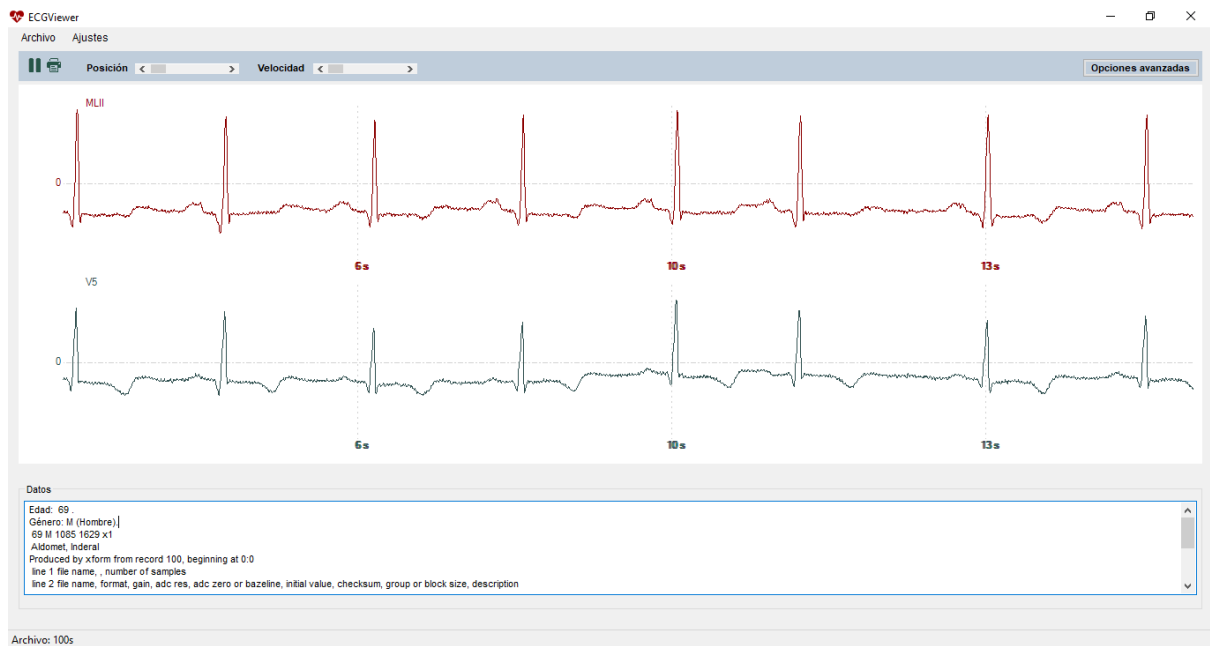


Imagen 33: Manual 4

También podemos variar la velocidad con que se mueve la onda o desplazarnos al momento que queramos de la misma con ambos *sliders*.

El botón de imprimir, al hacer *clic* sobre él, hará que se nos abra una nueva ventana pop up, en la que determinaremos las características de la impresión:

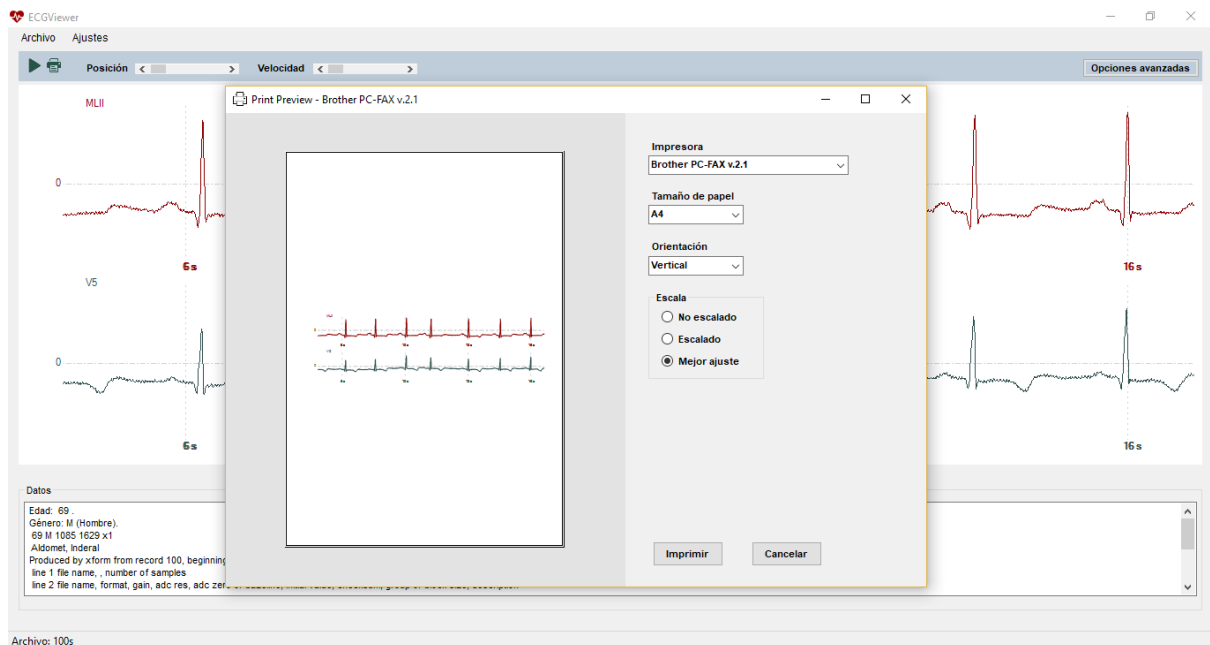


Imagen 34: Manual 5

En el textbox de la parte inferior de la pantalla podremos ver información variada del paciente y del propio ECG, desde la edad y el género (no el nombre y apellidos porque todos los archivos

de este banco de datos son anónimos debido a la Ley de Protección de Datos), el tiempo de la medición, el número de señales, su frecuencia, información de anomalías detectadas...

Además de estos botones, tenemos dos menús en la parte superior:

- Archivo: este menú al desplegarlo, nos da la posibilidad de cargar un nuevo archivo, de la forma mostrada previamente.
- Ajustes: al desplegarlo, este otro menú nos da dos opciones:
 - Elegir el color de fondo (y por tanto de las ondas) de la señal.
 - Elegir una de las señales para visualizarla en grande en toda la pantalla, con una opción de “Todas las señales” para volver a la vista general de todas ellas.

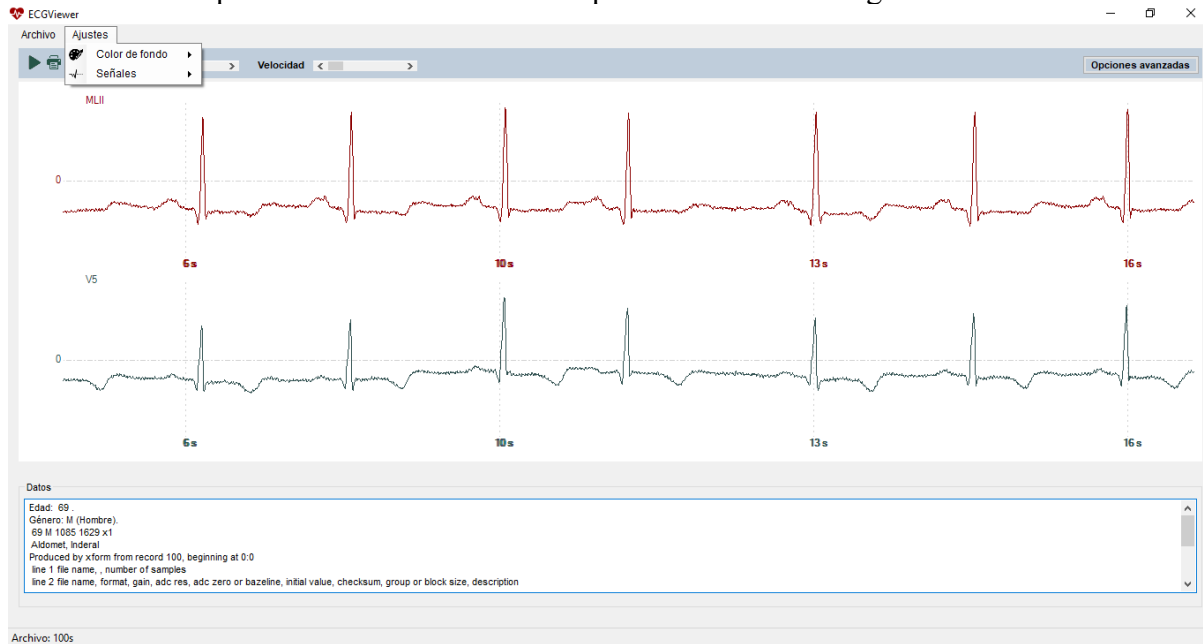


Imagen 35: Manual 6

En el caso de elegir la opción de “Color de fondo”, se nos despliega un submenú con siete opciones, tres de ellas son específicas para personas con distintos tipos de daltonismo, en función a la opción elegida, el fondo de las gráficas será de un color y las ondas de otros. Además, la opción seleccionada, quedará marcada con un *tic*, como se puede observar en la imagen:

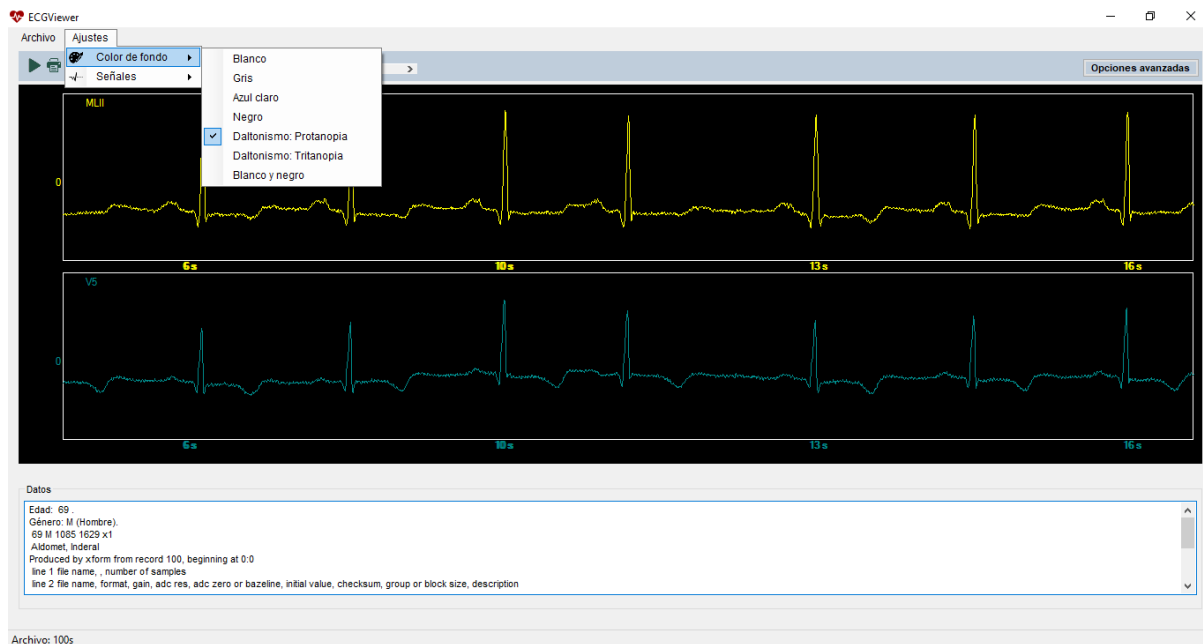


Imagen 36: Manual 7

Si elegimos en el menú la opción de “Señales”, se nos despliega de nuevo un submenú que en este caso es dinámico, es decir, se crea en función al número de señales que tenga el archivo cargado en ese momento, y se mostrará en él el nombre de cada una de esas señales, para que así puedan ser fácilmente identificables, además tendremos siempre la opción de “Todas las señales”, que nos permitirá volver a la vista general de mosaico con todos los gráficos:

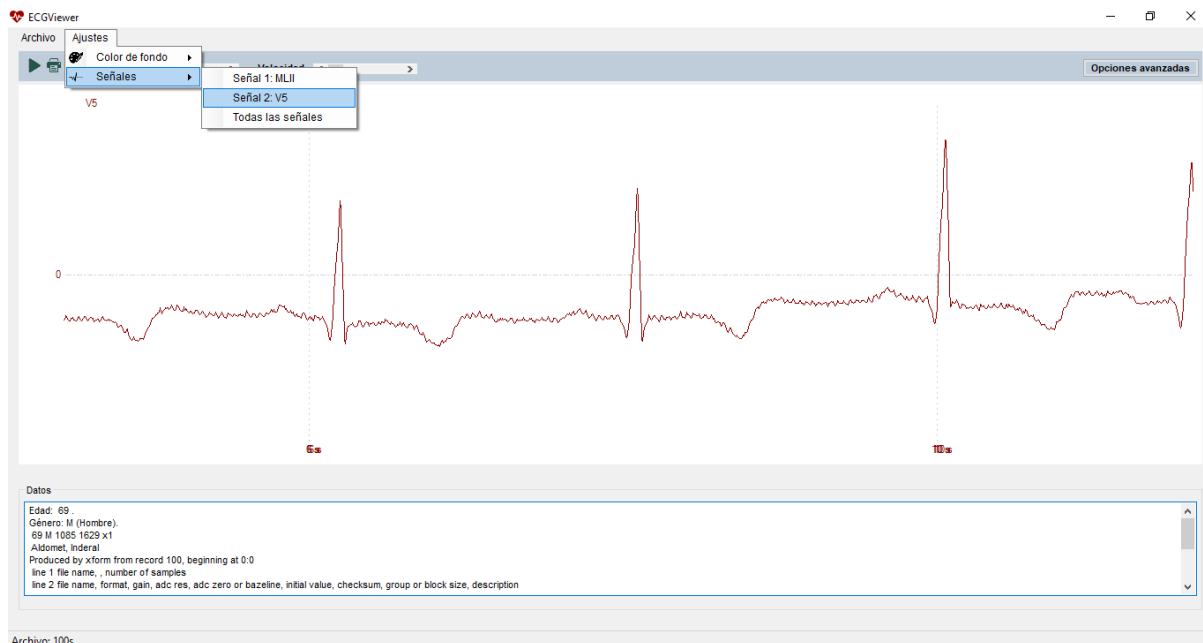


Imagen 37: Manual 8

Y por último a la derecha del todo, tenemos el botón de “Opciones avanzadas”, al clicarlo, este nos abrirá una ventana *pop up* que nos permite configurar las señales, son configuraciones no predeterminadas a diferencia de las que tenemos en el menú superior, ya que aquí podemos

elegir todos los colores de fondo que queramos y de las ondas, además de también escoger el escalado de las mismas.

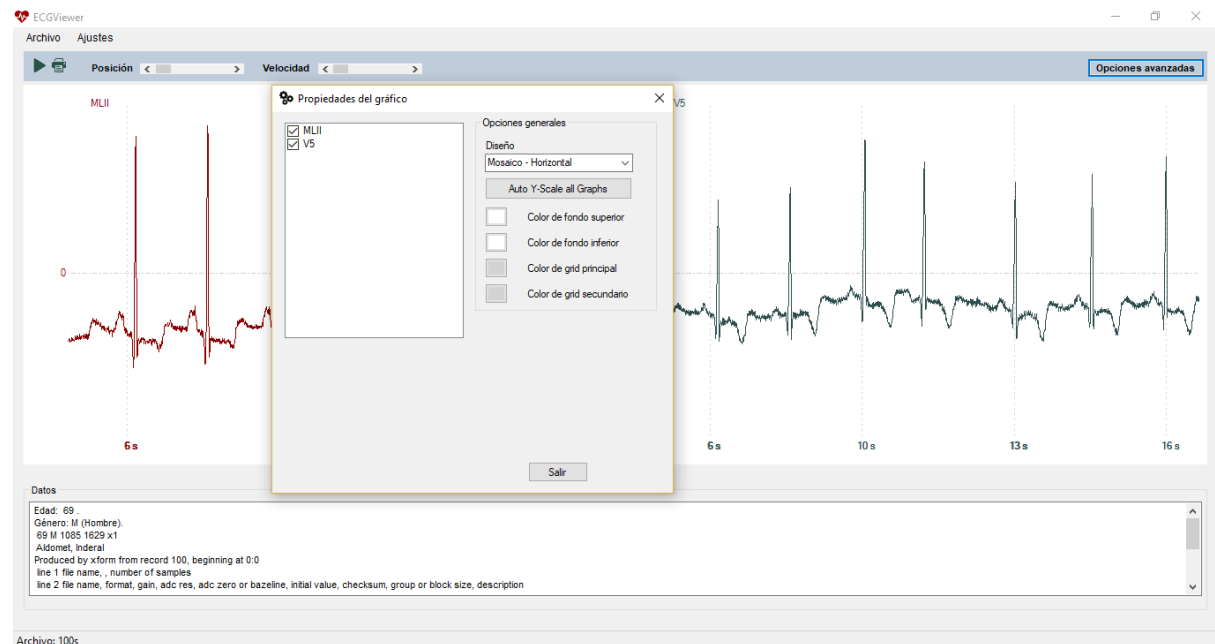


Imagen 38: Manual 9

Según lo clicamos, se nos abren los ajustes generales para todas las ondas, que incluyen los colores de fondo y del grid, y la forma de diseño del mosaico. Además de ver una lista con todas las que tenemos.

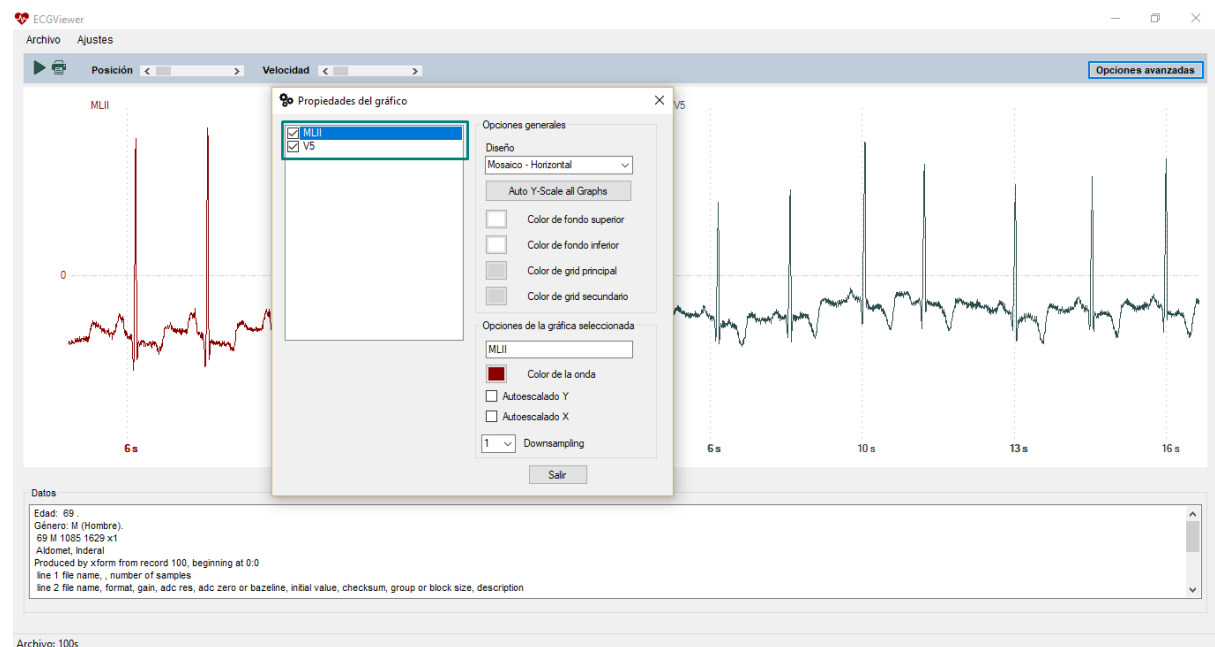


Imagen 39: Manual 10

Una vez clicamos una de las gráficas de esa lista, se nos despliegan más opciones para personalizar esa onda en concreto, aquí ya podremos cambiarle el color a la línea de la gráfica también.

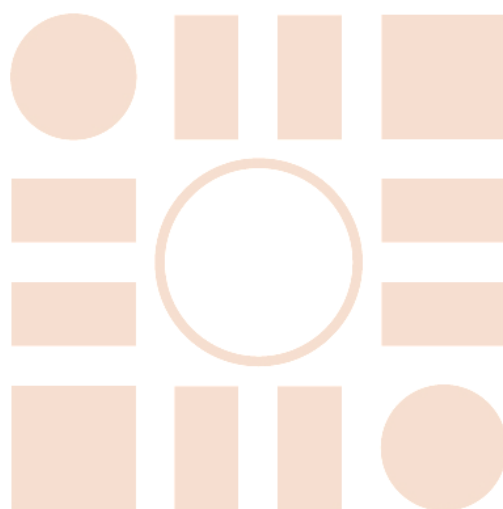
Cuando hayamos acabado de personalizar y visualizar el resultado de las pruebas, simplemente cerraremos la aplicación haciendo clic en la X superior derecha. Al cerrarse la aplicación se borrarán todos los archivos y los datos, de modo que no hay problema de robo de estos.

Bibliografía

- [1] «Informática médica,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Informática_Médica.
- [2] «Sociedad Española de Informática de la Salud (SEIS),» [En línea]. Available: <http://seis.es>.
- [3] «Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_Orgánica_de_Protección_de_Datos_de_Carácter_Personal_%28España%29.
- [4] «BOE,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Bolet%C3%ADn_Oficial_del_Estado.
- [5] «International Medical Informatics Association (IMIA),» [En línea]. Available: <http://imia-medinfo.org/wp/>.
- [6] «Skiasharp,» [En línea]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/xamarin/graphics-games/skiasharp/introduction>.
- [7] «Wifi,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>.
- [8] «Bluetooth,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>.
- [9] «AppTeca,» [En línea]. Available: <http://appteca.es>.
- [10] «ConSalud,» [En línea]. Available: https://www.consalud.es/app-saludable/ecg-camera_18076_102.html.
- [11] «ECG,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Electrocardiograma>.
- [12] «Galvanómetro,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Galvanómetro>.
- [13] «Einthoven y el electrocardiograma,» [En línea]. Available: <https://curaraveces.wordpress.com/2015/11/12/willem-einthoven-y-el-electrocardiografo-de-270-kg/>.
- [14] «Holter,» [En línea]. Available: http://www.medtrad.org/panacea/IndiceGeneral/n15_entremes-Navarro1.pdf.
- [15] «Holter electrocardiográfico,» [En línea]. Available: https://www.enfermeriaencardiologia.com/wp-content/uploads/electro_07.pdf.
- [16] «Ondas cardíacas,» [En línea]. Available: <https://kidshealth.org/es/parents/ekg-esp.html>.

- [17] «Derivaciones ECG,» [En línea]. Available: <http://www.my-ekg.com/generalidades-ekg/derivaciones-cardiacas.html>.
- [18] «Tipos de electrodos,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/skiltt/tipos-de-electrodos>.
- [19] «Tipos ECG,» [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/ekg/about/pac-20384983>.
- [20] «Medidas del sistema cardiovascular,» [En línea]. Available: https://es.slideshare.net/oscar_j_silva/bioseales-10051914.
- [21] «RAING,» [En línea]. Available: <http://diccionario.raing.es/es/lema/bioseñal>.
- [22] «Windows Forms,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Windows_Forms.
- [23] «PhysioBank,» [En línea]. Available: <https://www.physionet.org/physiobank/>.
- [24] «PhysioBank ATM,» [En línea]. Available: <https://www.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>.
- [25] «WFDB Programmer's Guide,» [En línea]. Available: <http://physionet.caregroup.harvard.edu/physiotools/wpg/wpg.pdf>.
- [26] «WFBD Library,» [En línea]. Available: <https://www.physionet.org/physiotools/wfdb.shtml#library>.
- [27] «GraphLib,» [En línea]. Available: <https://www.codeproject.com/Articles/32836/A-simple-C-library-for-graph-plotting>.
- [28] «Doble Buffer,» [En línea]. Available: <http://ayudaparaprogramacion.blogspot.com/2014/04/tecnica-del-doble-buffer.html>.
- [29] «WFDB Wrapper,» [En línea]. Available: <https://archive.codeplex.com/?p=wfdbsharpwrapper>.
- [30] «Sociedad Española de Informática de la Salud (SEIS),» [En línea]. Available: <http://seis.es>.

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá