



Universidad de Valladolid

E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE
TELECOMUNICACIÓN

**ANÁLISIS DE APLICACIONES
MÓVILES PARA EL CONTROL
DEL RITMO CARDÍACO**

AUTOR: JAVIER SALVADOR GARCÍA

TUTORA: ISABEL DE LA TORRE DÍEZ

TÍTULO: Análisis de aplicaciones móviles para el control del ritmo cardíaco

AUTOR: Javier Salvador García

TUTORA: Isabel de la Torre Díez

DEPARTAMENTO: Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática

TRIBUNAL

Presidente: Miguel López-Coronado Sánchez-Fortún

Secretario: Isabel de la Torre Díez

Vocal: Beatriz Sainz de Abajo

Suplente1: Carlos Gómez Peña

Suplente 2: Salvador Dueñas Carazo

FECHA: 09-06-2018

CALIFICACIÓN:

Resumen- Este trabajo fin de grado (TFG) tiene como objetivo realizar un análisis del estado actual de las aplicaciones móviles destinadas al control del ritmo cardíaco.

Para este propósito, se ha hecho un estudio en dos campos. En primer lugar se han revisado las fuentes literarias que versan sobre todo lo relacionado con lo anteriormente expuesto: control del ritmo cardíaco con dispositivos móviles, técnicas de extracción del ritmo cardíaco, algoritmos de procesamiento de la señal para la obtención del ritmo cardíaco, comparativas de aplicaciones comerciales destinadas a tal propósito, comparativas y validez de estas técnicas frente a técnicas tradicionales de medición del ritmo cardíaco, etc.

Una vez establecida la metodología para recopilar todas las publicaciones al respecto, se han tomado en consideración todas aquellas que cumplieran ciertos criterios de búsqueda definidos para posteriormente ser analizados, extraer resultados de nuestro análisis literario y realizar conclusiones al respecto.

En segundo lugar, de igual modo, se ha realizado también una búsqueda de las aplicaciones móviles disponibles para este cometido en las dos principales tiendas de aplicaciones hoy en día, *Google Play* e *iTunes Store*, las cuales hacen referencia a sistemas *Android* e *iOS* respectivamente. También, aunque ya en desuso, se ha incluido el sistema operativo *Windows Phone*.

Una vez recopiladas todas las aplicaciones disponibles, se ha procedido nuevamente a realizar un estudio de lo que ambas tiendas nos ofrecen, enfrentando una con otra, realizando estadísticas y sacando conclusiones al respecto.

Por lo tanto, este trabajo fin de grado nos da una visión del estado actual de un conjunto de aplicaciones dentro de las que se conocen bajo el término de “e-health”, y cómo ha evolucionado en los últimos años. No obstante, nos encontramos ante un sector en auge que se espera que siga expandiéndose rápidamente en los próximos años.

Palabras clave: android, aplicaciones móviles, e-health, fotopleletismografía, ios, ritmo cardíaco.

Abstract- This end of degree work aims to carry out an analysis of the current state of heart-rate control mobile phone applications.

For this purpose, a study into two camps has been done. First we will focus in the literary sources that are related to heart-rate control mobile applications: control of heart-rate with mobile devices, extraction of heart-rate, algorithms of signal processing techniques for the heart-rate obtaining, comparative of commercial applications for these purposes, comparative and validity of these techniques vs traditional techniques of measuring heart rate, etc.

Once established the methodology to collect all publications about this, only those who met certain criteria of search have been taken into consideration to subsequently be analyzed, extracting results from our literary analysis and make some conclusions about it.

Secondly, in the same way, we also perform a search of the mobile applications available for this purpose in the two main app stores today, *Google Play* and *iTunes Store*, which make reference to systems *Android* and *iOS* respectively. Also, despite its current disuse *Windows Phone* has been analysed.

Once we collected all the available applications, we made a study of what both stores offer to us, facing one another, making statistics and drawing conclusions in this regard.

Therefore, this final work gives us a vision of the current state of a set of applications which are known under the term of "e-health", and how it has evolved in recent years. However, we have an industry in boom that is expected to continue expanding rapidly in the coming years.

Key words: android, apps, e-health, heart-rate, ios, photoplethysmogram.

AGRADECIMIENTOS

Tras algunos años, por fin ha llegado el día en el que redactando este apartado dentro de mi Trabajo Fin de Grado, no sólo pongo fin al trabajo, si no que pongo fin a algo mucho más importante, el grado. Con esto queda cerrada una etapa, probablemente la más importante de mi vida, la más bonita, pero sin duda también la más dura.

Si no fuera por el apoyo, la ayuda y la comprensión de todas aquellas personas que me han rodeado estos años ahora mismo yo seguramente no estaría redactando estas palabras. Es por eso que quiero dar las gracias a todas esas personas.

En primer lugar me gustaría agradecer a mis padres el haberme brindado la posibilidad de haber llegado hasta aquí, el apoyo y los sabios consejos durante todos estos años.

En segundo lugar a mi pareja, por todo el apoyo prestado, la compañía en los largos días de estudio, la comprensión y la ayuda a lo largo de estos años, así como su ayuda como médico para comprender conceptos y afecciones cardíacas para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

Como no podía ser de otro modo, también a aquellos que empezaron siendo compañeros de clase y que hoy les puedo llamar amigos. Sin su apoyo en los momentos más duros esto tampoco habría sido posible.

También, me gustaría agradecer a mi tutora Isabel de la Torre Diez la ayuda prestada durante la realización de este Trabajo Fin de Grado. Todas las sugerencias hechas y el brindarme las herramientas necesarias han hecho posible que hoy pueda poner punto y final a mi época como estudiante de grado.

“El mejor modo de predecir el futuro es inventándolo”

Alan Key

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS	15
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.2 EL AUJE DE LA TELEFONÍA MÓVIL A NIVEL MUNDIAL.	18
1.3 EL AUJE DE LA TELEFONÍA MÓVIL A NIVEL NACIONAL.	21
1.4 EL USO DE APLICACIONES MÓVILES A NIVEL MUNDIAL	22
1.5 LA APLICACIÓN EN LA SALUD DE LAS APPS MÓVILES	23
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 EL CORAZÓN	25
2.2 FRECUENCIA CARDÍACA	25
2.3 ELECTROCARDIOGRAMA (ECG)	27
2.4 PRINCIPALES TRANSTORNOS DEL RITMO CARDÍACO	27
TAQUICARDIA	27
BRAQUICARDIAS O BRADIARRITMIAS	27
ARRITMIAS SUPRAVENTRICULARES	28
ARRITMIAS VENTRICULARES	28
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	29
3.1 REVISIÓN DE LA LITERATURA	29
3.2 REVISIÓN DE LAS APLICACIONES MÓVILES	33
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	35
4.1 LITERATURA SOBRE APPS MÓVILES DE CONTROL DEL RITMO CARDÍACO: RESULTADOS	35
4.2 APLICACIONES MÓVILES DE CONTROL DEL RITMO CARDÍACO: RESULTADOS	37
RESULTADOS EN ANDROID	37
RESULTADOS EN IOS	39
RESULTADOS EN WINDOWS PHONE	40
COMPARATIVA DE RESULTADOS	41
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN	44
5.1 TÉCNICAS Y ALGORITMOS PARA LA EXTRACCIÓN DEL RITMO CARDÍACO	44
5.2 TIPOS DE APLICACIONES PARA CONTROL DEL RITMO CARDÍACO	45
5.3 FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LAS APLICACIONES	47
5.4 ARTÍCULOS SOBRE APLICACIONES DE CONTROL DEL RITMO CARDÍACO: CONTRIBUCIONES	48
5.5 ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES APLICACIONES EN LAS TIENDAS	57
5.6 LA IMPORTANCIA DE LOS WEARABLES EN LA M-HEALTH	59

<u>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES</u>	<u>61</u>
6.1 ESTADO DEL ARTE: CONCLUSIONES	61
6.2 APLICACIONES MÓVILES: CONCLUSIONES	62
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>64</u>
<u>ACRÓNIMOS</u>	<u>71</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: PENETRACIÓN DEL MÓVIL A NIVEL MUNDIAL. [4].....	19
FIGURA 2: PORCENTAJE DEL TRÁFICO MÓVIL SOBRE EL GLOBAL POR PAÍSES. [4]	19
FIGURA 3: EVOLUCIÓN DE SMARTPHONES VS MÓVILES EN LOS ÚLTIMOS AÑOS. [4]	20
FIGURA 4: EVOLUCIÓN DE SMARTPHONES VS MÓVILES EN 2014 VS 2018. [4]	21
FIGURA 5: TASA DE PENETRACIÓN DE LOS SISTEMAS OPERATIVOS EN ESPAÑA EN 2015. [4]	22
FIGURA 6: EVOLUCIÓN DE LAS INDUSTRIA MHEALTH. [65]	24
FIGURA 7: REPRESENTACIÓN DEL CORAZÓN. [63].....	25
FIGURA 8: EJEMPLO DE MEDICIÓN DEL PULSO EN LA MUÑECA. [64]	26
FIGURA 9: ECG DE DISTINTAS AFECCIONES CARDÍACAS. [11]	28
FIGURA 10: DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PASOS DADOS EN LA SELECCIÓN DE PUBLICACIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	32
FIGURA 11: HISTOGRAMA DE PUBLICACIONES POR AÑO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	36
FIGURA 12: PORCENTAJE DE CADA CATEGORÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	37
FIGURA 13: CATEGORIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN ANDROID. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	38
FIGURA 14: CATEGORIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN IOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	39
FIGURA 15: CATEGORIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN WP. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	40
FIGURA 16: COMPARACIÓN ABSOLUTA DE APLICACIONES EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	41
FIGURA 17: COMPARACIÓN RELATIVA DE APLICACIONES EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	42
FIGURA 18: COMPARACIÓN ABSOLUTA DE APLICACIONES GRATUITAS VS DE PAGO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	42
FIGURA 19: COMPARACIÓN RELATIVA DE APLICACIONES GRATUITAS VS DE PAGO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	43
FIGURA 20: PROCESO DE CÁLCULO DEL RITMO CARDÍACO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	44
FIGURA 21: MEDICIÓN DEL RITMO CARDÍACO MEDIANTE ACELERÓMETRO. [22]	45
FIGURA 22: TÉCNICA MÁS EXTENDIDA PARA MEDIR EL RITMO CARDÍACO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	46
FIGURA 23: CAPTURA DE PANTALLA DE WHAT'S MY HEART RATE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	46
FIGURA 24: CAPTURAS DE ACCURATE HEART RATE Y GOPHOTON! HEART RATE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	57
FIGURA 25: CAPTURAS DE INSTANT HEART RATE: HR Y CARDIIO: HEART RATE MONITOR. [13]	58
FIGURA 26: CAPTURAS DE INSTANT HEART RATE Y HEART RATE. [14]	58
FIGURA 27: SENSOR DE PULSO EN LA PARTE TRASERA DE UN SMARTWATCH. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	59
FIGURA 28: MEDIDA DEL PULSO REALIZADA CON UN AMAZFIT STRATOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	60
FIGURA 29: REGISTRO DEL PULSO DURANTE UNA ACTIVIDAD DEPORTIVA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	60
FIGURA 30: APLICACIONES GRATIS VS DE PAGO EN ANDROID E IOS. [15].....	62

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PULSACIONES NORMALES EN REPOSO EN MUJERES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	26
TABLA 2: PULSACIONES NORMALES EN REPOSO EN HOMBRES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	26
TABLA 3: PUBLICACIONES POR AÑO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	35
TABLA 4: CATEGORIZACIÓN DE LAS PUBLICACIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	36
TABLA 5: CATEGORIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN ANDROID. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	38
TABLA 6: CATEGORIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN IOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	39
TABLA 7: CATEGORIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN WP. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	40
TABLA 8: COMPARACIONES DE MEDIDAS PPG vs ECG. [24]	47
TABLA 9: COMPARATIVA DE MSE. [23].....	48
TABLA 10: PRINCIPALES CONTRIBUCIONES DE CADA ARTÍCULO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA..	56

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En una sociedad globalizada e industrializada como la que vivimos, el teléfono móvil se ha convertido desde hace ya algunos años, en un compañero inseparable de nuestro día a día. Con la proliferación de dispositivos como los *smartphones* o *tablets*, el acceso a cualquier información en tiempo real, así como la mensajería sin barreras geográficas, se han hecho una realidad tangible.

La rápida implantación de estos dispositivos en nuestra sociedad actual ha permitido la expansión de la telefonía a otros sectores, entre los que se encuentra el sector de la salud. En dicho ámbito, estas herramientas tecnológicas ofrecen soporte sanitario a distintos perfiles de usuarios.

Por una parte, el uso de dispositivos móviles por profesionales de la salud ha supuesto un gran cambio en la concepción de la práctica clínica habitual. Han surgido una gran cantidad de aplicaciones de software médico que proveen al especialista de herramientas útiles en su día a día. Algunos ejemplos incluyen calculadoras médicas, *checklist* diagnósticas, registro de medicamentos, consulta de reacciones adversas, sistemas de almacenamiento de recursos formativos, registros médicos electrónicos, etc. Se trata ya de dispositivos completamente integrados en el día a día asistencial y se prevé que se incorporen de manera aún más importante a toda la práctica clínica a medida que sus usos se amplíen. [1]

Pero la industria tecnológica no solo piensa en los profesionales sanitarios. Dentro del gran volumen de usuarios que no pertenecen a este sector, es el mercado de las aplicaciones el que ha mostrado verdadero auge y expansión. El acceso a herramientas de entrenamiento, control de constantes (peso, tensión arterial, frecuencia cardíaca...) o consulta médica a distancia de forma ilustrativa, fácil y rápida ha abierto el camino a lo que ya hoy en día se define como *eHealth* bajo los lemas de universalidad y ubicuidad. Tal ha sido la proliferación de estas aplicaciones dentro de la sociedad, que incluso la Agencia Americana de Medicamentos (FDA) y la Unión Europea elaboraron en 2013 una guía donde se recogían todas aquellas con mayor índice de fiabilidad [2].

Durante el desarrollo del presente trabajo me centraré en realizar una revisión bibliográfica de las principales publicaciones que abordan el estudio de las “apps” destinadas al control de ritmo cardíaco y lo relacionado con la obtención del mismo, así como un estudio de campo sobre dichas aplicaciones disponibles para los sistemas operativos más extendidos en los dispositivos móviles actuales (*Android*, *iOS* y *Windows Phone*), tratando los datos obtenidos de forma estadística para lograr clasificarlas en función del público al que van destinadas, propósito, modo de funcionamiento y correlación con la práctica médica real.

En definitiva, el mercado de las aplicaciones móviles en el sector de la salud se puede considerar como una de las grandes revoluciones contemporáneas, que va a conseguir transformar en un futuro no muy lejano el concepto de la medicina, permitiendo un acceso a la información rápido y eficaz, eliminando las barreras geográficas y de almacenamiento y empoderando al ciudadano de a pie de una serie de recursos que le permitirán ser el verdadero protagonista de todo lo que tenga que ver con su salud. [3] Para hacernos una

idea del auge que está experimentando el sector de la telefonía a nivel mundial y en el caso particular de España a continuación examinaremos datos de crecimiento.

1.1 OBJETIVOS

Durante el presente Trabajo Fin de Grado se ha pretendido realizar un estudio y análisis de la situación actual de las aplicaciones móviles para el control del ritmo cardíaco.

Este análisis ha sido llevado a cabo en dos niveles:

- Por un lado hemos hecho una revisión del estado actual en cuanto a publicaciones, recopilando y analizando las más relevantes.
- Por otro lado, como no podía ser de otro modo, se ha hecho un análisis de las aplicaciones disponibles en las principales tiendas.

Para realizar esta tarea, en primer lugar se ha introducido cómo están evolucionando las aplicaciones móviles en la sociedad actual y la importancia que están tomando.

Tras esto, se hace necesario presentar un marco teórico dónde se introducen algunos conceptos necesarios para proseguir con el Trabajo.

A continuación se hace necesaria plantear una metodología de trabajo donde quede claro cómo vamos a operar para extraer la máxima información posible para la realización de este estudio.

Obviamente, después, se hace necesario analizar los resultados obtenidos y generar ciertas estadísticas que den cuenta del estado actual.

Tras la obtención de resultados se plantea una discusión, pasando a analizar las principales aportaciones de los mismos.

Por último, se hace necesario plantear unas conclusiones para poner fin a nuestro trabajo.

1.2 EL AUJE DE LA TELEFONÍA MÓVIL A NIVEL MUNDIAL.

En el año 2016, en un informe elaborado por *Ditendria* [4], se nos muestra que durante el año 2015 la penetración de los teléfonos móviles a nivel mundial ascendió al 97%, lo cual se traduce en que prácticamente cualquier persona disponía de un dispositivo móvil.

En este mismo año, el número total estimado de dispositivos móviles a nivel global llegó a la cifra de 7,9 mil millones. Es decir, hay más dispositivos móviles incluso que personas.

En el caso particular de Europa, se estima que de cada 100 habitantes 78 se encuentran en posesión de un *smartphone* y que en solo cuatro regiones del mundo el teléfono móvil tiene una penetración menor del 100%

Penetración del móvil en el mundo

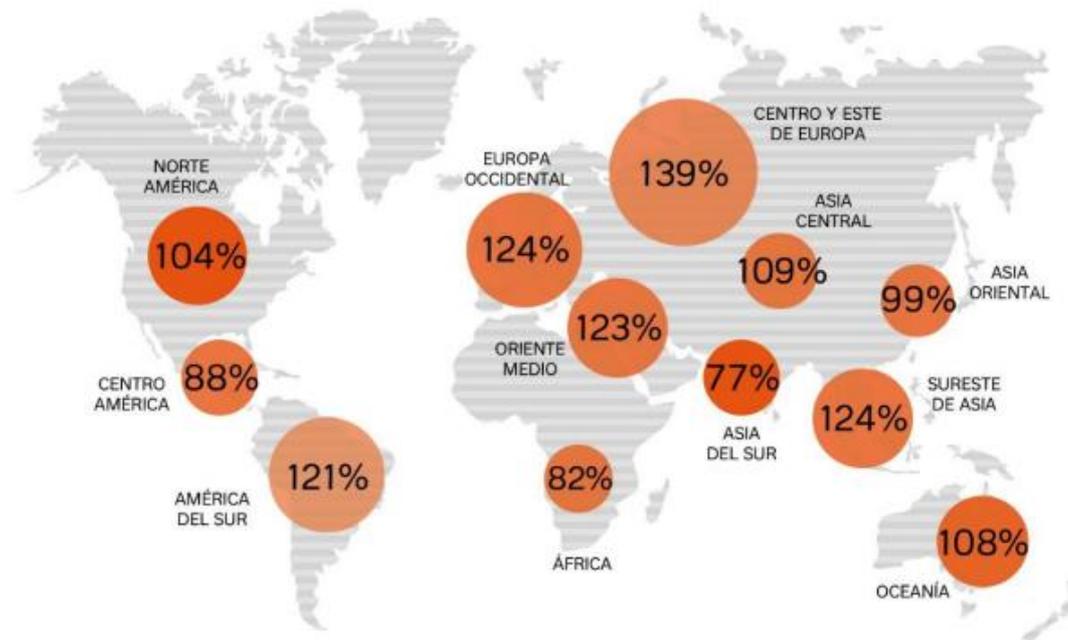


Figura 1: Penetración del móvil a nivel mundial. [4]

Pero a pesar de todo esto, como previsión de futuro se cree que el tráfico móvil global crecerá sobre 8 veces entre 2015 y 2020.

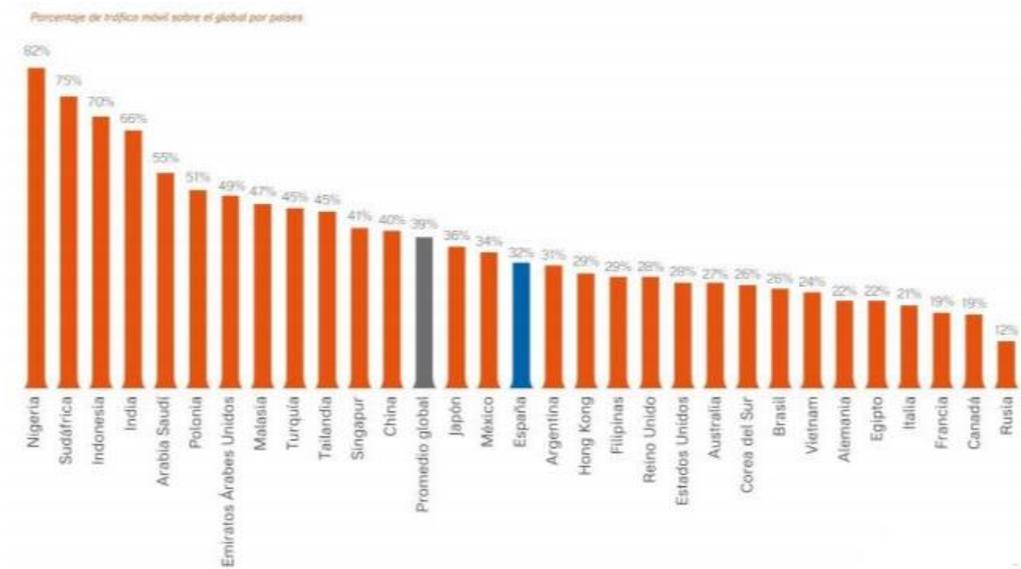


Figura 2: Porcentaje del tráfico móvil sobre el global por países. [4]

Si no tenemos solo en cuenta los “smartphones” si no también las tablets, *wearables* y, en general, cualquier dispositivo, se estima que en 2020 habrá más de 50 mil millones de dispositivos conectados en el mundo.

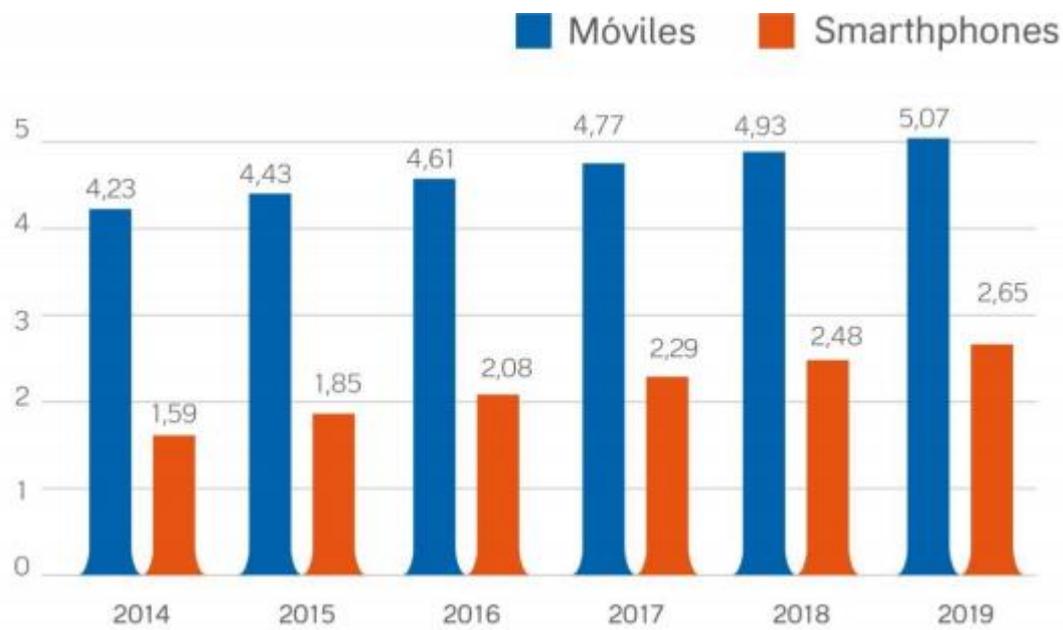


Figura 3: Evolución de Smartphones vs Móviles en los últimos años. [4]

1.3 EL AUGE DE LA TELEFONÍA MÓVIL A NIVEL NACIONAL.

En cuanto a nivel nacional, nos encontramos con que el 87% de los teléfonos móviles son smartphones, lo cual sitúa nuestro país en la primera posición dentro de la Unión Europea.

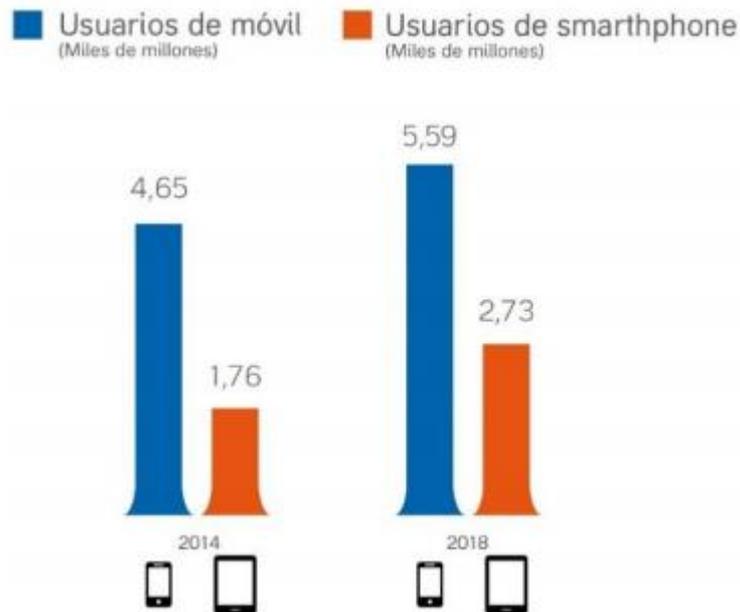


Figura 4: Evolución de Smartphones vs Móviles en 2014 vs 2018. [4]

El 80% de los ciudadanos españoles posee un teléfono móvil inteligente, este dato es mayor incluso que el porcentaje de españoles que posee un ordenador (73%).

La edad a la que la población española se inicia en el uso de las tecnologías móviles es entre los 10 y 14 años en el 98% de los casos. Sin embargo, menores de esta edad también hacen uso de teléfonos móviles de sus padres.

En España, *Android* se encuentra a la cabeza como sistema operativo móvil más usado sacando una gran diferencia al siguiente en cuanto uso, *iOS*, y siendo muy minoritario el uso de *Windows Phone* y *Symbian*.

Tasa de penetración de los sistemas operativos en España en 2015

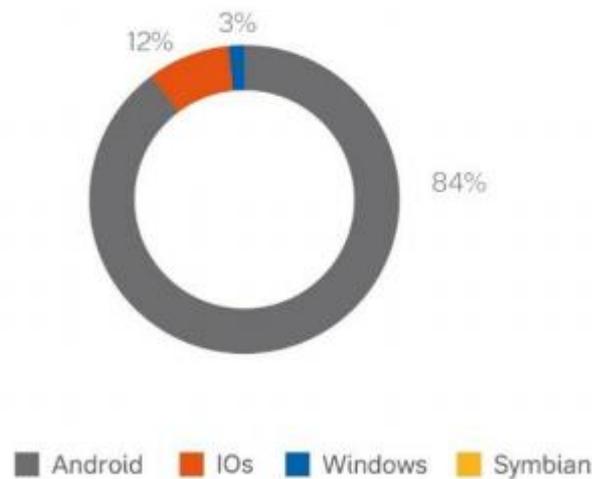


Figura 5: Tasa de penetración de los sistemas operativos en España en 2015. [4]

Como estimación de futuro a nivel nacional, se prevé que en España el tráfico a través de datos móviles se multiplicará por 7 entre 2015 y 2020. Esto se traduce en un crecimiento interanual del 46%.

1.4 EL USO DE APLICACIONES MÓVILES A NIVEL MUNDIAL

El uso de las aplicaciones móviles está experimentando un crecimiento muy rápido, tal es así, que el 54% del tiempo gastado en el mundo digital por los usuarios es haciendo uso de estas aplicaciones.

Por lo cual, cobran gran relevancia las *apps store*, ya que son las encargadas de provisionar y recomendar aplicaciones al usuario. A veces estas aplicaciones pueden ser gratuitas, pero muchas de ellas son de pago. En la sociedad española se estima que el 46% de los usuarios han realizado compras para obtener una aplicación.

El perfil medio de usuario al que van dirigidas las aplicaciones móviles en España es una persona con edad comprendida entre 35 y 34 años, principalmente de Granada, Madrid o Barcelona y que dedica al uso de aplicaciones una media de 3 horas diarias desde su teléfono y 1,4 horas diarias desde su tablet.

1.5 LA APLICACIÓN EN LA SALUD DE LAS APPS MÓVILES

Se conoce como *mHealth* “el uso de móviles y tecnologías inalámbricas que proporcionan soporte a objetivos de la salud” [5].

Este término comenzó a popularizarse en el año 2010 cuyo principal impulsor fue *Robert Istepanian*, llegando a alcanzar gran importancia. Tal es así, que en el año 2017 se estimó por La Comisión Europea que un 50% de los usuarios que disponen de dispositivos móviles harán uso de aplicaciones *mHealth*.

La notoriedad que está alcanzando han hecho que a nivel nacional y europeo ha hecho que ya exista regulación sobre ciertas *apps* de la salud que deben tener consideración de producto sanitario según la Directiva europea 93/42/CE y su correspondiente española RD 1591/2009 en el que se recoge como Producto Sanitario:

“Cualquier instrumento, dispositivo, equipo, programa informático, material u otro artículo, utilizado solo o en combinación, incluidos los programas informáticos destinados por su fabricante a finalidades específicas de diagnóstico y/o terapia y que intervengan en su buen funcionamiento, destinado por el fabricante a ser utilizado en seres humanos con fines de:

- 1º Diagnóstico, prevención, control, tratamiento o alivio de una enfermedad.*
- 2º Diagnóstico, control, tratamiento, alivio o compensación de una lesión o de una deficiencia.*
- 3º Investigación, sustitución o modificación de la anatomía o de un proceso fisiológico.*
- 4º Regulación de la concepción.*

y que no ejerza la acción principal que se desee obtener en el interior o en la superficie del cuerpo por medios farmacológicos, inmunológicos ni metabólicos, pero a cuya función puedan contribuir tales medios.” [66]

Por lo tanto, a la luz de lo anteriormente expuesto, las aplicaciones móviles destinadas a algunas de las funciones anteriores se pueden considerar productos sanitarios.

Dentro del *mHealth* se recogen catorce categorías reconocidas: llamadas a centros de salud, teléfonos de servicios de emergencia gratuitos, gestión de emergencias y desastres, telemedicina móvil, citas y recordatorios, movilización de la comunidad y promoción de la salud, seguimiento del tratamiento, registros del paciente, acceso a la información, monitoreo de pacientes, encuestas de salud y recopilación de datos, vigilancia, salud y sensibilización y sistemas de apoyo a la toma de decisiones.

La industria del *mHealth* ha experimentado en los últimos años un crecimiento casi exponencial, y así se estima que siga siendo durante los próximos años según estima *The Statistics Portal* [65]

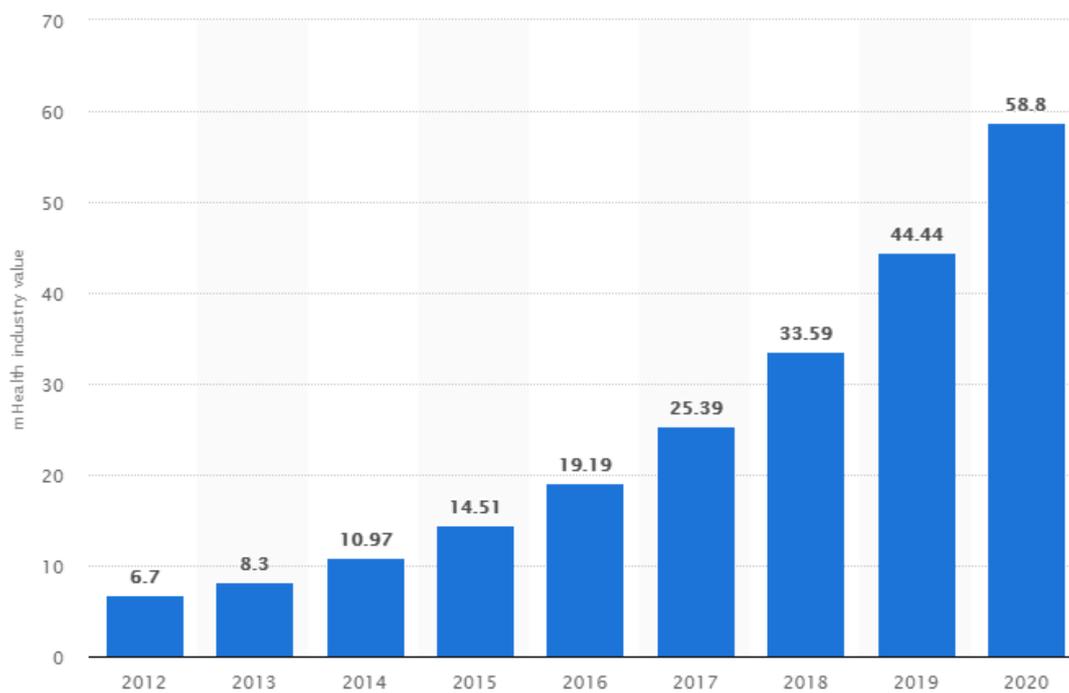


Figura 6: Evolución de las industria mHealth. [65]

Nosotros centraremos nuestro trabajo sobre la categoría de monitoreo, más concretamente sobre aplicaciones de control del ritmo cardíaco.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 EL CORAZÓN

El corazón es un músculo cuyo propósito es bombear sangre a través del cuerpo. Se compone de dos aurículas y dos ventrículos. Estas dos partes trabajan conjuntamente para enviar sangre al cuerpo.

En la parte derecha del corazón se manda sangre sin oxígeno hacia los pulmones, mientras que la parte izquierda del corazón envía la sangre con oxígeno al cuerpo. Este ciclo se repite indefinidamente, la sangre oxigenada sale por las arterias y la sangre sin oxigenar regresa por las venas al corazón.

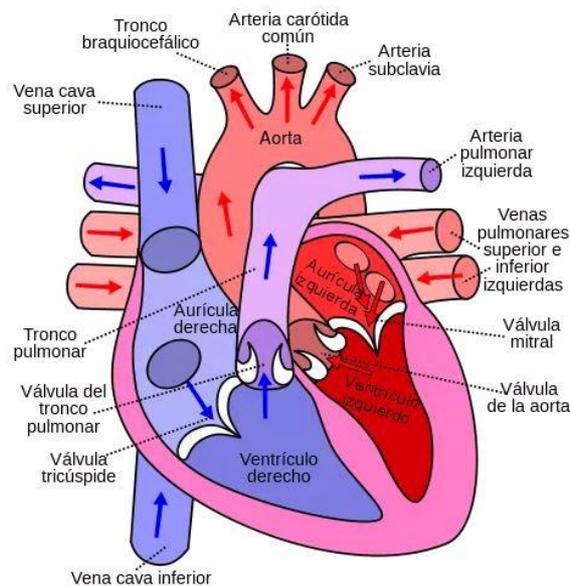


Figura 7: Representación del Corazón. [63]

2.2 FRECUENCIA CARDÍACA

Se conoce como frecuencia cardíaca (o pulso) a la cantidad de veces que late el corazón por minuto y se puede medir en las arterias periféricas. Es uno de los parámetros considerados como signos vitales, junto a la presión arterial, la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria. [6,7]

El pulso puede ser medido fácilmente en las muñecas, el cuello, parte posterior de las rodillas, la sien, etc, aunque cada vez existen dispositivos más innovadores para realizar la medición. [7]

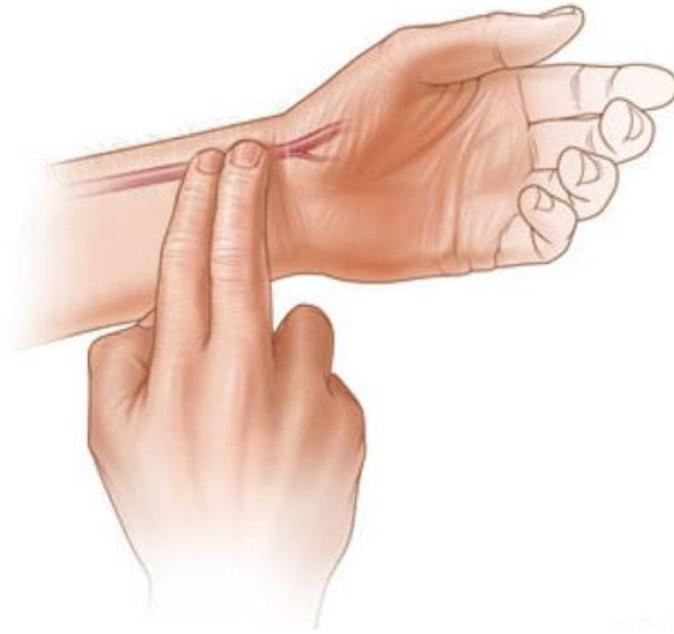


Figura 8: Ejemplo de medición del pulso en la muñeca. [64]

Para calcular la frecuencia cardiaca se suele hacer en reposo, ya que esta es fácilmente alterada por el sueño, el ejercicio, el estrés y otras situaciones.

En las siguientes tablas se recogen los valores de frecuencia cardiaca considerados normales para personas adultas en función del sexo y la edad (siempre teniendo en cuenta situación de reposo). [8]

Para mujeres:

Edad	Inadecuado (PPM)	Normal (PPM)	Bueno (PPM)	Excelente (PPM)
20-29	96 o más	78-94	72-76	70 o menos
30-39	98 o más	80-96	72-78	70 o menos
40-49	100 o más	80-98	74-78	72 o menos
50 o más	104 o más	84-102	76-82	74 o menos

Tabla 1: Pulsaciones normales en reposo en mujeres. Fuente: elaboración propia.

Para hombres:

Edad	Inadecuado (PPM)	Normal (PPM)	Bueno (PPM)	Excelente (PPM)
20-29	86 o más	70-84	62-68	60 o menos
30-39	86 o más	72-84	64-70	62 o menos
40-49	90 o más	74-88	66-72	64 o menos
50 o más	90 o más	76-88	68-74	66 o menos

Tabla 2: Pulsaciones normales en reposo en hombres. Fuente: elaboración propia.

2.3 ELECTROCARDIOGRAMA (ECG)

El electrocardiograma consiste en una prueba diagnóstica con la finalidad de evaluar el ritmo y la función cardíaca registrando la actividad eléctrica del corazón.

Cuando el corazón late es debido a las señales eléctricas que recibe. Esta actividad eléctrica puede ser recogida a través de electrodos que sitúan en la parte anterior del pecho, brazos y piernas pegados a la piel.

Estos impulsos eléctricos mencionados se registran en papel, o bien se representan en una pantalla, en forma de líneas curvas que representan la contracción y relajación de las aurículas y los ventrículos.

2.4 PRINCIPALES TRANSTORNOS DEL RITMO CARDÍACO

Las principales afecciones cardíacas que se dan en la sociedad actual y que pueden afectar al ritmo cardíaco son [9]:

TAQUICARDIA

Se conoce como taquicardia un tipo frecuente de trastornos en el ritmo cardíaco (arritmia), que produce un aumento de las pulsaciones aun en estado de reposo debido a la presencia de erróneas señales eléctricas que aceleran el latido del corazón.

Además durante una taquicardia, el corazón puede latir más rápido en las cavidades superiores, inferiores o en ambas. [10]

BRAQUICARDIAS O BRADIARRITMIAS

Al contrario que la taquicardia, la braquicardia se caracteriza por un descenso de frecuencia cardíaca normal en estado de reposo.

En algunos casos puede suponer un grave problema si el corazón no bombea suficiente sangre rica en oxígeno al organismo, pudiendo llegar a ser necesario un implante de un marcapasos para corregir esta anomalía y que el corazón mantenga un ritmo adecuado. [10]

ARRITMIAS SUPRAVENTRICULARES

Son, como su nombre indican, arritmias (modificaciones del ritmo normal) con frecuencia superiores a 100 ppm, que tienen su origen en las aurículas o en el nodo auriculoventricular. [10]

ARRITMIAS VENTRICULARES

Similares a las anteriormente expuestas, modificaciones del ritmo cardíaco que, en este caso concreto, tienen su origen en los ventrículos. [10]

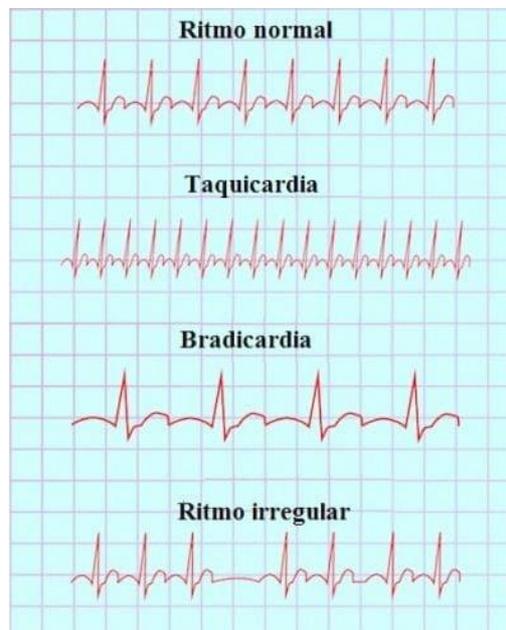


Figura 9: ECG de distintas afecciones cardíacas. [11]

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Tras haber contextualizado y dejado clara la importancia que están tomando las aplicaciones móviles dedicadas al sector de la salud definiremos una metodología de trabajo en la búsqueda de información de este tipo de aplicaciones.

Dos tipos de estudios han sido realizados. En primer lugar, nos centraremos en la literatura disponible sobre aplicaciones móviles de control de ritmo cardiaco. En segundo lugar, pondremos nuestro objetivo sobre las distintas aplicaciones encontradas en las principales tiendas de aplicaciones. Para ello, la metodología seguida se expone a continuación:

3.1 REVISIÓN DE LA LITERATURA

En primer lugar se ha procedido a definir unas fuentes de literatura sobre las que realizar nuestro análisis literario. Las fuentes de literatura sobre las que hemos realizado búsquedas son las siguientes:

- *IEEE Explorer*
- *National Center for Biotechnology Information*
- *Springer*
- *ResearchGate*
- *ScienceDirect*
- *Scopus*

En segundo lugar, se hace necesario plantear qué vamos a buscar para obtener lo que deseamos. Para acceder a toda la literatura disponible, se definieron y usaron sobre los motores de búsqueda anteriormente mencionados, las cadenas de búsqueda mostradas a continuación:

- *“ritmo” AND “cardiaco” AND “app” in ABSTRACT*
- *“heart” AND “rate” AND “app” in ABSTRACT*
- *“heart” AND “rate” AND “app”*
- *“heart” AND “rate” AND “beat” AND “app”*
- *“heart” AND “rate” AND “android”*
- *“heartbeat” AND “rate” AND “android”*
- *“ritmo” AND “cardiaco” AND “app”*

- *“ritmo” AND “cardiaco” AND “android”*
- *“heart” AND “rate” AND “iphone”*
- *“heart” AND “measurement” AND “app”*
- *“heart” AND “measurement” AND “android”*
- *“heart” AND “measurement” AND “iphone”*
- *“heartbeat” AND “measurement” AND “iphone”*
- *“Heart” AND “Rate” AND “detection” AND “app”*
- *“Heart” AND “Rate” AND “iphone” in KEYWORDS*
- *“Heart” AND “Rate” AND “smartphone”*
- *“smartphone” AND “heart” AND “app”*
- *“smartphone” AND “heart” AND “beat”*
- *“cardiac” AND “rhythm” AND “app”*
- *“cardiac” AND “rhythm” AND “android”*
- *“cardiac” AND “rhythm” AND “iphone”*
- *“heartbeat” AND “measurement” AND “iphone”*

En tercer y último lugar, una vez obtenidas todas las publicaciones disponibles sobre el tema tratado, fue necesario establecer unos filtros para quedarnos solo con artículos de interés en cuanto a idioma, contenido y fechas:

- Idioma: El idioma debía ser español o inglés.
- Contenido: Todo documento que no tratara como tema principal la medición de ritmo cardiaco mediante aplicaciones móviles (o dispositivos móviles) fue descartado. Fueron aceptados los que trataban sobre el cómo funcionan estas apps y técnicas y algoritmos para la medición del ritmo cardiaco.
- Fecha de publicación: Con la finalidad de limitar la documentación y hacer un estudio actual todo artículo con fecha de publicación anterior a 2010 fue también descartado. Por lo tanto, se tuvieron en cuenta las publicaciones realizadas entre 2010 y 2018.

Estos criterios de exclusión se deben a:

- En primer lugar limitaciones para comprender otros idiomas que no sean los anteriormente expuesto.

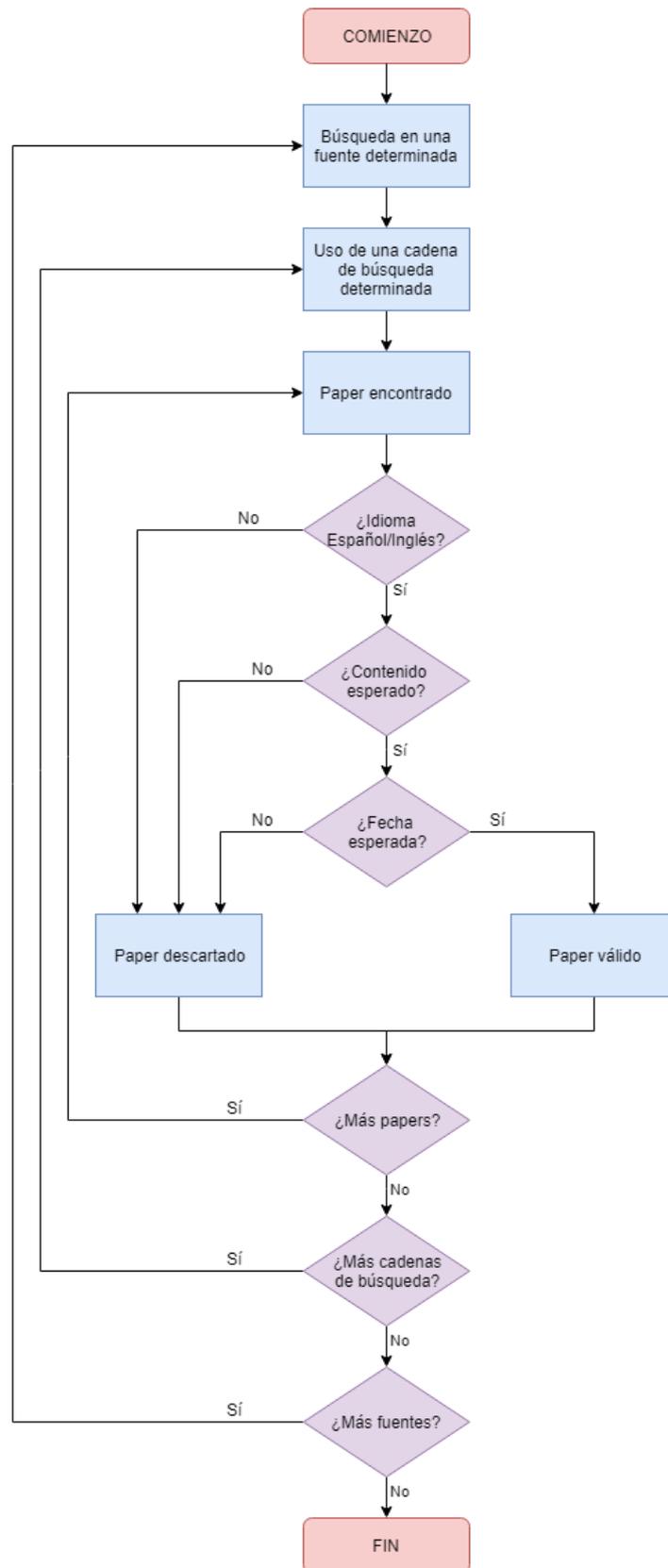
- El contenido, como parece obvio, se debe ajustar a nuestro propósito de estudio, por lo que cualquier contenido que no fuera relevante para nuestro objetivo fue descartado.
- Por último, como se ha expuesto en la introducción (sección 1.5) este sector del *mHealth* empezó a cobrar protagonismo en 2010, es por esto la limitación en cuanto a fecha.

Mediante el siguiente diagrama de flujo queda reflejado el proceso de obtención y validación de la literatura analizada.

Básicamente consiste en seleccionar una fuente de información de entre las que se han expuesto anteriormente, aplicar una cadena de búsqueda de las que hemos definido previamente y ver si los *papers* encontrados cumplen los requisitos arriba expuestos (idioma, contenido y fecha de publicación), en ese caso son almacenados.

Una vez almacenados todos los *papers* que cumplen los requisitos, se procede a realizar una nueva búsqueda con la siguiente cadena definida sobre la misma fuente de información y así sucesivamente.

Una vez finalizada la iteración de todas las cadenas de búsqueda sobre una fuente, se pasa a la siguiente fuente hasta agotar las fuentes de búsqueda. Tras la finalización de este proceso se habría recopilado todas las publicaciones de interés:



**Figura 10: Diagrama de flujo de los pasos dados en la selección de publicaciones.
Fuente: elaboración propia.**

3.2 REVISIÓN DE LAS APLICACIONES MÓVILES

Tras la recopilación y revisión de la literatura disponible sobre aplicaciones móviles de control del ritmo cardiaco tal y como ha sido descrita en la sección anterior se pasó a una revisión de las aplicaciones móviles disponibles para este propósito.

Para ello se tomaron como fuentes de aplicaciones las dos actualmente más populares en sistemas móviles; la tienda de aplicaciones de *Android* (*Google Play Store*) y la tienda de aplicaciones de *iOS* (*iTunes*). Además, aunque minoritario, también se tuvo en cuenta la tienda de aplicaciones de *Windows Phone*. El sistema operativo de móviles *Symbian* fue descartado puesto que, como hemos visto en la introducción, su porcentaje de mercado actual es mínimo, se encuentran en desuso y carecen de relevancia actualmente.

Para recopilar todas las apps disponibles se usó, en primer lugar las *stores* específicas de cada sistema (*GooglePlay* [12], *iTunes* [13] y *Windows Phone* [14]), para, posteriormente realizar una búsqueda más exhaustiva e intensa haciendo uso de una fuente de datos en el caso de *Android* e *iOS*: *42Matters* [15]

La metodología usada para esta segunda parte fue similar a la anterior. Se definieron cadenas de búsqueda para intentar abarcar y recopilar el mayor número de aplicaciones en las tiendas y bases de datos anteriormente mencionadas. Las cadenas usadas fueron:

- *Heart Rate*
- *Heart Rate Measurement*
- *Heart Pulse*
- *Pulso Cardíaco*
- *Medición Pulso*
- *mHealth Heart*
- *Cardiac Pulse*
- *Cardiac Rythm*
- *Pulse*
- *Heart Monitor*
- *Heart Care*
- *Pulse Monitor*
- *Heart-rate Monitor*
- *Ritmo Cardíaco*
- *Monitor Pulso*

- *Cardiograph*

- *Pulse Measurement*

Una vez recopiladas todas las apps encontradas, nos quedamos sólo con las que cumplían los requisitos de idioma, contenido y propósito planteados, de manera similar a la realizada en la búsqueda de literatura.

Cabe destacar que la tienda de *iOS* separa las aplicaciones en función de si son de tablet (*iPad*) o de móvil (*iPhone*), mientras que *GooglePlay* no hace diferenciación. Así pues, en el caso de *iOS* se incluyeron ambos tipos de aplicaciones indistintamente del dispositivo para el que se encuentren realizadas.

También se tuvieron en cuenta todas aquellas apps que hacen uso de dispositivos *wearables* para mediciones del ritmo cardíaco.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Analicemos ahora los resultados de nuestro trabajo de investigación tras haber seguido la metodología anteriormente planteada.

De nuevo, hablaremos primero sobre los resultados obtenidos en cuanto al trabajo de investigación en el marco literario y, a continuación, sobre los resultados obtenidos en lo correspondiente a aplicaciones móviles para el control del ritmo cardíaco:

4.1 LITERATURA SOBRE APPS MÓVILES DE CONTROL DEL RITMO CARDÍACO: RESULTADOS

Tras el proceso de recopilación de *papers* y documentación siguiendo la metodología anteriormente expuesta obtuvimos un total de 40 *papers* que cumplían las condiciones de contenido, idioma y fechas propuestas inicialmente.

Podemos ver la cantidad de *papers*, categorizados por su año de publicación, obtenidos en la siguiente tabla y posterior figura:

Año	Número de publicaciones
2010	2
2011	5
2012	4
2013	6
2014	7
2015	5
2016	5
2017	4
2018	2

Tabla 3: Publicaciones por año. Fuente: elaboración propia.



Figura 11: Histograma de publicaciones por año. Fuente: elaboración propia.

Además, analizando las publicaciones recopiladas es patente que podemos categorizar la literatura obtenida en cuatro grandes grupos de acuerdo con el contenido que se trata en las publicaciones:

Grupo	Número de publicaciones
I – Técnicas de extracción del ritmo cardíaco a través de los sensores del móvil (típicamente cámara o acelerómetro)	12
II – Descripción de sistemas de monitoreo basados en dispositivos móviles	11
III – Comparación y validación de los resultados obtenidos con aplicaciones móviles para el control del ritmo cardíaco	10
IV – Detección de anomalías en la salud mediante mediciones del ritmo cardíaco con el dispositivo móvil	7

Tabla 4: Categorización de las publicaciones. Fuente: elaboración propia.

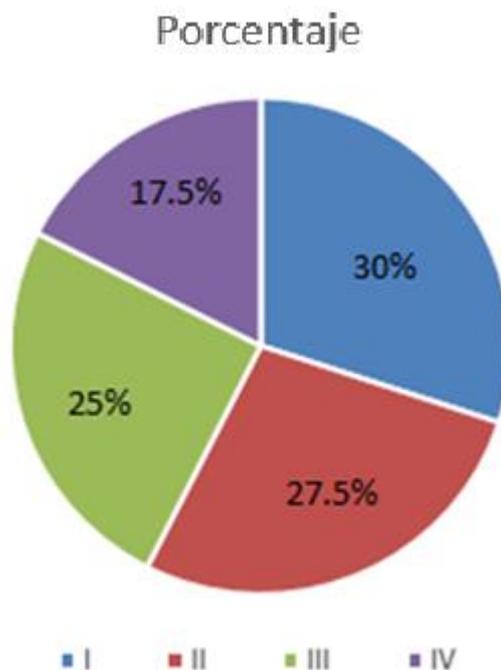


Figura 12: Porcentaje de cada categoría. Fuente: elaboración propia.

4.2 APLICACIONES MÓVILES DE CONTROL DEL RITMO CARDÍACO: RESULTADOS

Tras el proceso de recopilación de aplicaciones móviles, siguiendo la metodología anteriormente expuesta, que cumplieran nuestros requisitos obtuvimos un total de 516 aplicaciones, de las cuales 245 de ellas fueron encontradas en la *Google Play Store* (sistemas *Android*), 155 en *iTunes Store* (sistemas *iOS*) y las 116 restantes en *Windows Phone*.

RESULTADOS EN ANDROID

Analicemos, en primer lugar, las aplicaciones encontradas disponibles para sistemas *Android* en función de la categoría en la que se encuentran incluidas en la *Google Play Store*:

Categoría	Número de aplicaciones
Health & Fitness	152
Entertainment	57
Tools	10
Medical	7
Personalization	5
Sports	5
Lifestyle	2
Video Players & Editors	2
Arcade	1
Casual	1
Simulation	1
Social	1
Libraries & Demo	1

Tabla 5: Categorización de las aplicaciones en Android. Fuente: elaboración propia.

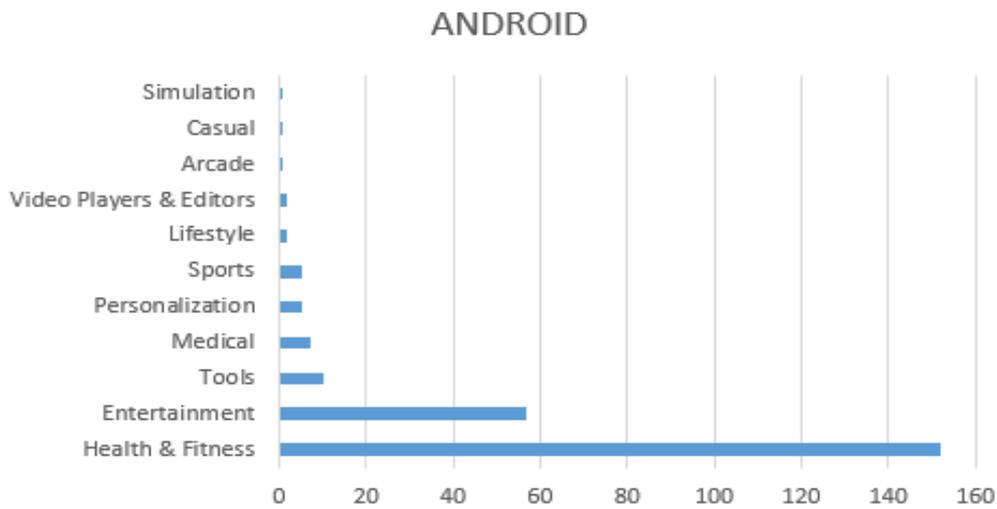


Figura 13: Categorización de las aplicaciones en Android. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al número de aplicaciones gratuitas nos encontramos con que 215 aplicaciones son gratuitas, mientras que las 30 restantes son de pago con un precio que oscila entre 0.99\$ y 9.99\$

RESULTADOS EN IOS

De igual manera, analicemos las aplicaciones disponibles para *iOS* en función de la categoría en la que se encuentran incluidas en su tienda de aplicaciones:

Categoría	Número de aplicaciones
Health & Fitness	140
Medical	52
Utilities	30
Lifestyle	25
Sports	25
Education	8
Entertainment	8
Social Networking	7
Games	4
Simulation	1

Tabla 6: Categorización de las aplicaciones en iOS. Fuente: elaboración propia.

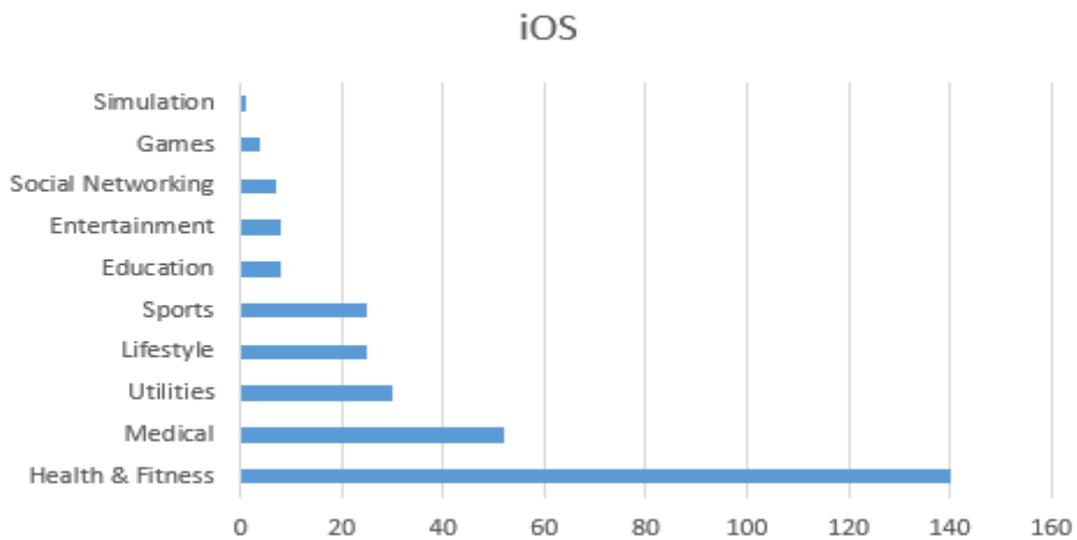


Figura 14: Categorización de las aplicaciones en iOS. Fuente: elaboración propia.

En el caso de *iOS*, nos encontramos con que 100 aplicaciones son gratuitas, mientras que las 55 aplicaciones restantes tienen unos precios comprendidos entre 0.99\$ y 7.99\$

RESULTADOS EN WINDOWS PHONE

Por último, analicemos los resultados de las aplicaciones obtenidas en *Windows Phone* en función de la categoría en la que se encuentran englobadas:

Categoría	Número de aplicaciones
Health & Fitness	78
Entertainment	12
Utilities & tools	7
Sports	6
Musical	3
Travel	2
Medical	1
Business	1
Education	1
Food & Dining	1
Kids & Family	1
Lifestyle	1
Productivity	1
Social	1

Tabla 7: Categorización de las aplicaciones en WP. Fuente: elaboración propia.

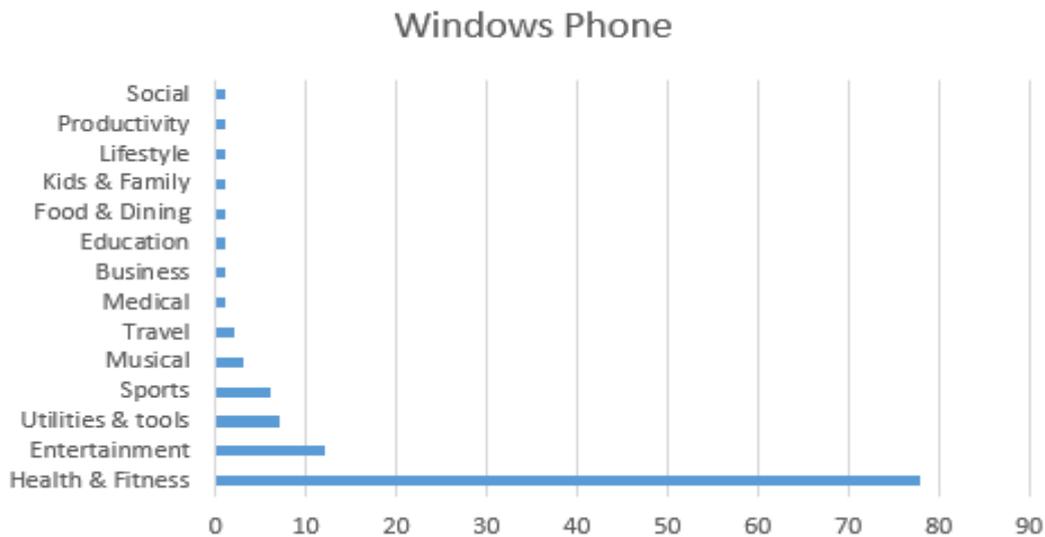


Figura 15: Categorización de las aplicaciones en WP. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al precio de estas aplicaciones nos encontramos con que 82 aplicaciones están disponibles de manera gratuita, mientras que las 24 restantes son de pagos con precios que oscilan entre 0.99\$ y 9.99\$.

COMPARATIVA DE RESULTADOS

Cabe mencionar que en sistemas *iOS* una aplicación puede encontrarse dentro de varias categorías en su tienda de aplicaciones, es por esto que el número total de aplicaciones es menor que la suma de las aplicación es que se encuentran dentro de cada categoría mostrada en la anterior tabla. En el caso de las tiendas de *Android* y *Windows Phone* esto no se produce, cada aplicación solo puede estar contenida en una categoría.

Si comparamos el número (en términos absolutos) de aplicaciones de cada sistema en las principales categorías obtenemos lo siguiente:

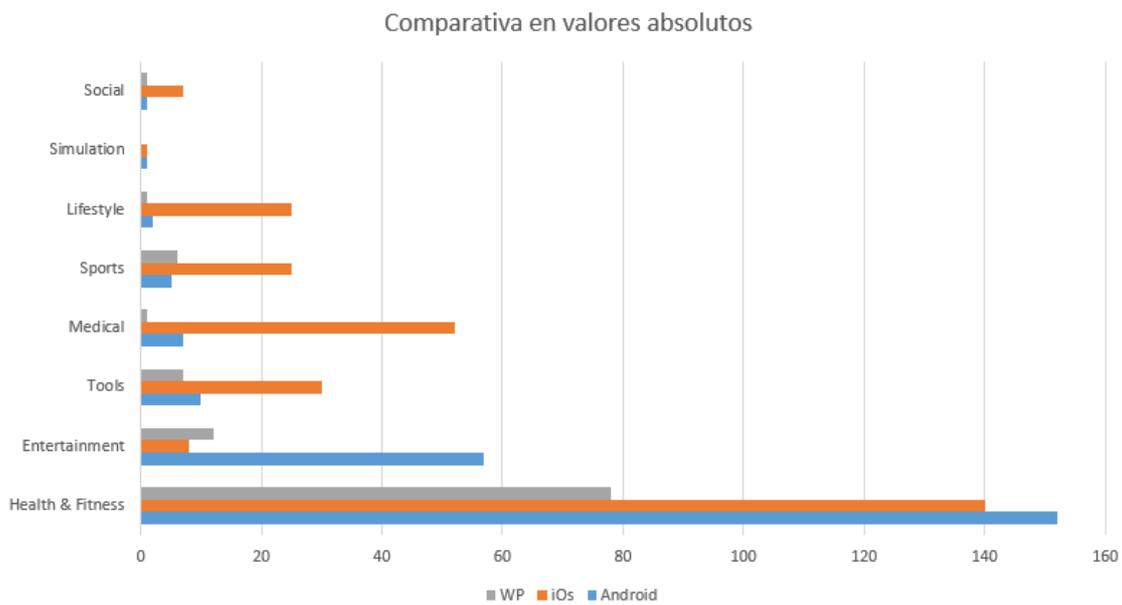


Figura 16: Comparación absoluta de aplicaciones en función de la categoría. Fuente: elaboración propia.

Mientras que si lo hacemos en valores relativos, en función del porcentaje del total por cada categoría, tenemos que:

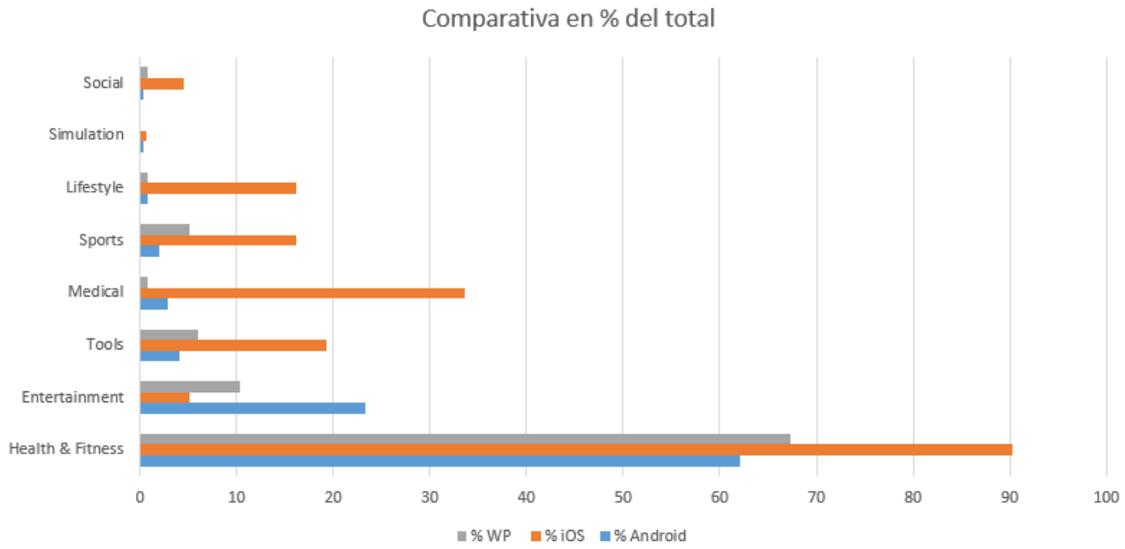


Figura 17: Comparación relativa de aplicaciones en función de la categoría. Fuente: elaboración propia.

También es interesante analizar dentro de las aplicaciones obtenidas cuántas son de pago y cuántas son gratuitas. En términos absolutos obtenemos que:

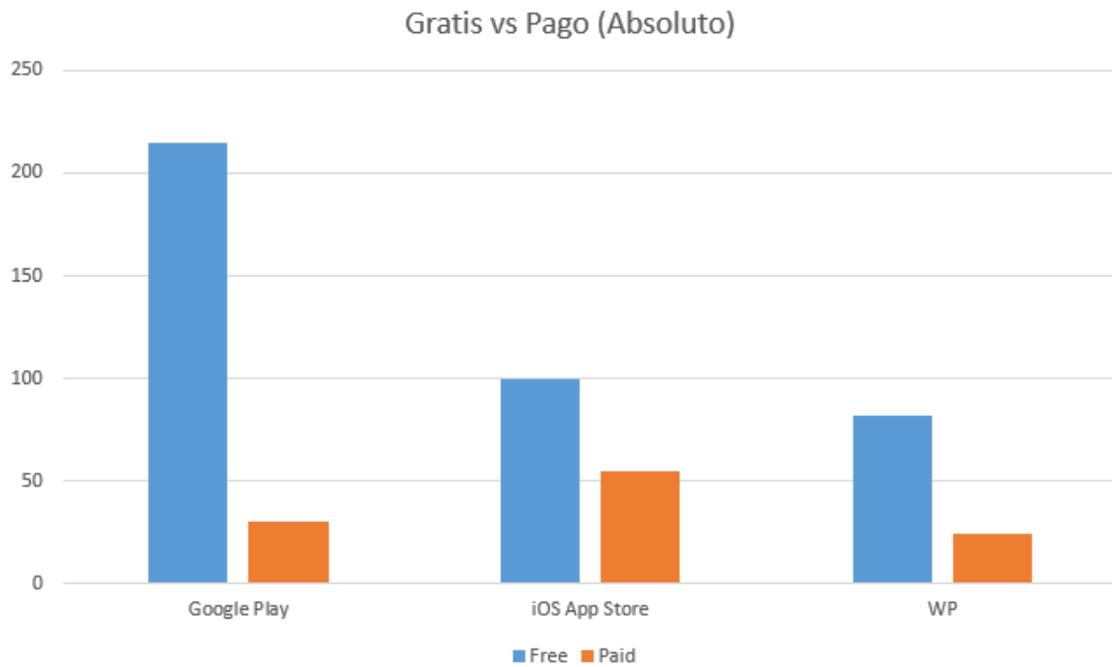


Figura 18: Comparación absoluta de aplicaciones gratuitas vs de pago. Fuente: elaboración propia.

Y si las comparamos en porcentaje frente al total:

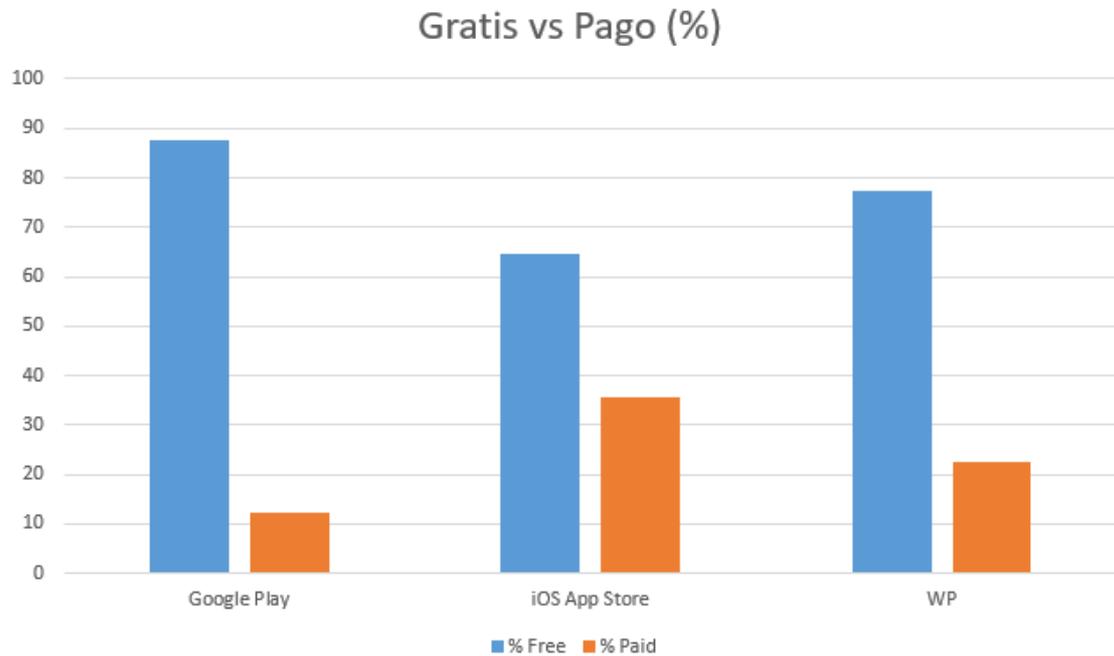


Figura 19: Comparación relativa de aplicaciones gratuitas vs de pago. Fuente: elaboración propia.

Tal como se puede ver, en *Google Play* aproximadamente el 88% de las apps son gratuitas, en *iTunesStore* son gratuitas aproximadamente el 65% de las aplicaciones disponibles y en *Windows Phone* son gratuitas el 77% y de pago el 23%.

Por lo tanto *Android* tiene un mayor porcentaje de aplicaciones gratuitas disponibles para esta finalidad.

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

A la vista de los resultados obtenidos en el apartado anterior, podemos extraer lo siguiente:

Centrándonos en el apartado de la literatura obtenida podemos ver como de la totalidad de las publicaciones analizadas podemos apreciar como una gran mayoría tratan sobre técnicas y algoritmos de cómo realizar mediciones del ritmo cardíaco haciendo uso de los sensores disponibles en el teléfono móvil (típicamente la cámara), pero solo un pequeño porcentaje de ellos trata realmente el tema de aplicaciones móviles comerciales destinadas para tal propósito. En todas estas publicaciones la principal técnica a la que se hace referencia es la conocida como fotopleletismografía (PPG) [16], la cual consiste en determinar el volumen de sangre que circula por las venas (o capilares) capturando imágenes de ellas (ellos) mientras se iluminan con la luz led del móvil.

5.1 TÉCNICAS Y ALGORITMOS PARA LA EXTRACCIÓN DEL RITMO CARDÍACO

Durante el análisis y lectura de los artículos recopilados nos encontramos con diferentes técnicas para calcular el ritmo cardíaco a partir del procesamiento de una señal de video obtenida mediante la cámara del *smartphone*

Un resumen de la técnica más extendida para conocer el ritmo cardíaco a través de la señal de vídeo capturada por la cámara de un dispositivo móvil se nos presenta por *Sungjun Kwon, Hyunseok Kim y Kwang SukPark* en 2012 [17] y puede verse en la siguiente imagen:



Figura 20: Proceso de cálculo del ritmo cardíaco. Fuente: elaboración propia.

Técnicas similares, basadas en el cálculo de la FFT para hallar el ritmo cardíaco se nos presentan por *Shuchang Xu, Lingyun Sun, y Gustavo Kunde Rohde*[18], también *E. Jonathan y Martin Leahy*[19].

También, *Sasivimon Sukaphat, Sukapon Nanthachaiporn, Kritsadayu Upphaccha y Pinta Tantipatrakul* [20], nos presentan una técnica similar pero operando solo sobre el canal rojo de la señal extraída.

Otra técnica menos extendida para calcular el ritmo cardíaco es expuesta por *Pelegris P., Banitsas K., Orbach T. y Marias K* [21], dónde las variaciones en brillo de la señal capturadas tras tapar con el dedo la cámara se hacen coincidir con un patrón preestablecido de ritmo cardíaco.

De manera alternativa y minoritaria, se nos muestra otra técnica para obtener mediciones del ritmo cardíaco propuesta por *Sungjun Kwon, Jeongsu Lee, Gih Sung Chung y Kwang Suk Park* en 2011 [22] haciendo uso del propio acelerómetro del dispositivo móvil, en este caso un iPhone, tras colocarlo en el pecho con una cinta que lo sujete.



Figura 21: Medición del ritmo cardíaco mediante acelerómetro. [22]

5.2 TIPOS DE APLICACIONES PARA CONTROL DEL RITMO CARDÍACO

Se nos muestran dos principales grupos de aplicaciones para obtener las medidas del ritmo cardíaco basadas en PPG ambas:

- Mediante contacto. Esta técnica es la más extendida tanto en las aplicaciones disponibles en las tiendas, como en la bibliografía. Consiste en apoyar la cámara del dispositivo móvil sobre la piel (generalmente el dedo índice) para así realizar el PPG. La mayoría de las aplicaciones disponibles para medición del pulso hacen uso de esta modalidad.

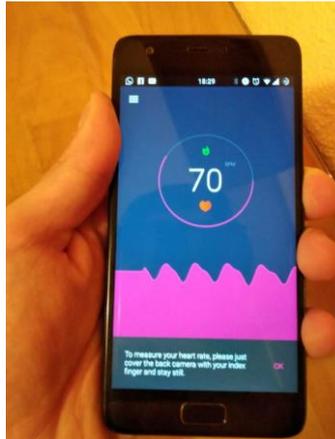


Figura 22: Técnica más extendida para medir el ritmo cardíaco. Fuente: elaboración propia.

- Sin embargo, también en ciertas publicaciones [18,23,24,25] se tiene en consideración una técnica de realización del PPG sin contacto directo sobre la piel. Generalmente bastando con enfocar la cámara del móvil a la cara. La fiabilidad de esta técnica será menor y por ello menos extendida, pues se depende enormemente de las condiciones lumínicas del entorno donde se realice el PPG. Como aplicación representativa de esta categoría podemos encontrar What's My Heart Rate [26]

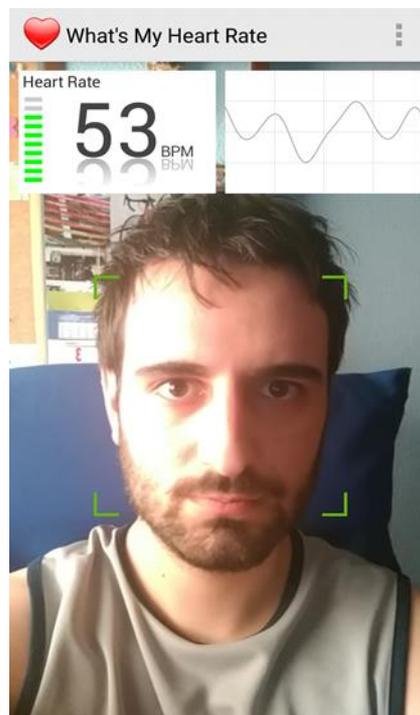


Figura 23: Captura de pantalla de What's My Heart Rate. Fuente: elaboración propia.

5.3 FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LAS APLICACIONES

Hablemos ahora de la fiabilidad en cuanto a mediciones del ritmo cardíaco que aportan estas aplicaciones.

Empecemos, en primer lugar, analizando la fiabilidad de la técnica que usan, la fotopleletismografía. En una comparación de los resultados obtenidos mediante esta técnica (PPG) versus los obtenidos mediante un electrocardiograma (ECG) tradicional podemos ver que:

Sujeto	Medida PPG	Medida ECG	Error %
1	64.57	66.10	2.31
2	70.89	70.88	0.01
3	79.85	76.49	4.39
4	86.73	86.10	0.74
5	87.58	86.24	1.55
6	76.20	75.06	1.52
7	68.03	67.55	0.70
8	79.91	78.59	1.69
9	86.44	86.06	0.45
10	72.18	70.71	2.08
Total			1.08

Tabla 8: Comparaciones de medidas PPG vs ECG. [24]

El error medio cometido con esta técnica es de solo un 1.08%, por lo que se puede concluir que es una metodología bastante fiable de obtención del ritmo cardíaco frente a los convencionales electrocardiogramas.

Además, a nivel de aplicaciones particulares también se han realizado estudios de los datos que arrojan en comparación con los datos aportados por un ECG. Una comparativa de algunas de las principales aplicaciones para el control del ritmo cardíaco se nos muestra por *Md. Tarikul Islam Papon, Ishtiyaque Ahmad, Nazmus Saquib y Ashikur Rahman*[23].

Compararon las mediciones tomadas mediante 5 aplicaciones disponibles y mediciones manuales, en dos posibles estados del sujeto: un estado normal y otro recién levantado y se calcularon el error cuadrático medio (MSE) que se producía:

Aplicación	MSE (Normal)	MSE (recién levantado)
Instan Heart Rate	3.4	2.2
Runtastic Heart Rate	3	3
Heart Beat Rate	4.2	2.267
Heart Rate Monitor	135.7	422.7
What's My Heart Rate	48.4	45.53

Tabla 9: Comparativa de MSE. [23]

Como se puede ver, no todas las aplicaciones proporcionan datos igual de fiables. Las tres primeras aplicaciones proporcionan valores aceptables, presentando un MSE bajo. Mientras que las dos últimas fluctúan de manera irregular, ese es el motivo de su alto MSE y su baja precisión.

Además, se comprueba como en estas aplicaciones se producen mayores desviaciones en las medidas cuanto más alto sea el ritmo cardíaco. Estos errores se deben principalmente al tiempo menor de toma de datos en las aplicaciones, y falsos picos en la señal de PPG.

5.4 ARTÍCULOS SOBRE APLICACIONES DE CONTROL DEL RITMO CARDÍACO: CONTRIBUCIONES

A partir de los artículos recopilados [17-19,20-30,36-62], se ha elaborado la siguiente tabla dónde se muestra el título del artículo, la fecha de publicación, el lugar en dónde ha sido publicado y se ha resumido brevemente las principales contribuciones que realiza:

Título	Fecha de publicación	Publicado en	Principales contribuciones
Non-invasive Heart Rate Measuring Smartphone Applications using On-board Cameras: A Short Survey [36]	Febrero de 2015	Networking Systems and Security	Discute el mecanismo de medición del ritmo cardíaco utilizando solo las cámaras del teléfono y se compara el rendimiento entre aplicaciones.

Development and Validation of a Smartphone Heart Rate Telehealth Applications Acquisition Application for Health Promotion and Wellness .[23]	Octubre de 2011	International Journal of Telemedicine and Applications	Desarrollo de una app Android para comparar los resultados vs ECG. Se obtiene una precisión del 95%
iPhone 4s Photoplethysmography: Which Light Color Yields the Most Accurate Heart Rate and Normalized Pulse Volume Using the iPhysioMeter Application in the Presence of Motion Artifact? [37]	Marzo de 2014	PLOS ONE	Estudio sobre qué canal (rojo, verde o azul) realiza mediciones más precisas en el PPG. Se concluye que el mejor canal es el verde.
Monitor de ritmo cardiaco para dispositivos Android mediante un enlace Bluetooth.[38]	Septiembre de 2016	Tesis para obtención del título de ingeniero en comunicaciones y electrónica	Desarrolla una aplicación para Android que mida el valor del ritmo cardíaco transfiriendo la información por Bluetooth.
HeartDroid: Sistema de monitoreo cardiaco utilizando dispositivos Android. [39]	Noviembre 2014	International Congress on Computer Science CORE	Desarrollo una aplicación Android que permite la monitorización ambulatoria de personas con afecciones cardiacas.
Robust efficient estimation of heart rate pulse from video. [40]	Marzo de 2014	BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS	Plantea un algoritmo para estimar el pulso a partir de secuencias de video de la piel.

Heart Rate Measurement on Android Platform. [18]	Septiembre de 2016	Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2016 Conference	Propone una metodología que mide el ritmo cardíaco usando PPG y se desarrolla una aplicación Android para tal fin. La discrepancia final es del 0.57%.
Development and Preliminary Evaluation of an Android Based Heart Rate Variability Biofeedback System. [20]	Agosto de 2014	36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	Desarrolla un sistema de recopilación de constantes vitales en tiempo real basado en ECG y Bluetooth.
CUDETA: A Real Time Heart Monitoring System Using Android Smartphone. [41]	Enero de 2013	India Conference (INDICON), 2012 Annual IEEE	Presenta CUDETA, un sistema que monitorea constantemente e señales ECG del paciente y envía alertas médicas.
Real-time ECG monitoring and arrhythmia detection using Android-based mobile devices. [42]	Abril de 2012	International Journal of Computer Applications (0975 - 8887)	Desarrolla una aplicación Android que permite monitorizar ECG en tiempo real para la detección de patologías cardíacas con una precisión del 99%.
Validation of heart rate extraction using video imaging on a built-in camera system of a smartphone. [43]	Noviembre de 2012	Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE	Explora la capacidad de medir el ritmo cardíaco a través de una grabación de la cara del sujeto haciendo uso de algoritmos basados en FFT.

Statistical Analysis of Heart Rate and Heart Rate Variability Monitoring Through the Use of Smart Phone Cameras. [24]	Noviembre de 2012	Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE	Demuestra que se pueden obtener resultados precisos de mediciones del pulso con dispositivos móviles comparándolos con ECG.
Validation of heart rate extraction through an iPhone accelerometer. [43]	Diciembre de 2011	Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE	Muestra una técnica de medición del pulso a través del acelerómetro del teléfono móvil y se concluye que es precisa y consistente.
A Novel Method to Detect Heart Beat Rate Using a Mobile Phone. [22]	Noviembre de 2010	Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE	Propone un nuevo método para detectar el pulso haciendo uso del dispositivo móvil.
Smartphone Applications (Apps) for Heart Rate Measurement in Children: Comparison with Electrocardiography Monitor. [21]	Noviembre de 2013	Pediatric Cardiology, volume 35	Hace una validación y comparación de aplicaciones móviles para medir el pulso y diferentes partes del cuerpo donde medirlo.
A Robust Heart Rate Detection using Smartphone Video. [27]	Julio de 2013	Conference: Proceedings of the 3rd ACM MobiHoc workshop on Pervasive wireless healthcare	Muestra y valida un sistema y algoritmo para medir el pulso a través del smartphone.

Photoplethysmograph (PPG) Derived Heart Rate (HR) Acquisition Using An Android Smart Phone. [44]	Octubre de 2011	Proceedings of Wireless Health 2011, WH 2011	Desarrolla una aplicación propia de medición del pulso y se compara con el ECG.
iPhysioMeter: A new approach for measuring heart rate and normalized pulse volume using only a smartphone. [45]	Febrero de 2013	Behavior Research Methods, volume 45	Presenta iPhysioMeter como aplicación de medición del pulso haciendo uso de la PPG.
Are Currently Available Wearable Devices for Activity Tracking and Heart Rate Monitoring Accurate, Precise, and Medically Beneficial? [28]	Octubre de 2015	Healthcare Informatics Research	Hace una comparativa sobre los principales wearables del mercado para determinar su precisión.
Heart Rate Estimation based on Camera Image. [46]	Marzo de 2015	Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2014 14th International Conference on	Crea una metodología de estimación del ritmo cardíaco haciendo uso de la cámara.
Reliable Pulse Rate Evaluation by Smartphone. [25]	Junio de 2012	Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2012 IEEE International Symposium on	Presenta un algoritmo útil y robusto para obtener mediciones del pulso a través de la PPG.
Tachycardia Detection Using Smartphone Applications in Pediatric Patients. [47]	Mayo de 2014	The Journal of Pediatrics	Plantea el uso apps para detectar el ritmo cardíaco durante taquicardias y validar las medidas frente al ECG.

Feedback control of heart rate during outdoor running: A smartphone implementation. [48]	Enero de 2016	Biomedical Signal Processing and Control, volume 26	Propone el uso de un sistema para controlar el ritmo cardíaco durante actividades de carreras en el exterior.
Determination of SpO2 and Heart-rate using Smartphone Camera. [49]	Noviembre de 2014	Control, Instrumentation, Energy and Communication (CIEC), 2014 International Conference on	Propone el uso de un móvil para estimar el nivel de SpO2 y el pulso.
Smartphone-based heart rate prediction for walking support application. [50]	Septiembre de 2013	Conference: Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing	Propone un método de monitorización del pulso durante actividades de paseo basado en la computación en la nube.
Investigating a smartphone imaging unit for photoplethysmography. [51]	Noviembre de 2010	Physiological Measurement 31(11):N7 9-83	Estudia el uso de la cámara móvil para realizar sobre ella la PPG.
A Real-Time Health Monitoring System for Remote Cardiac Patients Using Smartphone and Wearable Sensors. [19]	Diciembre de 2015	International Journal of Telemedicine and Applications 2015(11):1-11	Propone un sistema de monitoreo remoto para pacientes haciendo uso de wearables y smartphones.

Multi-channel Heart-beat Detection. [52]	Febrero de 2014	Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2013 IEEE	Plantea un algoritmo de medición del pulso haciendo uso de cambios de color en la cara, en el dedo y de las medidas del sonido del pulso con un dispositivo móvil.
Photoplethysmograph y Detection by Smartphone's Videocamera. [53]	Noviembre de 2011	Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems	Propone una metodología para aplicar la PPG al vídeo obtenido de una huella dactilar por la cámara de un smartphone.
Monitoring of Heart and Breathing Rates Using Dual Cameras on a Smartphone. [54]	Marzo de 2016	PLOS ONE	Propone un nuevo método de medición de la frecuencia cardíaca y de la respiración. La medición del pulso se hace mediante la huella dactilar y la de la respiración, con la otra cámara detectando movimientos en el pecho.
Monitoring Heart Rate with Common Market Smart-phones for Identifying Potential Signs that may Lead to Sudden Death. [55]	Septiembre de 2013	Master's Thesis	Hace un estudio de distintos smartphones para monitorizar el ritmo cardíaco e identificar potenciales signos de afecciones cardíacas.

Cardiowatch: a Solution for Monitoring the Heart Rate on a Mobile Device. [29]	2016	Scientific Bulletin of UPB	Propone un algoritmo de obtención del ritmo cardiaco situando una huella dactilar sobre la cámara del smartphone.
Applications of smartphones for ubiquitous health monitoring and wellbeing management. [56]	Enero de 2011	Journal of Information, Technology and Applications	Hace un estudio de las posibilidades de los smartphones como monitores de la salud. Se describen, además, las principales aplicaciones comerciales para este fin.
Classic electrocardiogram-based and mobile technology derived approaches to heart rate variability are not equivalent. [30]	Enero de 2018	International Journal of Cardiology	Hace un estudio comparativo entre las mediciones de un ECG y las de un smartphone para medir la variabilidad en el ritmo cardíaco.
Heart rate monitoring, activity recognition, and recommendation for e-coaching. [57]	Enero de 2018	Multimedia Tools and Applications	Hace una validación de los datos arrojados por wearables y smartphones.

Mobile Heart Rate Monitor for Myocardial Infarction Patients. [58]	Octubre de 2017	Student Project Conference (ICT-ISPC), 2017 6th ICT International	Propone el desarrollo de una aplicación móvil para ayudar a pacientes que han sufrido infartos para mantener un control de su ritmo cardíaco.
Android based heart rate monitoring and automatic notification system. [59]	Diciembre 2017	Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)	Crea un sistema que monitorea el ritmo cardíaco continuamente y envía alertas a través de SMS haciendo uso de una aplicación Android.
Fast Algorithm for Heart Rate Calculation Based on an Android Application. [60]	Julio de 2017	Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW), 2017 IEEE International Conference on	Presenta un algoritmo ritmo para el cálculo del pulso en un dispositivo móvil a través de una señal de ECG.
An ECG Arrhythmia Classification and Heart Rate Variability Analysis System based on Android Platform. [61]	Agosto de 2015	Future Information and Communication Technologies for Ubiquitous HealthCare (Ubi-HealthTech), 2015 2nd International Symposium on	Propone una metodología de procesamiento de la información de un ECG haciendo uso de un Smartphone.
Smartphone Application for Heart Rate Monitoring. [62]	Julio de 2017	E-Health and Bioengineering Conference (EHB), 2017	Describe un prototipo de app que es capaz de monitorizar y enviar alertas cuando detecta anomalías en el paciente.

Tabla 10: Principales contribuciones de cada artículo. Fuente: elaboración propia.

Se puede apreciar, basándonos en los resultados obtenidos, concretamente en la figura 11 cómo a partir del año 2010 el número de *papers* publicados por año en lo relacionado al control del ritmo cardíaco con dispositivos móviles siguió una tendencia creciente, ya que como se ha comentado en la introducción, fue a partir del momento en el cual el sexto del *m-Health* empezó a tomar importancia en la sociedad hasta el año 2014. Año a partir del cual la tendencia pasó a ser decreciente hasta el actual año 2018.

5.5 ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES APLICACIONES EN LAS TIENDAS

En lo relacionado con aplicaciones de control del ritmo cardíaco, a la vista de los resultados mostrados en las tablas donde se muestran el número de aplicaciones por categoría, queda patente la gran diferencia entre la categoría *Health & Fitness* y las demás categorías.

Cabe destacar la segunda posición de la categoría *Medical* en cuanto número de aplicaciones en sistemas *iOS* con 52 aplicaciones disponibles, mientras que en sistemas *Android* esta categoría solo cuenta con 7 aplicaciones disponibles y en sistemas *Windows Phone* tan solo cuenta con 1 aplicación disponible. Analizando las aplicaciones más populares en función de la valoración obtenida en la tienda de aplicaciones, de estos sistemas (*iOS*, *WP* y *Android*) nos encontramos con las siguientes.

En sistemas *Android* las dos mejor valoradas son:

- *GoPhoton! Heart Rate* 4.6/5
- *Accurate Heart Rate Monitor* 4.5/5



Figura 24: Capturas de Accurate Heart Rate y GoPhoton! Heart Rate. Fuente: elaboración propia.

Y en sistemas *iOS*:

- *Instant Heart Rate: HR Monitor* 4.8/5
- *Cardio: Heart Rate Monitor* 4.7/5



Figura 25: Capturas de Instant Heart Rate: HR y Cardio: Heart Rate Monitor. [13]

Por último, en sistemas *Windows Phone*, las dos mejor valoradas son:

- *Instan Heart Rate* 5/5
- *Heart Rate* 4/5

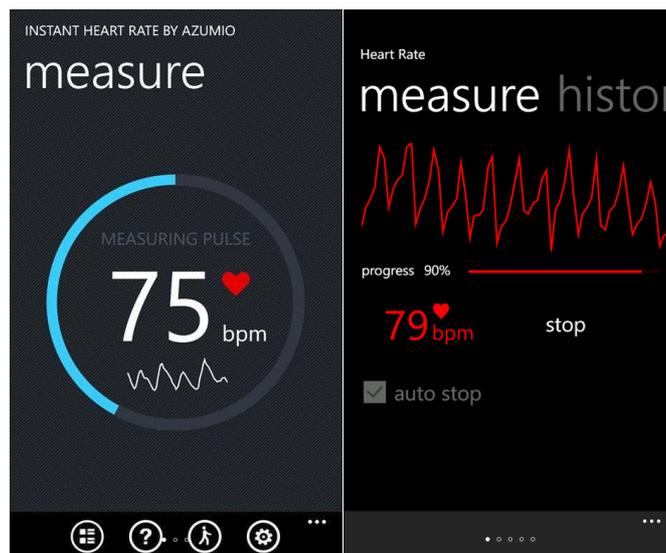


Figura 26: Capturas de Instant Heart Rate y Heart Rate. [14]

Como se puede observar, todas ellas tienen interfaces muy similares. En cuanto a funcionamiento todas operan de la misma forma: se nos solicita que coloquemos el dedo índice tapando el objetivo de la cámara y se realiza la medición mediante la técnica antes mencionada de fotopleletismografía.

5.6 LA IMPORTANCIA DE LOS WEARABLES EN LA M-HEALTH

Si algo está cobrando importancia dentro de la m-Health son los dispositivos wearables. Dispositivos que día a día nos acompañan las 24 horas del día sobre nosotros.

Como no podía ser de otro modo, estos dispositivos también juegan un papel muy importante en la toma de medidas del ritmo cardíaco. Muchas de las aplicaciones que se incluyen para el control del ritmo cardíaco hacen uso de estos dispositivos para realizar las mediciones.

Suelen ser relojes inteligentes (smartwatches) o bien pulseras cuantificadoras que llevan integrados un sensor de ritmo cardíaco. Este sensor funciona siguiendo el mismo método anteriormente expuesto (PPG).



Figura 27: Sensor de pulso en la parte trasera de un smartwatch. Fuente: elaboración propia.



Figura 28: Medida del pulso realizada con un Amazfit Stratos. Fuente: elaboración propia.

Estos dispositivos, al estar siempre con nosotros, pueden hacer mediciones frecuentes del ritmo cardíaco, permitiéndonos ver estadísticas y nuestra evolución.



Figura 29: Registro del pulso durante una actividad deportiva. Fuente: elaboración propia.

Aunque estos dispositivos empezaron siendo destinados hacia gente que quisiera monitorizar sus actividades deportivas, cada vez tienen más uso en pacientes con problemas cardíacos y se espera que su uso en este ámbito aumente aún más, habiéndose convertido, el deporte y salud, las aplicaciones más demandadas por los usuarios de *wearables*. [35]

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Tras este análisis del estado actual del sector del *m-Health* y más concretamente de las aplicaciones móviles para el control del ritmo cardíaco numerosas conclusiones pueden ser extraídas:

6.1 ESTADO DEL ARTE: CONCLUSIONES

En el ámbito literario, el estudio, comparación y pruebas de apps móviles sobre control de ritmo cardiaco es muy escaso, sin embargo, en comparación nos encontramos con un gran número de *papers* y publicaciones que tratan sobre métodos y nuevos algoritmos para realizar mediciones del pulso a través del procesamiento de una señal de video recogida con nuestro smartphone.

También, además, en muchos *papers* nos encontramos con la elaboración aplicaciones privadas para la medición del ritmo cardíaco, de ahí el escaso número de *papers* que tratan sobre aplicaciones disponibles en las tiendas de aplicaciones.

También es notorio ver cómo ningún *paper* hace uso del sistema operativo *Windows Phone*, todos se basan en sistemas *Android* e *iOS*.

Podemos encontrar una tendencia generalizada hacia el uso del PPG y transformaciones al dominio frecuencial de las señales capturadas como método para calcular el ritmo cardíaco en la mayoría de las publicaciones.

Pocos *papers* plantean la posibilidad de añadir este tipo de aplicaciones al sector de la Medicina, a nivel profesional.

Además, todos los *papers* en los que se crean aplicaciones propias (no compartidas en las tiendas) para medidas del ritmo cardíaco han sido creadas para sistemas *Android*, esto tiene lógica, pues en *iOS* no da soporte a la introducción de aplicaciones propias en sus dispositivos.

Por último, a pesar de la actual demanda de los dispositivo *wearables* simplemente encontramos que ese hable sobre ellos en tres artículos [57, 19, 28].

6.2 APLICACIONES MÓVILES: CONCLUSIONES

En segundo lugar, debido al gran aumento que ha sufrido el uso (y la posesión) de dispositivos móviles [31], encontramos una gran cantidad de aplicaciones disponibles para este fin.

Cabe destacar que hay un mayor número de aplicaciones disponibles para dispositivos Android, esto tiene sentido puesto que Android es un sistema más extendido que iOS. Concretamente *Android* ocupa un 76.53% del mercado mundial mientras que *iOS* tan solo un 18.97% [32] y *Windows Phone* un bajo 0.46% actualmente (mayo de 2018).

Además, en comparación en cuanto a apps gratuitas, nuevamente *Android* supera a *iOS* y *Windows Phone* (en porcentaje) con un 88% de aplicaciones gratis frente a un 65% y un 77% respectivamente, lo cual concuerda con la tendencia general de Android de tener un mayor número de aplicaciones gratuitas [15]:

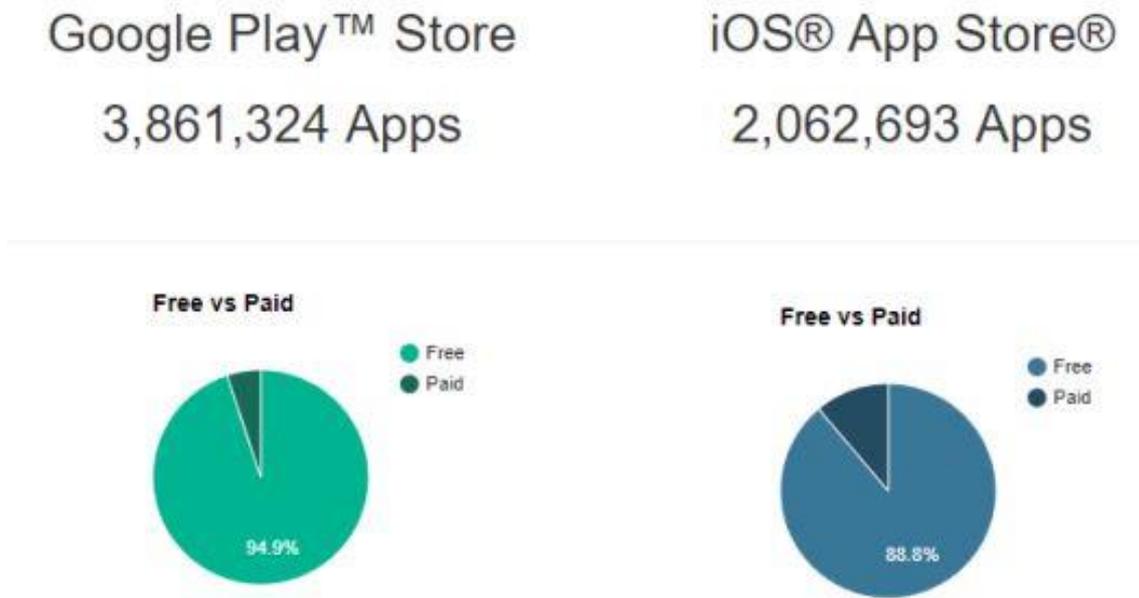


Figura 30: Aplicaciones gratis vs de pago en Android e iOS. [15]

Sin embargo, las aplicaciones con los precios más altos se encuentran en *Google Play* y *Windows Phone*, con un precio un 20% superior que el precio más alto en *iOS*. Esto contrasta con el pensamiento generalizado de que Android es más barato que *iOS*. [33]

En cuanto al usuario medio al que van destinado este tipo de aplicaciones, se puede apreciar como en general son aplicaciones de uso popular. Esto queda patente viendo que en todas las *App Stores* la categoría *Health & Fitness* se desmarca muy por delante de todas las demás categorías en cuanto a número de aplicaciones.

Por lo tanto se puede concluir que estas aplicaciones aún no han penetrado lo suficiente entre el sector médico a la vista del bajo número de aplicaciones en sistemas *Android* (7

aplicaciones disponibles en esta categoría) y sistemas *Windows Phone* (1 única aplicación disponible en esta categoría). Sin embargo, como contraposición a esto, encontramos *iOS*, dónde el número de aplicaciones englobadas dentro de la categoría Médica es mucho mayor, habiendo un total de 52 aplicaciones disponibles. Esto tiene sentido, pues en el sector de la Medicina, el smartphone de *Apple* se encuentra más extendido que los dispositivos *Android*.
[34]

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rob Matheson. App screens for arrhythmia using smartphone camera. <http://news.mit.edu/2017/cardiio-app-screens-arrhythmia-smartphone-camera-0329>
- [2] C. Lee Ventola. Mobile Devices and Apps for Health Care Professionals: Uses and Benefits. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4029126/>
- [3] Gunther Eysenbach. Using Mobile Apps to Promote a Healthy Lifestyle Among Adolescents and Students: A Review of the Theoretical Basis and Lessons Learned. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4873621/>
- [4] Informe ditendria 2016: Mobile en España y en el Mundo. http://www.amic.media/media/files/file_352_1050.pdf
- [5] WHO. mHealth: New horizons for health through mobile technologies. http://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf
- [6] Definición de frecuencia cardíaca. <https://www.definicionabc.com/salud/frecuencia-cardiaca.php>
- [7] Julia Pérez Amigo. ¿Cuántas son las pulsaciones normales por edad y estado? <https://revistadigital.inesem.es/biosanitario/pulsaciones/>
- [8] Luis Duran Estany. ¿Tienes una frecuencia cardíaca normal? <http://entrenamientoysaludcoruna.com/tienes-una-frecuencia-cardiaca-normal/>
- [9] La Guía del Paciente para Corazón, los Pulmones y la cirugía esofágica. Trastornos del Ritmo Cardíaco. <https://ctsurgerypatients.org/es/enfermedades-del-coraz%C3%B3n-en-adultos/trastornos-del-ritmo-card%C3%ADaco>
- [10] Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/es-es>

- [11] Fisioterapia para todos. Ritmo cardíaco alto o taquicardia. <http://www.fisioterapiaparatodos.com/sintomas/ritmo-cardiaco-acelerado-o-taquicardia/>
- [12] Google. Google Play. URL: <https://play.google.com/store> [accessed 2018-06-15]
- [13] Apple. iTunes. URL: <http://www.apple.com/itunes> [accessed 2018-06-16]
- [14] Windows Phone Store. <https://www.microsoft.com/es-es/store/appsnext/windows-phone>
- [15] 42 Matters. URL: <https://42matters.com> [accessed 2018-06-16]
- [16] Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17322588>
- [17] Sungjun Kwon, Hyunseok Kim and Kwang Suk Park. Validation of heart rate extraction using video imaging on a built-in camera system of a smartphone. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6346392/>
- [18] Sasivimon Sukaphat, Sukapon Nanthachaiyorn, Kritsadayu Upphaccha, Pinta Tantipatrakul. Heart Rate Measurement on Android Platform. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7561442/>
- [19] Priyanka Kakria, N. K. Tripathi and Peerapong Kitipawang. A Real-Time Health Monitoring System for Remote Cardiac Patients Using Smartphone and Wearable Sensors. https://www.researchgate.net/publication/287148196_A_Real-Time_Health_Monitoring_System_for_Remote_Cardiac_Patients_Using_Smartphone_and_Wearable_Sensors
- [20] F. Abtahi, A. Berndtsson, S. Abtahi, F. Seoane, K. Lindecrantz. Development and Preliminary Evaluation of an Android Based Heart Rate Variability Biofeedback System. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25570716>
- [21] Chi-Lin Ho, Yun-Ching Fu, Ming-Chih Lin, Chih Lin, Sheng-Ching Chan, Betau Hwang, Sheng-Ling Jan. Smartphone Applications (Apps) for Heart Rate Measurement in Children: Comparison with Electrocardiography Monitor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24259012>

- [22] Pelegris P., Banitsas K., Orbach T., Marias K. A Novel Method to Detect Heart Beat Rate Using a Mobile Phone. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5626580/>
- [23] Mathew J. Gregoski, MartinaMueller, Alexey Vertegel, Aleksey Shaporev, Brenda B. Jackson, RonjaM. Frenzel, Sara M. Sprehn, and Frank A. Treiber. Development and Validation of a Smartphone Heart Rate Telehealth ApplicationsAcquisition Application for Health Promotion and Wellness. <https://www.hindawi.com/journals/ijta/2012/696324/>
- [24] Jeffrey B. Bolkhovsky, Christopher G. Scully and Ki H. Chon. Statistical Analysis of Heart Rate and Heart Rate Variability Monitoring Through the Use of Smart Phone Cameras.https://www.researchgate.net/publication/235387215_Statistical_analysis_of_heart_rate_and_heart_rate_variability_monitoring_through_the_use_of_smart_phon_e_cameras
- [25] F. Lamonaca,Y. Kurylyak, D. Grimaldi, V.Spagnuolo. Reliable Pulse Rate Evaluation by Smartphone. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6226672/>
- [26] What's My Heart Rate by ViTrox Technologies. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vitrox.facion.gui&hl=en&rdid=com.vitrox.facion.gui>
- [27] Arpan Pal, Aniruddha Sinha, Anirban Dutta Choudhury, Tanushyam Chattopadyay, Aishwarya Visvanathan. A Robust Heart Rate Detection using Smart-phone Video. https://www.researchgate.net/publication/258508261_A_robust_heart_rate_detecti_on_using_smart-phone_video
- [28] Fatema El-Amrawy, B.Pharm, Mohamed Ismail Nounou. Are Currently Available Wearable Devices for Activity Tracking and Heart Rate Monitoring Accurate, Precise, and Medically Beneficial? <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4659890/>
- [29] Andreea Lavinia Popescu, Radu Tudor Lonescu, Dan Popescu. CARDIOWATCH: A SOLUTION FOR MONITORING THE HEART RATE ON A MOBILE DEVICE. <https://www.semanticscholar.org/paper/Cardiowatch-%3A-a-Solution-for-Monitoring-the-Heart-a-Popescu-Ionescu/4ff3fd1900dc37067077a18e4e6f8015d1bd8fcd>
- [30] Przemyslaw Guzik, Caroline Piekos, Olivia Pierog, Naiman Fenech, Tomasz Krauze, Jaroslaw Piskorski, Andrzej Wykretowicz. Classic electrocardiogram-based and mobile

technology derived approaches to heart rate variability are not equivalent.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29544922>

- [31] Brent Lowe-Bernie. The Brave New Digital World.
<https://www.slideshare.net/IABCanada/iab-canada-comscoremixx2013>
- [32] Stat Counter. URL: <http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide>
[accessed 2018-06-20]
- [33] Jaime Cifuentes. Android vs the iPhone: which is more expensive?
<https://www.itproportal.com/2013/02/01/android-vs-the-iphone-which-is-more-expensive/>
- [34] Megan Shaw. The Mobile Debate: Android vs. iPhone in Medical Education.
<https://www.new-innov.com/pub/update/2016/06/22/iphone-vs-android.html>
- [35] Tim Hin Wai Lui. TRACKING HEART HEALTH WITH WEARABLE DEVICES.
http://institute.swissre.com/research/library/Medical_Wearables_Tim_Lui.html
- [36] Md. Tarikul Islam Papon, Ishtiyaque Ahmad, Nazmus Saquib and Ashikur Rahman. Non-invasive Heart Rate Measuring Smartphone Applications using On-board Cameras: A Short Survey. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7043533/>
- [37] Kenta Matsumura, Peter Rolfe, Jihyoung Lee, Takehiro Yamakoshi. iPhone 4s Photoplethysmography: Which Light Color Yields the Most Accurate Heart Rate and Normalized Pulse Volume Using the iPhysioMeter Application in the Presence of Motion Artifact?
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0091205>
- [38] C. Pedro Enrique Velázquez Elizondo, C. Luis Javier Villagrán Valencia. Monitor de ritmo cardiaco para dispositivos Android mediante un enlace Bluetooth.
<http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/20455>
- [39] Cristian Eduardo Villegas-López, Sergio Sandoval-Reyes. HeartDroid: Sistema de monitoreo cardiaco utilizando dispositivos Android.
<http://148.204.63.111/SABERv3/publicacions/webView/2027>

- [40] Shuchang Xu, Lingyun Sun and Gustavo Kunde Rohde. Robust efficient estimation of heart rate pulse from video. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3985994/>
- [41] Roshan Issac, M.S Ajaynath. CUETA: A Real Time Heart Monitoring System Using Android Smartphone. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6420587/>
- [42] Stefan Gradl, Patrick Kugler, Clemens Lohmüller, Bjoern Eskofier. Real-time ECG monitoring and arrhythmia detection using Android-based mobile devices. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6346460/>
- [43] Sungjun Kwon, Jeongsu Lee, Gih Sung Chung and Kwang Suk Park. Validation of heart rate extraction through an iPhone accelerometer. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6091301/>
- [44] Mathew Gregoski, Alexey Vertegel, Frank Treiber. Photoplethysmograph (PPG) Derived Heart Rate (HR) Acquisition Using An Android Smart Phone. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2077572>
- [45] Kenta Matsumura, Takehiro Yamakoshi. iPhysioMeter: A new approach for measuring heart rate and normalized pulse volume using only a smartphone. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23408381>
- [46] Toshihiro Kitajima, SangOn Choi, Edwardo Arata Y. Murakami. Heart Rate Estimation based on Camera Image. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7066275/>
- [47] Philip Wackel, Lee Beerman, Laura West and Gaurav Arora. Tachycardia Detection Using Smartphone Applications in Pediatric Patients. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24655535>
- [48] Kenneth J. Hunt, Andrzej J.R. Hunt. Feedback control of heart rate during outdoor running: A smartphone implementation. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809416000021>
- [49] Avneendra K Kanva, Chandan J Sharma, Sujay Deb. Determination of SpO₂ and Heart-rate using Smartphone Camera. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6959086/>
- [50] Mayu Sumida, Teruhiro Mizumoto, Keiich Yasumoto. Smartphone-based heart rate prediction for walking support application.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Smartphone-based-heart-rate-prediction-for-walking-Sumida-Mizumoto/2daff7b2096cd0bd34b5f906ba188fe6019b9287>

- [51] E Jonathan and Martin Leahy. Investigating a smartphone imaging unit for photoplethysmography. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20871134>
- [52] Narges Norouzi, Parham Aarabi. Multi-channel Heart-beat Detection. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6736997/>
- [53] Domenico Grimaldi, Yuriy Kurylyak, Francesco Lamonaca, Alfonso Nastro. Photoplethysmography Detection by Smartphone's Videocamera. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6072801/>
- [54] Yunyoung Nam, Youngsun Kong, Bersain Reyes, Natasa Reljin, Ki H. Chon. Monitoring of Heart and Breathing Rates Using Dual Cameras on a Smartphone. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0151013>
- [55] Rafael Silva, Naveed Ul Haq. Monitoring Heart Rate with Common Market Smartphones for Identifying Potential Signs that may Lead to Sudden Death. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A830313&dswid=mainwindow>
- [56] Mladen Milošević, Michael T. Shrove, Emil Jovanov. APPLICATIONS OF SMARTPHONES FOR UBIQUITOUS HEALTH MONITORING AND WELLBEING MANAGEMENT. https://www.researchgate.net/publication/285307824_Applications_of_smartphones_for_ubiquitous_health_monitoring_and_wellbeing_management
- [57] Toon De Pessemier, Luc Martens. Heart rate monitoring, activity recognition, and recommendation for e-coaching. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-018-5640-2>
- [58] Muhammad Farouq Bin Mustapha, Dr. Toni Anwar. Mobile Heart Rate Monitor for Myocardial Infarction Patients. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8075316/>
- [59] Maria Islam, Ramit Kumar Sadhukhan, Md. Mobinul Haque, Nayeemur Rahman, Sharif Shamsul Alam, Md. Saief Raihan Chowdhury, Md. Abdullah-Al-Kaiser, and Celia Shahnaz. Android based heart rate monitoring and automatic notification system. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8288993/>

- [60] Lei Liu, Qun-Chao Chen, and Liang-Hung Wang. Fast Algorithm for Heart Rate Calculation Based on an Android Application. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7991041/>
- [61] Shouhai Xue, Xianxiang Chen, Zhen Fang, Shanhong Xia. An ECG Arrhythmia Classification and Heart Rate Variability Analysis System based on Android Platform. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7203323/>
- [62] Raluca Marinescu, Anişor Nedelcu. Smartphone Application for Heart Rate Monitoring. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7995381/>
- [63] El corazón humano. <https://www.educandose.com/el-corazon-humano-anatomia-funcion/>
- [64] Palom Sala. Frecuencia cardiaca máxima y frecuencia cardiaca en reposo, ¿qué son y cómo podemos medirlas? <http://palomasala.com/frecuencia-cardiaca-maxima-frecuencia-cardiaca-reposo-podemos-medirlas/>
- [65] The Statistics Portal. mHealth (mobile health) industry market size projection from 2012 to 2020. <https://www.statista.com/statistics/295771/mhealth-global-market-size/>
- [66] RD 1591/2009. <https://www.boe.es/boe/dias/2009/11/06/pdfs/BOE-A-2009-17606.pdf>

ACRÓNIMOS

Acrónimos	Definición
FDA	Food and Drug Administration
WHO (OMS)	World Health Organization
m-HEALTH	Mobile Health
APP	Application
PPM	Pulso por Minuto
WP	Windows Phone
FT	Fourier Transform
FFT	Fast Furier Transform
MSE	Mean Square Error
SO	Sistema Operativo
PPG	Fotopleletismografía
ECG	Electrocardiograma
RD	Real Decreto

GLOSARIO

m-Health: práctica de la medicina y la salud pública soportada por dispositivos móviles como teléfonos, dispositivos de monitorización de pacientes, asistentes digitales y otros dispositivos inalámbricos.

La Comisión Europea: órgano ejecutivo y de iniciativa legislativa en el Parlamento europeo.

Real Decreto: norma jurídica con rango de Reglamento, que sirve par ejercer el poder ejecutivo.

App store: tienda dedicada a las aplicaciones móviles, que permite adquirir nuevas aplicaciones.

Smartphone: teléfono con pantalla táctil, que permite al usuario conectarse a Internet, gestionar cuentas de correo, instalar aplicaciones, consumir contenido multimedia, etc como si fuera un pequeño ordenador.

iOS: sistema operativo para dispositivos móviles (*iPhone e iPad*) desarrollado por la multinacional *Apple*, lanzado en el año 2007.

Android: sistema operativo desarrollado principalmente para dispositivos móviles, aunque extendido también a otros elementos informáticos, desarrollado por *Google*. Fue lanzado al mercado en el año 2008.

Windows Phone: sistema operativo desarrollado para dispositivos móviles por la compañía *Microsoft* y presentado al mercado en 2010.

Symbian: sistema operativo desarrollado para teléfonos móviles por la compañía *Nokia* y lanzado en 1997.

Fotopleetismografía: método que permite conocer el volumen de un cuerpo a partir de la luz que refleja. Presenta la principal ventaja de que es una medición no invasiva. Ampliamente utilizada en el ámbito de la frecuencia cardíaca.

Wearables: objetos de uso diario que se incorporan en alguna parte de nuestro cuerpo interactuando con el usuario y con la finalidad de realizar alguna función.

Organización Mundial de la Salud: organismo especializado de las Naciones Unidas fundado en 1948 cuyo objetivo es alcanzar para todos los pueblos el máximo grado de salud.

Salud: estado de completo bienestar físico, mental y social, no solamente ausencia de afecciones o enfermedades.

Paper: pequeños artículos que tratan sobre un tema en particular. Especialmente realizados por estudiantes e investigadores.

Transformada de Fourier: transformación matemática creada para hacer correspondencia entre valores en el dominio temporal y el frecuencial con muchas aplicaciones en los ámbitos de la Ingeniería, las Matemáticas y la Física. Creada por Joseph Fourier

Transformada Rápida de Fourier: algoritmo para calcular la Transformada de Fourier (y su inversa) con gran velocidad y eficiencia computacional.

Bluetooth: especificación tecnológica para redes inalámbricas.

Error Cuadrático Medio: factor de calidad que da cuenta de las discrepancias entre dos conjuntos de datos en función del promedio de su error (diferencia) al cuadrado.

Smartwatch: reloj de pulsera dotado de capacidades inteligentes.

Pulsera cuantificadora: pulsera que registra nuestra actividad del día a día, típicamente los pasos, distancias recorridas, calorías quemadas, pulso, etc.

