



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

— **TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Telecomunicación

Implementación de un sistema digital de registro de huellas  
plantares para recién nacidos

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de  
Telecomunicación

AUTOR/A: Navarro Sevilla, Juan

Tutor/a: Martínez Millana, Antonio

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

## **Resumen**

En los últimos años se ha mejorado de forma muy significativa el proceso de identificación del recién nacidos, principalmente gracias al uso de pulseras identificativas desde el momento del nacimiento. Estos sistemas de identificación son indispensables para la trazabilidad de pacientes extremadamente vulnerables, para evitar la separación madre-hijo y a la vinculación del nuevo paciente con su historial sanitario. El método más usado en la actualidad es el uso de brazaletes mediante cierre de seguridad y la colocación de pinza en el cordón umbilical. De forma práctica este procedimiento se define como ineficiente y poco seguro debido a que puede llegar a fallar motivado por diferentes factores: mala colocación de pulseras, retirada de pinza a causa de necesidad sanitaria por motivos de canalización de vasos umbilicales, descuido y en maniobras de higiene neonatal. La evolución tecnológica permite aplicar mejoras en el campo de identificación de neonatos de forma eficiente e inequívoca. En este Trabajo Final de Grado se diseñará y desarrollará un sistema electrónico digital que permita capturar las huellas plantares de los recién nacidos, digitalizando la información y almacenándola en un servidor para su posterior procesado. Para ello se empleará el dispositivo FIVE-0 de Integrated Biometrics para la captura de huellas digitales/plantares y un sistema portable de código abierto, como la Rasperry PI para realizar la comunicación y procesado de la información.

## **Abstract**

In recent years, the newborn identification process has been significantly improved, mainly thanks to the use of identification bracelets from the moment of birth. These identification systems are indispensable for the traceability of extremely vulnerable patients, to avoid mother-child separation and to link the new patient with his or her health history. The most commonly used method at present is the use of bracelets with a safety lock and the placement of a clamp on the umbilical cord. In practice, this procedure is defined as inefficient and unsafe because it can fail due to different factors: poor placement of bracelets, removal of clamp due to health needs for cannulation of umbilical vessels, carelessness and neonatal hygiene maneuvers. Technological evolution allows the application of improvements in the field of neonatal identification in an efficient and unequivocal way. In this Final Degree Project, a digital electronic system will be designed and developed to capture the footprints of newborns, digitizing the information and storing it in a server for further processing. For this purpose, the Integrated Biometrics FIVE-0 device will be used to capture fingerprints/plantar prints and an open source portable system, such as Rasperry PI, will be used to communicate and process the information.

# Índice

1. Introducción.....	5
1.1 Justificación .....	5
1.2 Objeto y objetivos .....	5
1.3 Breve referencia a los ODS .....	5
1.4 Asignaturas relacionadas .....	6
1.5 Estructura del trabajo .....	6
2. Marco teórico y conceptual .....	7
2.1 Problemática .....	7
2.2 Estudio tasa de Natalidad.....	8
2.3 Soluciones existentes .....	9
2.4 Objetivos del TFG .....	18
3. Materiales y métodos.....	19
3.1 Encuesta a profesionales sanitarios.....	19
3.2 Estudio de área hospitalaria .....	24
3.3 Requisitos y diseño funcional .....	25
3.4 IBS FIVE-0 .....	27
3.5 Metodología y entornos de desarrollo.....	28
3.6 Diseño de las pruebas de Validación .....	30
4. Resultados.....	31
4.1 Diseño Hardware .....	31
4.2 Diseño Software.....	40
4.3 Validación .....	55
5. Conclusiones.....	59
5.1 Revisión de objetivos.....	59
5.2 Conclusiones .....	60
5.3 Conocimientos reflejados de la carrera.....	61
5.4 Trabajo futuro .....	61
5. Bibliografía.....	62
Anexo 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	63

## Índice de Figuras

Figura 1: Imagen ple del neonato con pulsera identificativa.....	7
Figura 2: Distribución de la población por edades [INE] .....	8
Figura 3: Histórico del número de alumbramientos en la Comunidad Valenciana [INE] .....	9
Figura 4: Comparativa de nacimientos según la provincia en el año 2022 [INE].....	9
Figura 5: Dispositivo y muestras del sistema de reconocimiento por Iris.....	10
Figura 6: Algoritmo del proceso de identificación por Iris .....	11
Figura 7: Algoritmo del funcionamiento de identificación por registro facial.....	12
Figura 8: Ejemplo Hojas de registro con huella plantar .....	13
Figura 9: Ejemplo extracción de huellas mediante tinta .....	14
Figura 10: Dispositivo de la empresa Certascan System .....	15
Figura 11: Huellas extraídas mediante el sistema de Certascan System .....	15
Figura 12: Muestras de sangre seca del neonatos.....	16
Figura 13: Cabecera de la encuesta realizada al sistema sanitario. ....	19
Figura 14: Grafico de los resultados de la tipología del profesional. Matrones/as[52%] Enfermeros [24%] Médicos [19%] Otros [5%].....	20
Figura 15: Grafico de las areas necesarias para una identificación.....	20
Figura 16: Grafico de los momentos que se precisa una identificación .....	21
Figura 17: Gráficos de las condiciones lumínicas Artificial [81%]; Natural [19%] Poco Iluminado [29%]; Medio[29%];Muy Iluminado[43%] .....	22
Figura 18 Grafico de los resultados de la necesidad de identificación del neonato Si [57%] No [43%].....	23
Figura 19: Paritorios Hospital de la Fe.....	24
Figura 20: UCI neonatal Hospital de la Fe.....	24
Figura 21: Breve descripción del proceso .....	25
Figura 22: Fotografía sensor FIVE-0 .....	27
Figura 23: Muestras recogida por el sensor FIVE-0 .....	28
Figura 24: Flujo de trabajo .....	29
Figura 25: Arquitectura del sistema .....	31
Figura 26: Grafico conceptual del sistema Hardware .....	32
Figura 27: Rendimiento de la ejecución de programa.....	33
Figura 28: Imagen Raspberry PI 4 .....	34
Figura 29: Imagen de la organización de pines de la Raspberry pi 4 .....	35
Figura 30: Pantalla LCD Raspberry pi 4.....	37
Figura 31: Cargador de baterías de WavesShare.....	37
Figura 32: Imagen del Sistema portátil montado .....	39
Figura 33: Estudio de rendimiento en raspberry pi 4 .....	40
Figura 34: Imagen del sistema software ejecutado en la raspberry pi.....	41
Figura 35: Interfaz gráfica solución IBScamUltimate .....	42
Figura 36: Ejemplo de extracción de huellas con IBScamUltimate.....	43
Figura 37: Muestras extraídas .....	43
Figura 38: Flujo Aplicación .....	44
Figura 39: Ejemplo Fichero JSON .....	45
Figura 40 Interfaz UI Version Windows.....	46
Figura 41: Diagrama de la parte servidor del sistema .....	46
Figura 42 Logo SQLite .....	47
Figura 43: Imagen aplicación web de la Base de Datos.....	48
Figura 44: Ejemplo de uno de los registros de la base de datos .....	49
Figura 45: Diagrama interno API.....	50
Figura 46: Trama de comunicación extraída.....	52

Figura 47: Paquete HTTP respuesta servidor con Código 100 .....	52
Figura 48: Paquete HTTP con JSON .....	53
Figura 49: Paquete con respuesta 201 .....	54
Figura 50: Diagrama de Tramas.....	54
Figura 51: Ensayo laboratorio.....	55
Figura 52: Muestra con problemas de Contraste.....	56
Figura 53: Imagen muestra Sistema Sabien .....	56
Figura 54: Prueba de Extracción de Huellas .....	57
Figura 55: Imagen extraída en pruebas clínicas .....	57

# 1. Introducción

En este trabajo final de grado se analizará una problemática actual sobre la identificación pediátrica, se hará un estudio de las diferentes tecnologías actuales y se desarrollará un nuevo sistema de identificación digital mediante el uso de diferentes tecnologías sobre el área de las telecomunicaciones mediante los requisitos necesarios y después será testeado en el sistema sanitario actual.

## 1.1 Justificación

El desarrollo de sistemas de identificación ha evolucionado notablemente en la última década, pero tal progreso ha sido escaso en el campo de la identificación neonatal. Los métodos actuales para recolectar datos biométricos de neonatos son arcaicos y resultan poco eficientes, dada la complejidad del procedimiento. Ante esta carencia, el presente proyecto tiene por objetivo desarrollar un sistema innovador para el reconocimiento de neonatos, empleando las más recientes tecnologías, y abriendo así una nueva línea de investigación.

## 1.2 Objeto y objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es abordar el desafío del reconocimiento de neonatos a través de un sistema distribuido basado en la digitalización de huellas plantares. Para lograrlo, se utilizará el sensor comercial FIVE-0 de la reconocida empresa Integrated Biometrics Systems como herramienta clave de captura de huellas.

El sistema propuesto recogerá y procesará la información de las huellas plantares de los neonatos, convirtiéndolas en datos digitales y adjuntándola a información médica. Estos datos serán almacenados en bases de datos de tipo SQL, lo que permitirá su posterior análisis y utilización en desarrollos futuros.

El desarrollo de este sistema distribuido representa un avance significativo en la investigación y aplicación de tecnologías biométricas en el campo de la medicina neonatal. Además, contribuirá al desarrollo de técnicas de reconocimiento biométrico más precisas y efectivas, con posibles implicaciones en la seguridad y protección de la identidad de los neonatos.

## 1.3 Breve referencia a los ODS

Los ODS son los objetivos de Desarrollo sostenible adoptados como parte de la Agenda 2030 por los diferentes líderes mundiales en septiembre de 2015.

Son un conjunto de metas globales para afrontar algunos desafíos como los socioeconómicos y ambientales en el mundo, establecidos por las Naciones Unidas. Para alcanzar dichos objetivos es necesario la tecnología y el conocimiento, entre muchas otras áreas. [1]

Como estos objetivos deberían estar presentes en nuestro día a día, es posible relacionarlos con cualquier tarea que realicemos. En nuestro caso podemos observar como la mejora/uso de sistema de identificación de neonatos favoreciendo al sistema médico.

El presente TFG se relaciona con el ODS 3, relacionado con la salud y el bienestar ya que es un producto diseñado para mejorar la salud del cliente. Esto se debe a que uno de los indicadores de dicho objetivo es “la capacidad del Reglamento Sanitario Internacional (RSI) y la preparación para emergencias de la salud”. La meta que se debe conseguir con ello será “Reforzar la capacidad

de todos los países, en particular los países en desarrollo, en materia de alerta temprana, reducción de riesgos y gestión de los riesgos para la salud nacional y mundial”. [2]

## 1.4 Asignaturas relacionadas

Las asignaturas relacionadas en este proyecto son las asignaturas sobre el área de los sistemas telemáticos y electrónicos con la finalidad de crear un sistema distribuido cerrado compatible con las infraestructuras medicas existentes.

En el área de sistemas telemáticos se desarrolla el diseño e interpretación de sistemas y protocolos de envío de datos e imágenes mediante el uso de API-REST Y el uso de bases de datos SQL para guardarlos, Además del diseño de aplicaciones telemáticas para realizar estas acciones. Los conocimientos reflejados son de las asignaturas de “*Diseño de sistemas telemáticos*” (DST), “*Aplicaciones de sistemas Telemáticos*” (Atelem) y “*Comunicaciones multimedia*” (Cmulti).

En base a los sistemas electrónicos se ha desarrollado el diseño de aplicaciones para ser ejecutado mediante el uso de microprocesadores, además de estudios de arquitecturas para su correcto funcionamiento, las asignaturas en los que se captó estos conocimientos fueron en asignaturas de “*Sistemas de microprocesadores*” (Smicro), “*Aplicaciones de los microprocesadores*” (Apmicro) y “*Procesadores digitales de señal*” (DSP).

## 1.5 Estructura del trabajo

La presente memoria consta de 5 capítulos que siguen la estructura clásica de un trabajo académico.

**Capítulo 2, Marco teórico y conceptual** en el que se describe el estudio exhaustivo de la problemática actual que se pretende abordar con el proyecto. Se analizó el impacto que el proyecto puede tener en la sociedad española y se investigaron las soluciones existentes o en proceso de estudio. El objetivo principal era generar una solución propia que fuera innovadora y eficaz.

**Capítulo 3, Materiales y métodos** en este capítulo se habla del estudio realizado mediante el uso de encuestas a los profesionales sanitarios y visitas a hospitales. Además, se analizó el huellimetro FIVE-0, con la finalidad de establecer las especificaciones técnicas del sistema que se desarrollará en este proyecto.

**Capítulo 4, Resultados** se presentan los logros alcanzados durante la fase de desarrollo del sistema. En cuanto al hardware, se desarrollaron dos soluciones adaptadas a diferentes arquitecturas de procesadores: una solución portátil y otra fija. En lo que respecta al software, se describen las aplicaciones diseñadas para la extracción de huellas y los desarrollos en el backend para el enrutamiento y almacenamiento de datos. Además, se detallan los resultados obtenidos después de llevar a cabo pruebas tanto en laboratorio como en entornos clínicos.

**Capítulo 5, Conclusiones** en este capítulo se realiza un análisis objetivo sobre si el sistema cumple con los requisitos técnicos para una implementación futura en entornos hospitalarios. Se evalúa exhaustivamente el desempeño del sistema en relación con los objetivos establecidos, considerando aspectos como la portabilidad, la eficiencia del procesamiento de datos y la precisión en la extracción de huellas. Además, se llega a una conclusión final sobre las características y beneficios de este nuevo sistema, resaltando su potencial para mejorar la calidad de atención en entornos clínicos y su viabilidad para una implementación exitosa en el ámbito hospitalario.

## 2. Marco teórico y conceptual

Este capítulo realiza una introducción al marco teórico y al estado de la cuestión de la problemática abordada en el trabajo fin de grado. En primer lugar, se describe el contexto de natalidad, la problemática asociada a la identificación de lactantes y nacimientos en el ámbito local. En segundo lugar, se hace un estudio de las diferentes soluciones existentes en fase de desarrollo, clasificándolas por su naturaleza, invasivas o no invasivas. Por último, se define todos los objetivos para la realización del TFG, que se utilizara como guía para el correcto desarrollo del proyecto.

### 2.1 Problemática

En la actualidad el reconocimiento de infantes ha adquirido una creciente importancia en diversos entornos, especialmente en el ámbito de la salud y la seguridad de los niños [1]. Sin embargo, actualmente existen limitaciones en los métodos de identificación eficientes para lactantes y recién nacidos lo que conlleva una dependencia de la identificación de los padres o la emisión de certificados de identidad. Esto plantea una serie de desafíos y cuestiones que requieren ser abordados.

Una de las principales problemáticas es la falta de procedimientos no invasivos y seguros para la identificación eficiente de los lactantes. Aunque en los últimos años se han realizado mejoras significativas en el proceso de identificación del recién nacido, como el uso de pulseras identificativas desde el momento del nacimiento como puede visualizarse en la Figura 1, el fomento de la no separación madre-hijo y la asignación de historiales sanitarios [2], aún no se ha logrado desarrollar un método universalmente aceptado y eficaz.



*Figura 1: Imagen ple del neonato con pulsera identificativa*

Además, existen situaciones específicas que complican la identificación de lactantes, como el abandono de menores, los casos de partos múltiples y los problemas relacionados con la vacunación. Estas situaciones requieren procesos de gestión prolongados y costosos. El abandono de menores, en particular, plantea un desafío importante, ya que puede ser difícil establecer la identidad de un niño sin la cooperación de los padres y tutores.

A pesar de los protocolos actuales que garantizan una buena trazabilidad de los menores en el sistema sanitario, los errores humanos y situaciones concretas pueden ocasionar un gran daño moral y favorecer el delito de secuestro de menores. La historia ha brindado numerosos ejemplos

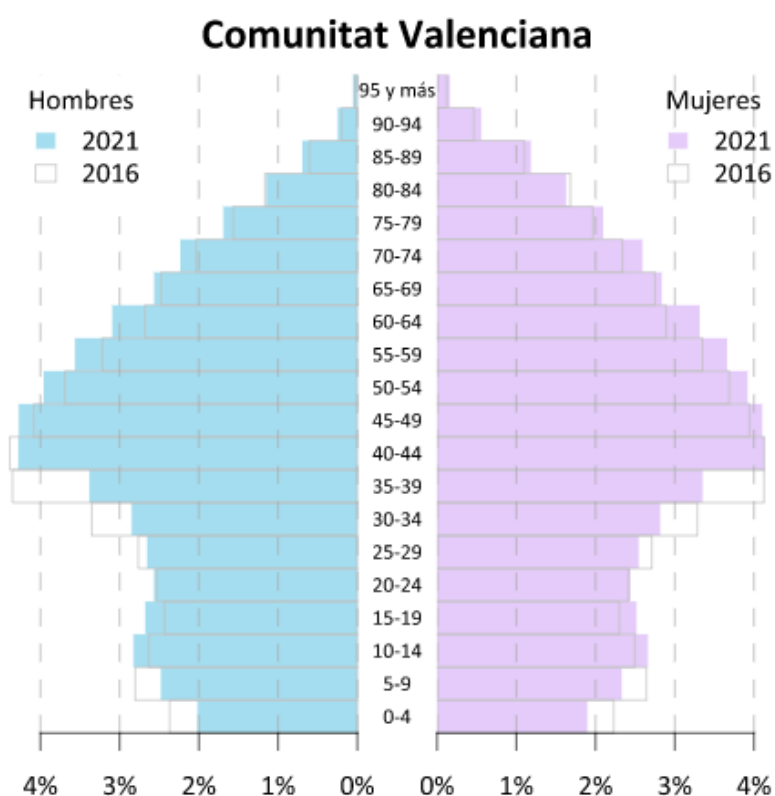


en los que se evidencia la repercusión moral y psicológica que puede surgir a partir de pequeños problemas en la identificación de lactantes, como el caso ocurrido en un hospital de Logroño en 2002<sup>1</sup>, donde se produjo un cambio accidental de dos bebés. Aunque los protocolos han evolucionado desde entonces, dicha situación ilustra las consecuencias morales y emocionales significativas que pueden surgir a los familiares [3].

En resumen, la problemática del reconocimiento de lactantes se relaciona con la falta de métodos de identificación eficientes, seguros y no invasivos, así como con las dificultades específicas asociadas al abandono de menores, los casos de partos múltiples y los problemas de una falta de identificación en el momento de la vacunación. Además, los errores humanos y las peculiaridades pueden ocasionar situaciones problemáticas es fundamental para garantizar la seguridad y el bienestar de los lactantes en diferentes contextos, como la atención médica y los procesos hospitalarios.

## 2.2 Estudio tasa de Natalidad

Con el objetivo de obtener el alcance de este proyecto en la sociedad española es necesario conocer en primera medida la situación demográfica actual. En este estudio se analizará la demografía y la tasa de natalidad en los últimos años de la Comunitat Valenciana.



2

Figura 2: Distribución de la población por edades [INE]

Como se puede observar en la Figura 2 se puede analizar que la población valenciana está sufriendo de manera alarmante un envejecimiento poblacional, las causas que están provocando

<sup>1</sup> El PAÍS, Un hospital de Logroño cambió por error a dos bebés en 2002  
<https://elpais.com/sociedad/2021-09-07> (último acceso julio 2023)

<sup>2</sup> Estadística pirámide de población [www.ine.es](http://www.ine.es) (último acceso julio 2023)

la inversión de las pirámides de poblaciones son del aumento de la esperanza de vida, la reducción progresiva de la mortalidad, junto a la disminución de las tasas de fecundidad [4].

Si centramos el análisis en el último factor antes mencionado se puede visualizar que la situación de la tasa de natalidad en los países valencianos lleva incrementándose desde el 2008 como puede observarse en la Figura 3.

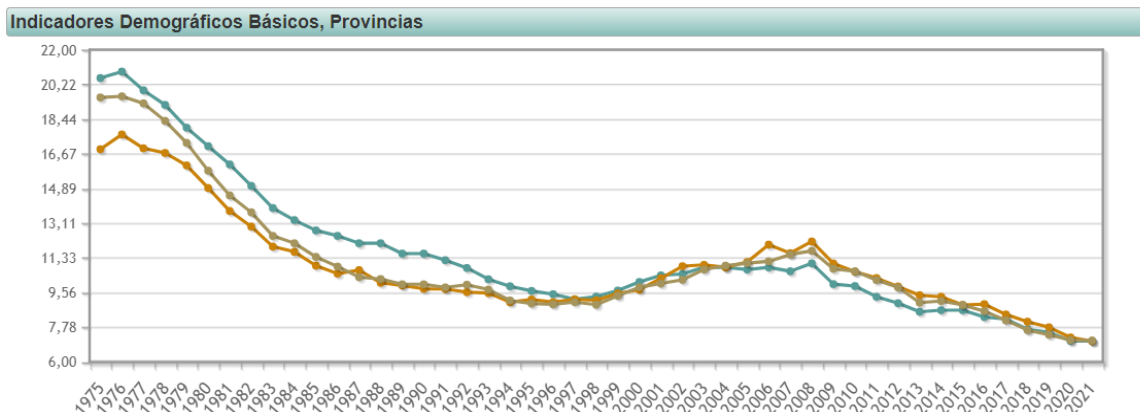


Figura 3: Histórico del número de alumbramientos en la Comunidad Valenciana [INE]

Adicionalmente cabe destacar que este tipo de estudios es necesario para diseñar las prestaciones del dispositivo de identificación, debido a que una de las principales características es su portabilidad y manejo. Con el objetivo de determinar la máxima autonomía en un día, hay que evaluar el número de nacimientos en el mes y provincia, cuyo mayor índice de nacimientos se produce debido a que no es una distribución uniforme.

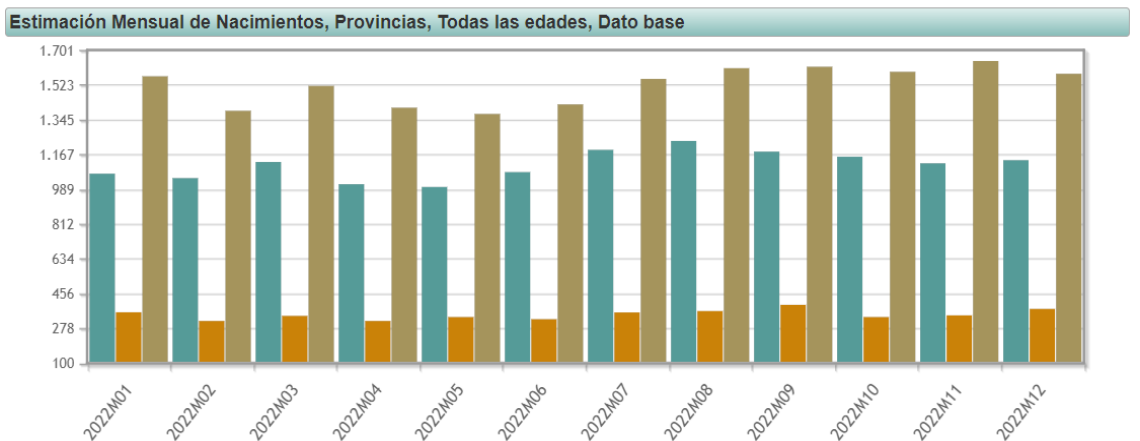


Figura 4: Comparativa de nacimientos según la provincia en el año 2022 [INE]<sup>3</sup>

Tras realizar el estudio de cada mes, se observa que la provincia donde se produce mayor índice de nacimientos es en la provincia de Valencia, aunque por estilo grafico se visualiza bastante uniformidad el mes donde se produce un mayor número de nacimientos es en noviembre con un índice de 54,9 niños / día.

### 2.3 Soluciones existentes

<sup>3</sup> Estadística de recién nacidos. [www.ine.es](http://www.ine.es) (último acceso julio 2023)

En la producción hospitalaria existen soluciones innovadoras para identificar a los recién nacidos que se pueden clasificar en dos categorías principales: las técnicas no invasivas, que son aquellas que no requieren intervenir físicamente en el neonato, y las formas invasivas, que implican algún tipo de procedimiento o manipulación física.

### 2.3.1 Soluciones no invasivas

En la actualidad, se han desarrollado diversos procedimientos que permiten identificar y estudiar características específicas en individuos que se encuentran en etapas de desarrollo tempranas, como los lactantes y neonatos [5]. A diferencia de otros procedimientos que implican manipulación directa en el cuerpo del paciente, como son los invasivos, estos enfoques se basan en métodos altamente probados y no invasivos que son aplicables en individuos que se encuentran en etapas de mayor madurez como en la juventud o la adultez.

Sin embargo, cuando se trata de la identificación de rasgos en lactantes/neonatos, se presenta un desafío adicional debido a que la extracción de muestras, y a diferentes factores tales como la gran complejidad de extraerlas, el cotejo de datos y la gran necesidad de tecnología con una alta sensibilidad para conseguir una alta resolución. Dentro del contexto se han localizado una serie de soluciones que poseen un alto grado de madurez de estudio.

#### 2.3.1.1 Soluciones mediante el registro de Iris

La identificación de individuos a través del análisis del iris se fundamenta en la detección de patrones únicos presentes en esta parte circular y coloreada del ojo. El iris exhibe características distintivas, como líneas radiales, puntos, crestas y collarete. Estos patrones son exclusivos para cada persona, incluso entre gemelos idénticos [6].

El proceso de registro de datos generalmente implica el uso de tecnologías de escaneo ocular, como escáneres de iris o cámaras especializadas como se puede observar en la Figura 5; estos dispositivos capturan imágenes de alta resolución y utilizan algoritmos de reconocimiento para extraer y codificar los patrones únicos presentes en él. Esta codificación se conoce como plantilla de iris.

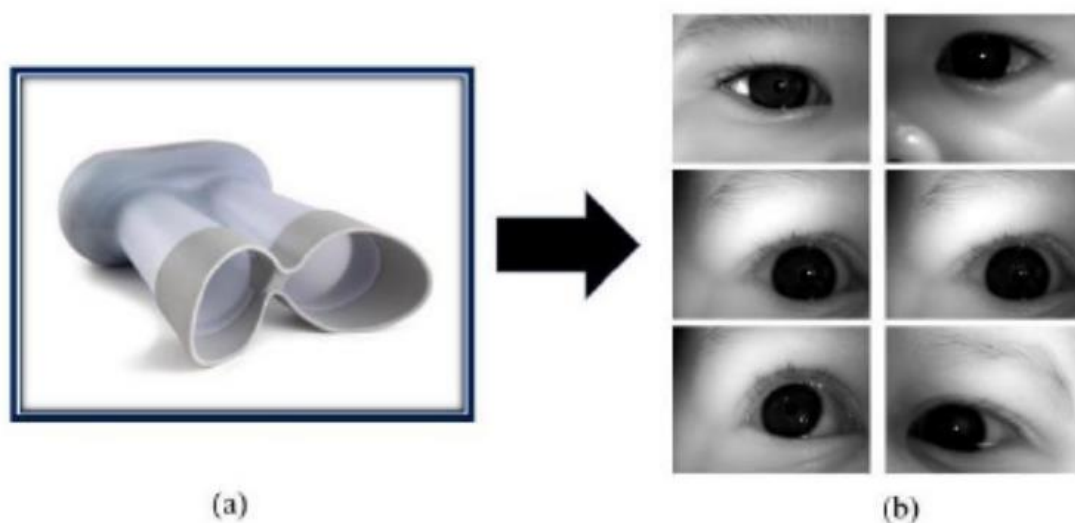


Figura 5: Dispositivo y muestras del sistema de reconocimiento por Iris

La identificación de lactantes mediante esta técnica ha sido ampliamente analizada en diversos estudios [7]. En la mayoría de los casos se han obtenido resultados altamente satisfactorios en individuos con edades comprendidas entre 1 y 3 años utilizando cámaras de alta resolución y software de análisis. Sin embargo, y lamentablemente, en individuos con menos de un año de edad la eficacia de estos procedimientos se ve reducida y se obtiene un bajo número de aciertos.

Los estudios mencionados anteriormente encontraron dificultades con la resolución y el momento de realizar las muestras ya que resultaba complicado obtener medidas precisas y muchas de las imágenes recolectadas no resultaron útiles. Es importante destacar que para la identificación posterior y el análisis en sistemas de identificación a partir de un año de edad se observa que el desarrollo de la córnea y el iris continúa cambiando hasta los 6 meses, lo que puede resultar en muestras que no aporten información relevante.

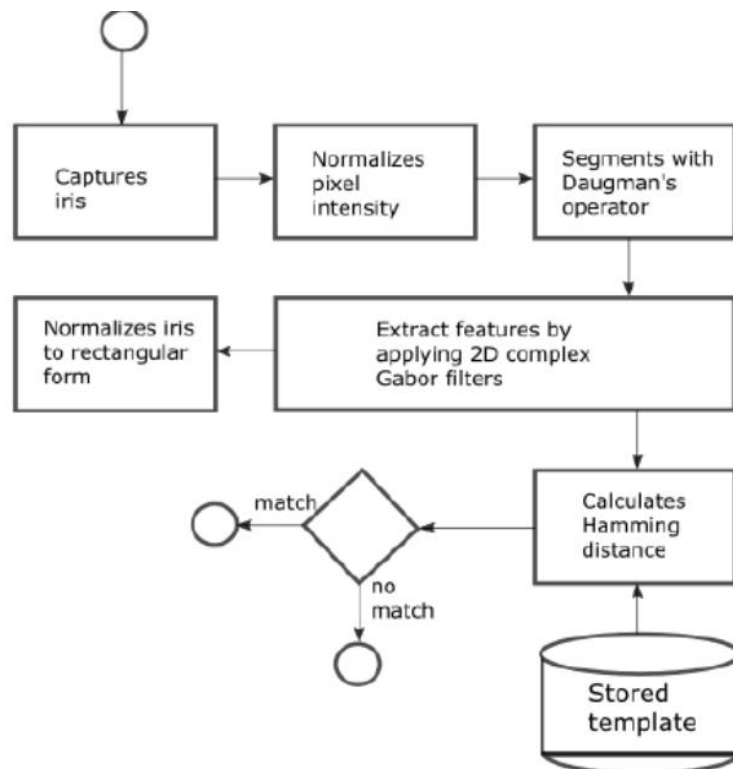


Figura 6: Algoritmo del proceso de identificación por Iris

En resumen, la identificación de individuos mediante el análisis del iris se basa en patrones únicos presentes en esta parte del ojo, si bien se ha demostrado ser efectiva en niños de 1 a 3 años su rentabilidad disminuye significativamente en lactantes menores de un año debido a diversas razones, como la dificultad en la toma de muestras y la continua evolución de la estructura del iris en los primeros meses de vida. Aunque exista esa tara en esta forma de reconocimiento se sigue su desarrollo por lo cual en un futuro sería una visión factible y actualmente se podría implementar para gestionar controles en el momento de validación de lactantes en procedimientos de vacunación.

### 2.3.1.3 Soluciones mediante el registro facial

La identificación de individuos a través de la extracción de características faciales es una tecnología ampliamente desarrollada y aplicada en diversas industrias tecnológicas [8]. Sin embargo, su aplicación en la identificación de lactantes es un campo de investigación relativamente joven y presenta desafíos particulares. En este contexto, se propone un algoritmo

que utiliza técnicas basadas en características locales para el reconocimiento facial de recién nacidos.

El algoritmo se basa en el uso de descriptores de características llamados Speeded up Robust Features (SURF) y Local Binary Patterns (LBP) para extraer características faciales distintivas de la rica textura de la piel de los recién nacidos. El descriptor SURF es invariante a la escala y la rotación, capturando información de gradiente dentro del vecindario del punto de interés. Por su parte, el descriptor LBP es un operador de textura que asigna representaciones binarias a los píxeles basándose en los valores de los píxeles vecinos.

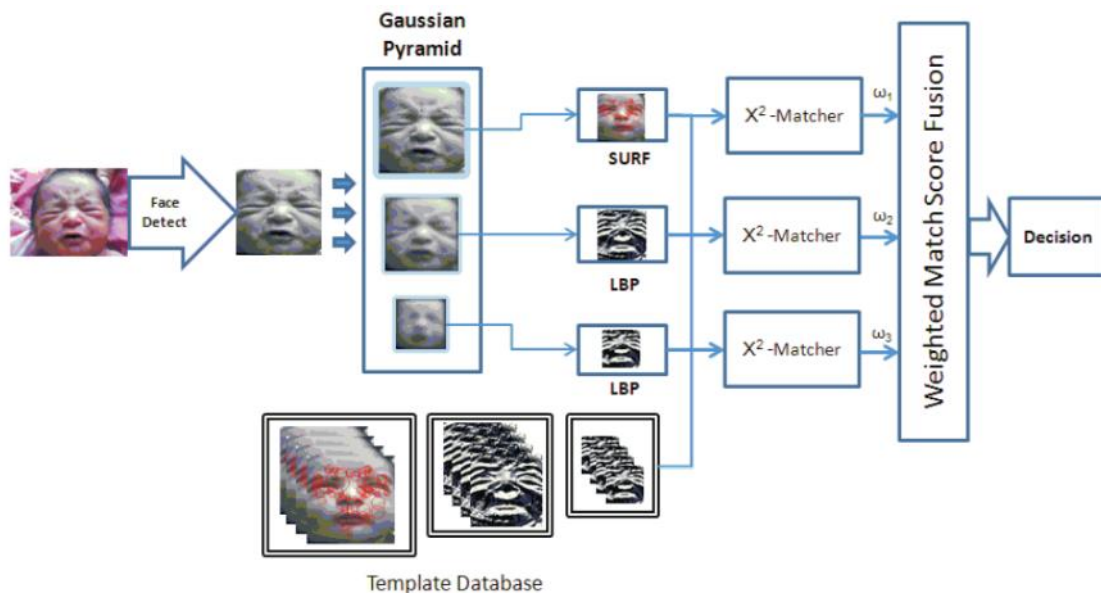


Figura 7: Algoritmo del funcionamiento de identificación por registro facial

Los algoritmos propuestos para esta tecnología aplican dos niveles de suavizado gaussiano para reducir artefactos y extraer características tanto de la imagen facial original como de las imágenes suavizadas. Esto permite mejorar la precisión y robustez del reconocimiento facial de recién nacidos.

Aunque diversos estudios demuestran la viabilidad del reconocimiento facial automático en esta etapa temprana de la vida, es importante destacar que la investigación se encuentra en un estado inicial y no ha alcanzado aún una solución a nivel industrial. Además, el desarrollo de algoritmos complejos representa un desafío adicional para su implementación generalizada [9].

En resumen, el reconocimiento facial de recién nacidos ha experimentado avances significativos mediante el uso de descriptores SURF y LBP, así como el empleo de técnicas de suavizado gaussiano. Sin embargo, para lograr una solución a nivel industrial, se requiere ampliar trabajos de desarrollo y superar los desafíos técnicos y de implementación existentes [10].

### 2.3.1.5 Soluciones mediante el registro de huella plantar

El reconocimiento de neonatos mediante el uso de la huella plantar es una práctica ampliamente reconocida y utilizada para identificar recién nacidos de manera única y precisa. Esta técnica se basa en la observación de que los patrones de la huella plantar son únicos para cada individuo y se forman durante las primeras etapas de desarrollo fetal.

El procedimiento implica la toma de una impresión de la planta del pie del recién nacido, que puede realizarse mediante dos métodos: el uso de tinta hipoalérgica o la captura digital. Ambos

métodos permiten obtener los patrones de las huellas plantares, los cuales se pueden comparar con otros registros para verificar la identidad del infante.



Figura 8: Ejemplo Hojas de registro con huella plantar

La implementación de este método resulta especialmente crucial en entornos como hospitales, maternidades y registros civiles, donde varios recién nacidos pueden estar presentes al mismo tiempo. Al garantizar que cada bebé sea correctamente identificado y emparejado con sus padres se minimizan los errores humanos y se fortalece la seguridad del proceso.

En los últimos años se ha explorado el uso de tecnologías de reconocimiento biométrico para mejorar y automatizar el proceso de identificación de la huella plantar. Estos sistemas utilizan algoritmos avanzados de reconocimiento de patrones, incluyendo el uso de redes neuronales, lo que incrementa la eficiencia y la precisión en la identificación [11].

Es importante destacar que, al igual que ocurre con las huellas dactilares, los puntos característicos de las huellas plantares no experimentan cambios significativos durante el desarrollo biológico humano [12]. Esto significa que una impresión tomada al nacer podría ser utilizada potencialmente en la verificación de la identidad en fechas posteriores, brindando una solución confiable y a largo plazo.

En resumen, el reconocimiento de neonatos mediante huella plantar es un método confiable, único y preciso para la identificación de recién nacidos. En los últimos años ha habido notables avances en las implementaciones biométricas logrando un elevado índice de éxito. A continuación, se describirán los distintos enfoques de extracción de datos mencionados anteriormente.

#### **2.3.1.5.1 Sistema tradicional mediante el uso de Tinta**

El procedimiento de extracción de huellas plantares mediante el uso de tinta es un enfoque ampliamente utilizado y de muy bajo costo para la identificación de recién nacidos. Consiste en aplicar una tinta no tóxica en los pies del neonato para obtener la impresión de las huellas. Aunque este sistema ha sido popular debido a su accesibilidad y facilidad de uso presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas para un uso eficaz en el sistema sanitario.

Una de las limitaciones principales del sistema de tinta es la falta de la resolución de las muestras obtenidas. Las huellas plantares obtenidas a través de este método pueden no presentar detalles nítidos y claros lo que puede afectar a la precisión de los resultados. Aunque se pueden identificar

características distintivas como el contorno general de la huella, las líneas principales y las áreas de presión y la falta de resolución puede afectar a la extracción de los puntos característicos.

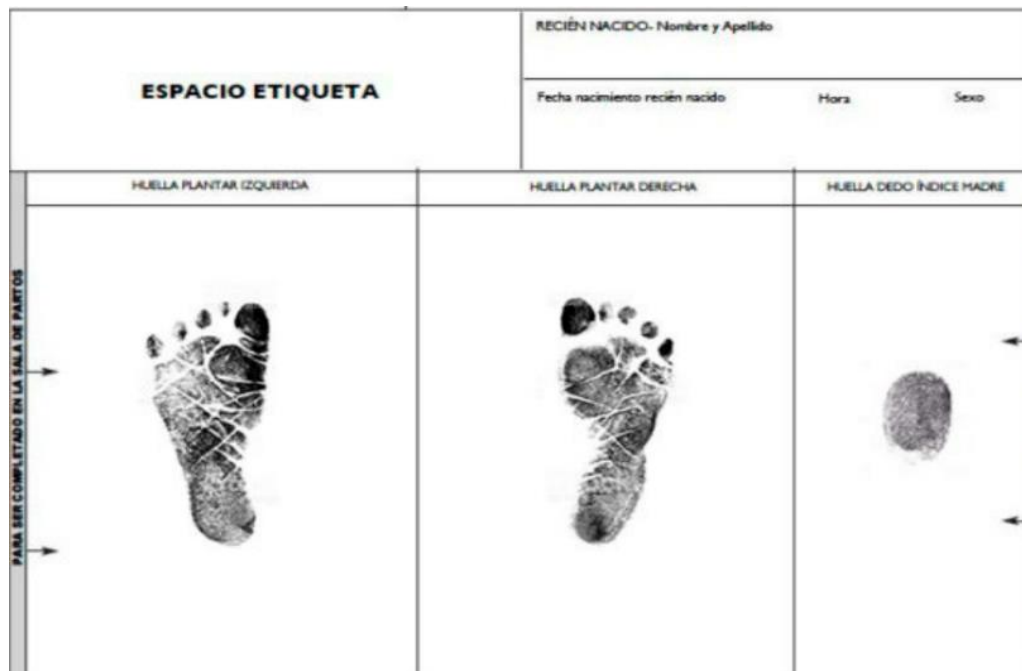


Figura 9: Ejemplo extracción de huellas mediante tinta

Es importante destacar que en el pasado se han registrado fallos en la aplicación del sistema de tinta debido a su uso inapropiado o por contaminaciones de las muestras. Para obtener resultados óptimos es necesario seguir cuidadosamente los procedimientos estipulados y evitar en mayor medida el fallo humano. Para la elección de la tinta correcta preferiblemente hacen uso de una tinta no tóxica y de calidad, obteniendo impresiones legibles y evitando cualquier posible reacción adversa en la piel delicada de los recién nacidos.

A pesar de estas limitaciones el sistema de tinta sigue siendo utilizado en entornos forenses y hospitalarios debido a su simplicidad y bajo coste Sin embargo es importante tener en cuenta sus restricciones y considerar la posibilidad de hacer uso de sistemas digitales para la extracción de las muestras ya que se conseguiría aumentar la precisión y claridad de las imágenes.

### 2.3.1.5.2 Sistema digital CERTASCAN

La empresa Certascan Technologies es líder en el campo de la identificación biométrica de neonatos utilizando escáneres de alta resolución para capturar las huellas dactilares de los recién nacidos. Su tecnología se basa en el uso de tecnologías ópticas e infrarrojas para lograr una precisión y confiabilidad excepcionales en la identificación<sup>4</sup>.

En entornos hospitalarios y centros de maternidad, el sistema de CertaScan se utiliza para crear un registro seguro y preciso de la identidad de cada recién nacido [13]. Al capturar las huellas dactilares se genera un perfil único para cada bebé lo que permite una identificación precisa y confiable a lo largo del tiempo.

<sup>4</sup> Página oficial Certascan [www.certascantek.com](http://www.certascantek.com) (último acceso julio 2023)

Las tecnologías ópticas e infrarrojas utilizadas garantizan una captura precisa de las huellas dactilares de los neonatos. La tecnología óptica se basa en la captura de imágenes utilizando luz visible, mientras que la tecnología infrarroja utiliza luz no visible para obtener una imagen más detallada de las huellas dactilares. Estas tecnologías combinadas aseguran una alta calidad de imagen y minimizan los errores de identificación.



*Figura 10: Dispositivo de la empresa Certascan System*

Para conseguir que las huellas se almacenen de forma segura se usa un sistema distribuido para el almacenamiento y tratamiento de las muestras capturadas lo que significa que los datos se guardan en bases de datos seguras y se generan bibliotecas de recursos rápidos. Esto garantiza la integridad y confidencialidad de los datos biométricos de los recién nacidos.

A pesar de que nos encontramos ante un sistema compacto y seguro uno de los defectos del sistema es la voluminosidad del mismo complicando el libre movimiento por entornos hospitalarios, siendo necesario hacer uso de carros de hospitales y de estar continuamente conectado a la red eléctrica.



*Figura 11: Huellas extraídas mediante el sistema de Certascan System*



En resumen, este sistema utiliza escáneres de alta resolución y combina tecnologías ópticas e infrarrojas para capturar huellas dactilares precisas. El sistema es seguro y confiable, gracias a su enfoque en el almacenamiento seguro de datos y generación de bibliotecas de recursos rápidos, pero es un sistema con dificultades para la maniobrabilidad debido a su peso y volumen y a la necesidad constante de estar alimentado con la red.

### 2.3.2 Soluciones invasivas

Con los avances en biotecnología, se ha logrado alcanzar un nivel de trazabilidad del 100% en la identificación de neonatos mediante el uso de análisis de ADN.

Este enfoque hace el uso de un procedimiento de recolección de muestras de sangre del cordón umbilical y se lleva a cabo inmediatamente después de el mismo. Se recolecta sangre del extremo placentario y se coloca en un papel de filtro adecuadamente etiquetado. Además, se obtiene una muestra de sangre de la madre [14]. Estas muestras se conservan a temperatura ambiente y se guardan en un recipiente de plástico sellado junto con el historial clínico de la madre.

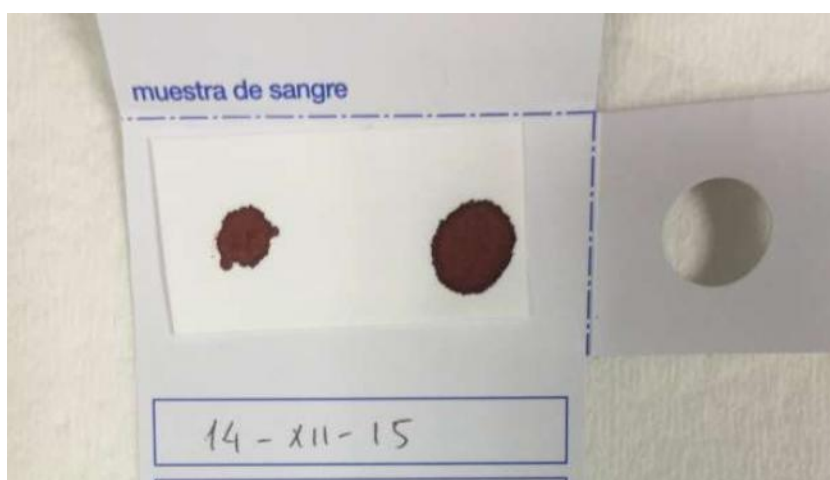


Figura 12: Muestras de sangre seca del neonatos

El sistema de reconocimiento invasivo basado en el análisis de ADN ofrece ventajas significativas en términos de confiabilidad y precisión en la identificación de la relación madre-hijo en neonatos. Las muestras de sangre seca han demostrado ser válidas durante largos períodos permitiendo su conservación en biobancos para análisis a largo plazo.

Este procedimiento plantea problemáticas sociales y éticas especialmente en culturas que tienen una visión particular sobre el uso de la sangre. Además, ralentizan el proceso de identificación y tienen un alto costo monetario ya que requieren el uso de análisis de ADN.

En resumen, aunque las soluciones invasivas basadas en el análisis de ADN brindan una alta confiabilidad en la identificación de neonatos, es importante considerar las implicaciones sociales, éticas y económicas asociadas a estos procedimientos.

### 2.3.3 Comparativa de las tecnologías

Tras realizar un exhaustivo análisis de las soluciones existentes en desarrollo, se ha llevado a cabo una comparativa exhaustiva con el objetivo de determinar cuál de ellas es la más efectiva y posee un mayor potencial de desarrollo futuro. Esta evaluación se ha llevado a cabo con la finalidad de abordar la problemática actual y ofrecer una solución fiable y de calidad. En la siguiente tabla se extraerán las diferentes características de cada uno de los sistemas para hacer una comparativa.

	Procesos no invasivos			Procesos invasivos
	Análisis del Iris	Reconocimiento Facial	Registro de huella plantar	Análisis de ADN
<b>Fundamento</b>	Detección de patrones únicos en el iris del ojo	Extracción de características faciales distintivas	Observación de patrones únicos en la huella plantar	Análisis del ADN mediante muestras de sangre
<b>Edad efectiva</b>	Eficaz a partir de 1-3 años; reducida eficacia en lactantes <1 año	Efectivo en recién nacidos	Efectivo en recién nacidos	Efectivo en recién nacidos
<b>Tecnología utilizada</b>	Escáneres de iris o cámaras especializadas	Algoritmos basados en descriptores SURF y LBP	Impresión de la huella plantar	Análisis de genomas
<b>Resolución de muestras</b>	Alta resolución requerida; dificultad en lactantes <1 año	Depende de la calidad de las imágenes	Depende de la calidad de las impresiones	
<b>Cambios biológicos</b>	Desarrollo continuo del iris hasta los 6 meses	Cambios mínimos en las características faciales	Estabilidad de las características a lo largo del tiempo	Estabilidad de las características a lo largo del tiempo
<b>Viabilidad industrial</b>	Ampliamente utilizado y en desarrollo	Investigación en estado inicial	Ampliamente utilizado y en desarrollo	Ampliamente utilizado y en desarrollo
<b>Limitaciones</b>	Dificultad en la toma de muestras; evolución del iris en lactantes <6 meses	Complejidad en algoritmos y desarrollo	Calidad de las impresiones y desafíos técnicos	Altos costes y procesos que conllevan mucho tiempo.
<b>Seguridad y confiabilidad</b>	Alta seguridad y confiabilidad en la identificación	Desarrollo y desafíos técnicos	Alta seguridad y confiabilidad en la identificación	Alta seguridad y confiabilidad en la identificación

Tabla 1: Tabla explicativa de las diferentes soluciones existentes

Tras estudiar las diferentes características del sistema se ha creado una tabla con la finalidad de si cumple los objetivos necesarios, con la finalidad de cuál es la mejor opción para generar una solución fiable y segura, para suplir el problema actual a la hora de identificación de neonatos.

	Análisis del Iris	Reconocimiento Facial	Registro de huella plantar	Análisis de ADN
<b>Inequívoco</b>	***	***	***	***
<b>Permanencia</b>	***	*	***	***
<b>Eficaz</b>	***	*	***	***
<b>Rendimiento esperado</b>	*	**	***	***
<b>Compatible para neonatología</b>	*	***	***	***
<b>Edad suficiente para implementar</b>	*	***	***	***
<b>Facilidad para extraer muestras</b>	*	***	***	***

Tabla 2. Comparativa de métodos y tecnologías para la identificación de lactantes (\*Mal; \*\*Regular; \*\*\*Bien)

## 2.4 Objetivos del TFG

Tras analizar la problemática actual y las diferentes tecnologías existentes que poseen un alto grado de madurez, en el presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal **la creación de un sistema de identificación biométrico para el registro de la huella plantar de recién nacidos**. Este sistema se propone como una solución integral y eficiente que supere las problemáticas actuales asociadas a la identificación de recién nacidos vistas en los anteriores apartados.

Los objetivos específicos que se abordarán en este TFG son los siguientes:

1. Examinar y evaluar las soluciones existentes basadas en identificación biométrica, analizando sus ventajas y desventajas al aplicarse a neonatos/lactantes.
2. Diseñar un sistema de identificación biométrico basado en la huella plantar de los neonatos/lactantes, aprovechando las características únicas y estables de esta parte del cuerpo.
3. Desarrollar un prototipo funcional del sistema de identificación biométrico propuesto, que permita la captura, el almacenamiento y la comparación de las huellas plantares de los neonatos/lactantes de manera confiable y segura.
4. Evaluar y validar la efectividad y la precisión del sistema de identificación biométrico mediante pruebas y análisis exhaustivos.
5. Evaluar la viabilidad y la aplicabilidad del sistema propuesto en entornos clínicos y hospitalarios, considerando aspectos de privacidad, seguridad y usabilidad.
6. Analizar y discutir los resultados obtenidos, destacando las ventajas y beneficios del sistema de identificación biométrico desarrollado, así como sus posibles aplicaciones y perspectivas futuras.

### 3. Materiales y métodos

En este capítulo se realiza una descripción de la metodología general y los recursos que se han empleado para realizar el trabajo fin de grado. Para ello, el primer paso consistió en diseñar e implementar una encuesta a profesionales sanitarios para conocer los requisitos funcionales que debería tener el sistema electrónico a diseñar. Posteriormente se aborda....

#### 3.1 Encuesta a profesionales sanitarios

En el ámbito de la atención médica, la identificación precisa y confiable de los pacientes es de vital seguridad y la calidad de la atención. En particular, la identificación del recién nacido y del paciente lactante es un proceso crítico. Con el objetivo de comprender mejor las necesidades y los desafíos existentes en este ámbito, se llevó a cabo una encuesta a profesionales sanitarios de varios hospitales a nivel nacional.

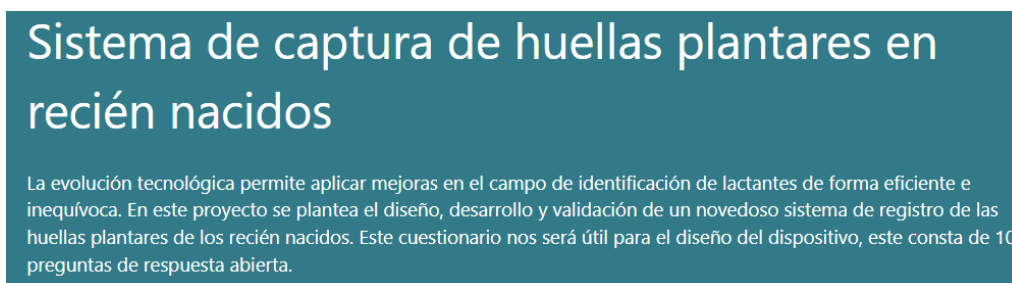


Figura 13: Cabecera de la encuesta realizada al sistema sanitario.

Esta encuesta tuvo el propósito de recopilar información relevante sobre características técnicas y funcionales requeridas para el desarrollo de un sistema de identificación eficiente y preciso. Se formularon preguntas específicas relacionadas con el rol de los profesionales en el hospital, las áreas donde se lleva a cabo la identificación, los momentos en los que se requiere este proceso, los requisitos necesarios, los profesionales involucrados en la identificación, la información necesaria y características lumínicas y ambientales.

La encuesta se proporcionó mediante un enlace a profesionales sanitarios colaboradores del grupo de investigación ITACA-SABIEN y a profesionales del Hospital de Tomelloso. La encuesta estuvo habilitada 20 días y fue respondida por un total de 30 profesionales, que tardaron aproximadamente  $8 \pm 2$  minutos en responderla. A continuación, se analizan las respuestas obtenidas para cada ítem del cuestionario.

#### Pregunta 1: ¿Qué tipo de rol desempeña en el Hospital?

La encuesta fue respondida por aproximadamente 19 profesionales con distintas funciones. Estas respuestas son útiles para obtener diferentes puntos de vista de cada tipo de profesional con relación a las diferentes cuestiones planteadas. En este punto, se observó que la mayoría de los encuestados desempeñaban el rol de matrones, con 11 respondiendo a esta categoría. Les siguieron 5 enfermeros y 4 médicos (Figura 14)

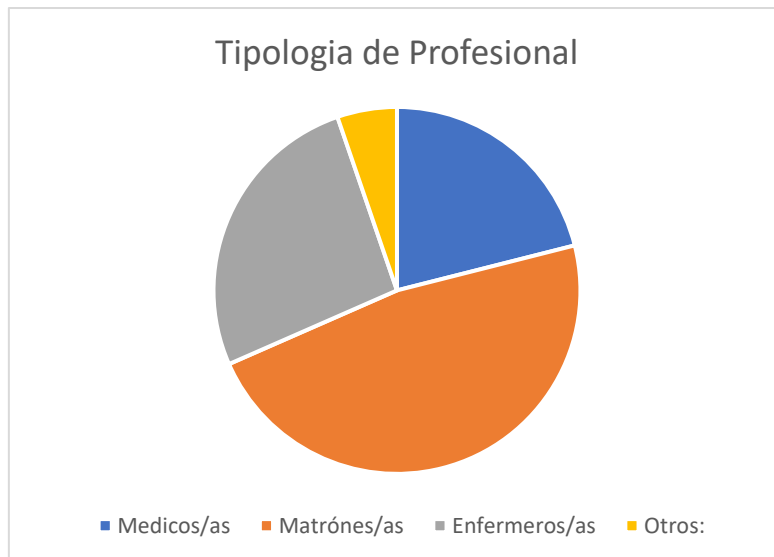


Figura 14: Gráfico de los resultados de la tipología del profesional.  
Matrones/as[52%] Enfermeros [24%] Médicos [19%] Otros [5%]

**Pregunta 2. ¿En qué áreas del hospital/centro de salud es habitual que se realice una identificación?**

La segunda pregunta se centra en determinar en qué áreas del hospital es necesario llevar a cabo la identificación biométrica del infante / neonato. Esto es importante para determinar el número de dispositivos necesarios o si el dispositivo debe ser portátil. Según las respuestas obtenidas las áreas donde se considera más necesario realizar la identificación son los paritorios (lo más común), que corresponde al momento del alumbramiento, y las salas de hospitalización, que están asociadas al alta o a la realización de alguna gestión médica. Además, varios encuestados mencionaron otras áreas como los quirófanos y la admisión de puertas de urgencias.

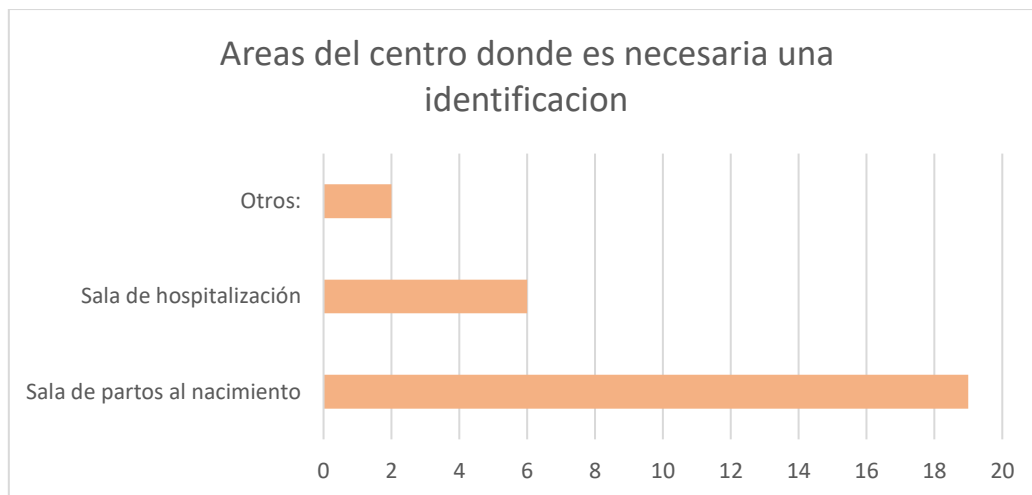


Figura 15: Gráfico de las áreas necesarias para una identificación

**Pregunta 3: ¿Cuáles son los momentos en los que se precisa una identificación del recién nacido/paciente lactante?**

En esta tercera pregunta se indaga sobre los momentos en los que es necesario realizar la identificación del recién nacido. Las respuestas obtenidas se detallan a continuación:

Sala de partos al nacimiento: Esta es la respuesta más común, ya que la identificación del recién nacido se realiza inmediatamente después del nacimiento en la sala de partos.

Segundo ingreso hospitalario: En algunos casos, puede ser necesario volver a identificar al recién nacido durante un segundo ingreso hospitalario.

Antes de una administración de una transfusión de hemoderivados: La identificación también puede ser requerida antes de procedimientos médicos como la transfusión de hemoderivados.

Antes de una intervención quirúrgica: En situaciones donde se requiere una cirugía, se realiza una identificación previa al procedimiento.

Otros momentos determinados: Algunos encuestados mencionaron otros momentos en los que se realiza la identificación, como el cambio de servicio de neonatos a planta de hospitalización, administración de medicación, traslados intrahospitalarios, traslados a otros servicios, desplazamientos para realización de pruebas o tratamientos, y realización de exploraciones complementarias fuera de la unidad de hospitalización.

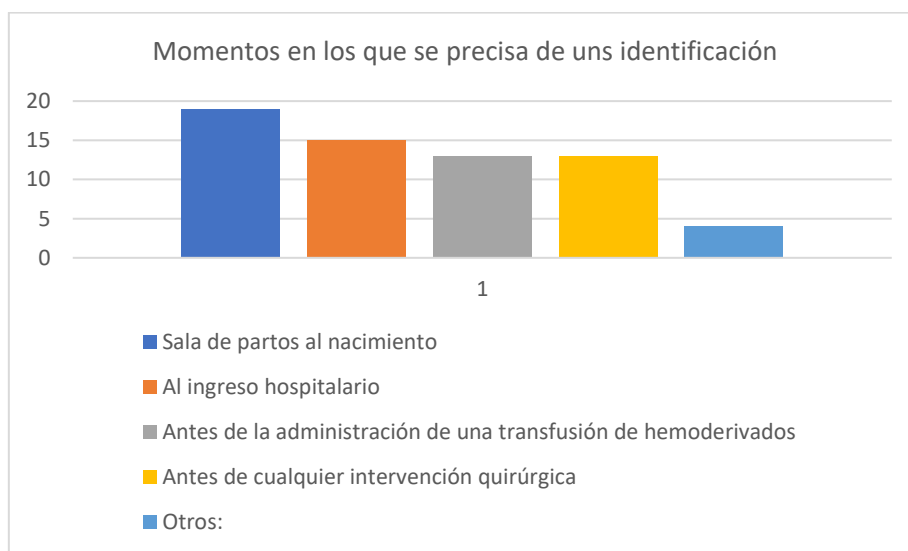


Figura 16: Gráfico de los momentos que se precisa una identificación

**Pregunta 4: En el acto de identificación del paciente, ¿Qué profesionales deben de estar presentes y quién debe ser el profesional que haga dicho acto?**

En el acto de identificación del paciente según los datos recopilados en la encuesta no existe un consenso claro sobre qué profesionales deben estar presentes y quién debe llevar a cabo dicho acto. Hubo controversia y respuestas diversas debido a la naturaleza abierta de la pregunta. Aunque se mencionaron repetidamente los roles de matrones/as y enfermeros/as en la identificación, también se hizo referencia a la participación de otros profesionales del área.

Esta falta de una norma o protocolo específico para la identificación del paciente puede indicar que no hay una responsabilidad exclusiva asignada a un profesional en particular. Esto podría dificultar la creación de un dispositivo compacto destinado a un único profesional específico.

**Pregunta 5 y 6: ¿Como definiría su ámbito de trabajo en condiciones lumínicas? y de manera usual ¿Qué tipo de iluminación en horario diurno?**

Estas preguntas se realizaron con la finalidad de determinar el tipo de pantalla que se necesitaría en el sistema a causa de que la iluminación puede determinar una calidad del usuario y de la posibilidad de que no se produzcan capturas de huellas de mala calidad a causa de la reflexión de la luz. En la mayoría de las respuestas, se indica que en el ámbito de trabajo las condiciones lumínicas son muy buenas y con luz artificial, vemos por lo tanto que no es necesario hacer uso de pantallas electroluminiscentes ya que la experiencia visual en esos entornos no va a ser lo suficientemente eficiente, por lo que determinamos que para hacer un uso más rentable se harán uso de pantallas LCD.

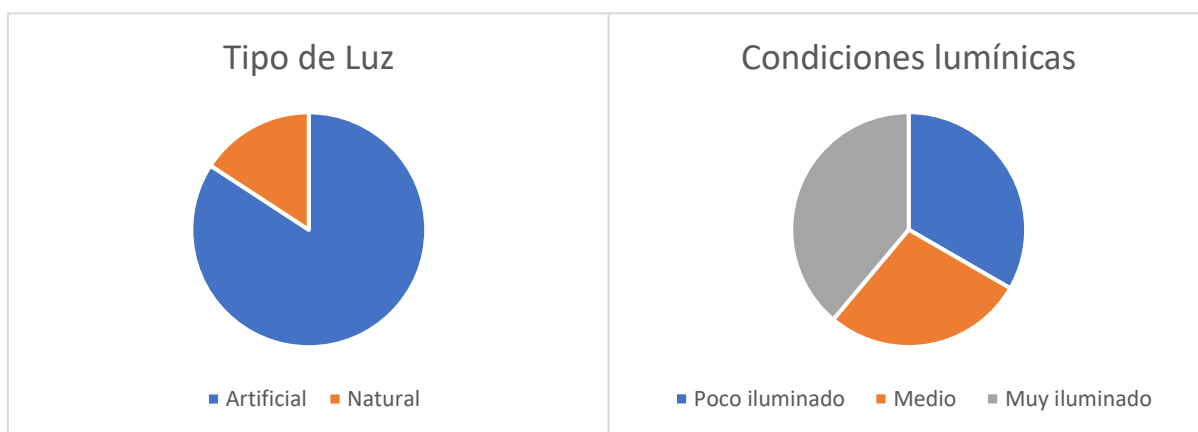


Figura 17: Gráficos de las condiciones lumínicas  
Artificial [81%]; Natural [19%]  
Poco Iluminado [29%]; Medio [29%];Muy Iluminado[43%]

**Pregunta 7: ¿Es usual hacer algún tipo de identificación en el momento de la vacunación del recién nacido/ lactante? ¿Qué datos son necesarios para la identificación?**

En el contexto de la vacunación de recién nacidos y lactantes es común llevar a cabo algún tipo de identificación para asegurar la correcta administración de las vacunas y mantener un registro preciso de los datos del paciente. Si bien no existe un consenso absoluto sobre la necesidad de identificar a los lactantes se observa que una mayoría respalda esta práctica, lo que indica que en las consultas de pediatría se requiere algún sistema de identificación.

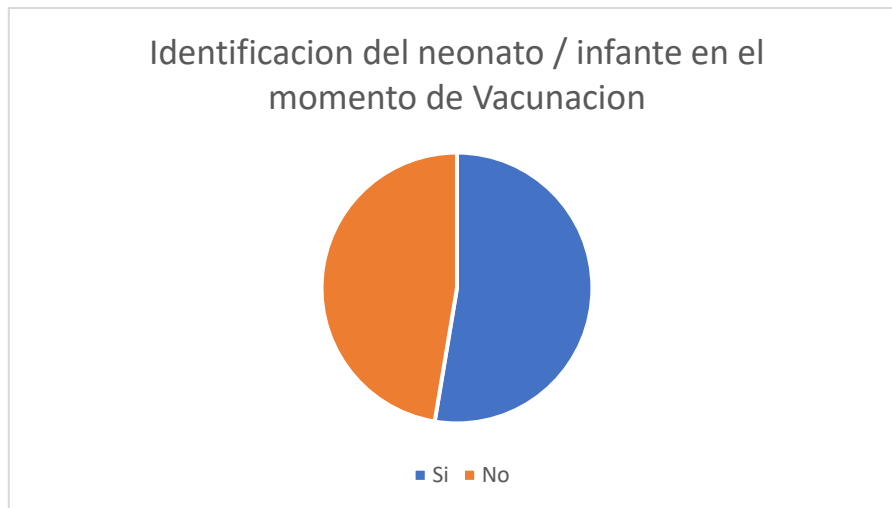


Figura 18 Grafico de los resultados de la necesidad de identificación del neonato Si [57%] No [43%]

Adicionalmente, durante la realización de la encuesta se implementaron entrevistas con preguntas de respuesta abierta para completar las especificaciones funcionales del sistema. De esta forma, Al recabar información de los participantes que respondieron afirmativamente, se obtuvieron diversos campos necesarios para la identificación, los cuales pueden ser bastante complejos e incluyen elementos como cartillas de salud, pulseras identificativas y registros, entre otros. Sin embargo, se consideró que los campos más importantes para lograr una trazabilidad adecuada son los siguientes:

1. **Número de Historia Clínica del Paciente (NHCP):** Este número único asignado a cada paciente en el sistema de salud permite mantener un registro continuo y unificado de su historial médico, lo cual resulta fundamental para asegurar una correcta administración de vacunas y un seguimiento adecuado.
2. **Número de Seguridad Social (SIP):** Este identificador personal asignado a cada individuo en el sistema de seguridad social ayuda a identificar al paciente de manera inequívoca, facilitando el acceso a su historial médico y permitiendo un seguimiento efectivo de las vacunas administradas.
3. **Número de pulsera:** En algunos casos, se utiliza una pulsera identificativa con un código único para el paciente, lo cual permite una identificación rápida y precisa durante el proceso de vacunación. Este número de pulsera se vincula a los registros del paciente, garantizando una adecuada trazabilidad.
4. **Nombre de la madre:** Registrar el nombre completo de la madre del recién nacido o lactante es importante para evitar cualquier confusión en la identificación del paciente. Además, este dato puede resultar útil para fines de seguimiento y contacto en situaciones específicas.
5. **Documento Nacional de Identidad (DNI) de la madre:** Solicitar el DNI de la madre proporciona un respaldo adicional en la identificación del paciente, ya que ayuda a verificar su relación con el recién nacido o lactante. Este dato puede ser necesario en casos de consultas posteriores o para el registro oficial de las vacunas administradas.

Estos campos seleccionados, NHCP, SIP, número de pulsera, nombre de la madre y DNI de la madre, permiten establecer un sólido sistema de identificación y trazabilidad en el contexto de la vacunación de recién nacidos y lactantes. Su utilización ayuda a garantizar la seguridad y la correcta administración de las vacunas, así como a mantener registros precisos y confiables de los datos del paciente a lo largo de su atención médica.



### 3.2 Estudio de área hospitalaria

Para recabar la máxima información posible antes de generar los requisitos del sistema, se llevó a cabo una visita a las instalaciones del área de neonatología del Hospital de La Fe de Valencia. Durante la visita, se analizaron las infraestructuras existentes donde es necesario utilizar un sistema de identificación para neonatos/infantes.



*Figura 19: Paritorios Hospital de la Fe*

Se observaron diferentes áreas sin interrumpir la tranquilidad de los familiares ni el trabajo de los equipos médicos. Las áreas estudiadas incluyeron la entrada a la UCI, los paritorios y las diferentes salas de la UCI. Durante este análisis, se identificó la presencia de ordenadores en todos los paritorios, la UCI y las puertas. Sin embargo, en los ordenadores de la UCI, estos estaban apartados en una sala especial debido a que su función era monitorear el estado de salud de los pacientes y no sería posible ejecutar el sistema de identificación en ellos. Por lo tanto, se concluyó que es necesario desarrollar una solución portátil, como se muestra en la Figura 20.



*Figura 20: UCI neonatal Hospital de la Fe*

Además, se pudo comprobar cómo funciona el protocolo de actuación sobre el neonato, tras el momento del alumbramiento, el recién nacido es identificado, se les hace un chequeo médico y en caso de que no haya ningún problema es llevado a planta, tras dos días se le da el alta médica. En caso de que este no pase el chequeo médico es ingresado en la UCI para suministrarle un tratamiento, cuando se encuentre en estado médico bueno se le dará el alta. Como se muestra en la Figura 21 de manera conceptual.

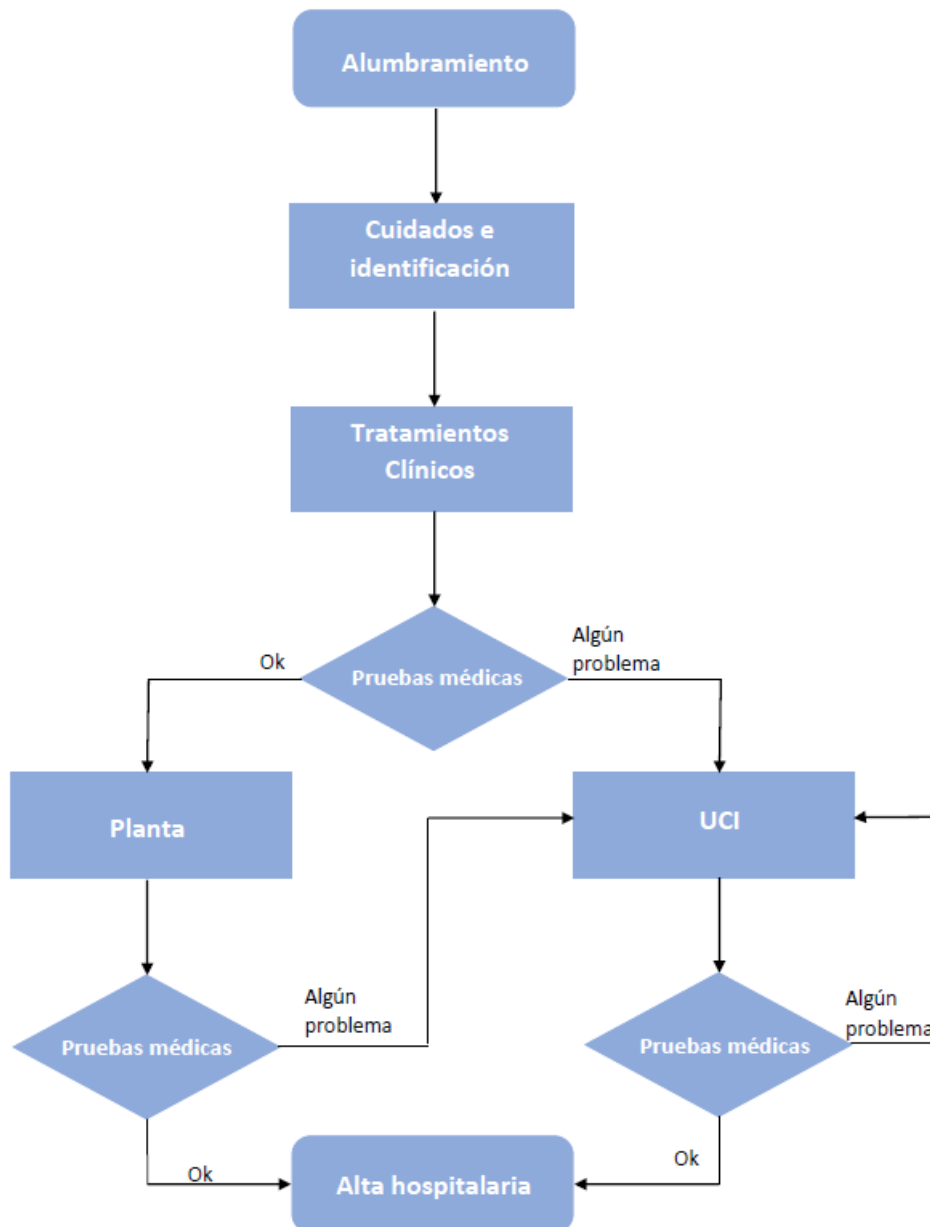


Figura 21: Breve descripción del proceso

### 3.3 Requisitos y diseño funcional

Después de analizar los datos recopilados a partir del cuestionario y el estudio de área, se ha desarrollado un sistema que satisface las diversas necesidades con la intención de conseguir una solución eficiente y segura que pueda ser usada por los profesionales del sistema médico español.

1. **Captura de datos:** El sistema permite la recopilación de información de identificación de neonatos de manera segura y eficiente, incluyendo huellas dactilares, datos hospitalarios y datos parentales.
2. **Sistema distribuido:** Dado que en un solo hospital se requieren varios dispositivos y es necesario enviar los datos al registro civil, es fundamental que los datos se guarden de manera segura en una base de datos. Se implementarán mecanismos de tele gestión para facilitar la gestión y supervisión remota del sistema.
3. **Seguridad y privacidad:** Se implementarán medidas de seguridad, como autenticación y encriptación, para proteger la integridad y confidencialidad de los datos. Además, se garantizará el cumplimiento de normativas y regulaciones de privacidad, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) u otras leyes aplicables.
4. **Compatibilidad y escalabilidad:** El sistema será compatible con diferentes dispositivos de captura de huellas dactilares y sistemas operativos. También se diseñará con capacidad de escalabilidad para adaptarse al crecimiento del volumen de datos y al aumento de dispositivos de captura.
5. **Conectividad y sincronización:** El sistema se integrará con una API REST que permita el envío y recepción eficiente y seguro de datos. Además, se establecerá una sincronización periódica o en tiempo real de los datos entre los dispositivos de captura y la base de datos central.
6. **Gestión de la base de datos:** Se garantizará un almacenamiento seguro y confiable de los datos de identificación de neonatos en una base de datos centralizada. Se implementarán medidas de respaldo y recuperación de datos para asegurar la disponibilidad y la integridad de la información.
7. **Monitorización y generación de informes:** El sistema proporcionará funcionalidades de monitorización en tiempo real para supervisar el estado de los dispositivos y el flujo de datos. También permitirá la generación de informes y análisis estadísticos para evaluar la calidad de los datos y el rendimiento del sistema.
8. **Interfaz de usuario:** Se diseñará una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar. Además, el sistema contará con una interfaz para la visualización de los resultados de las pruebas de identificación, facilitando el acceso a los datos relevantes.

### 3.4 IBS FIVE-0



*Figura 22: Fotografía sensor FIVE-0*

Para la captura de datos, se ha optado por la captura de la huella plantar como método menos invasivo y ergonómico para la identificación de lactantes. Además, para el diseño del sistema se ha optado por una solución que digitaliza la huella plantar, eligiendo la mejor opción en términos de calidad y espacio: el dispositivo FIVE-0 de Integrated Biometrics Solutions (IBS). El FIVE-0 es un dispositivo diseñado por Integrated Biometrics y certificado por el FBI (Buró Federal de Investigaciones) de Estados Unidos como dispositivo de identificación biométrica. Con un diseño compacto y ligero, su característica principal es el uso de tecnología emisora de luz (LES), que permite obtener imágenes fijas, móviles y certificadas de huellas dactilares.

#### **Imágenes y captura**

La tecnología LES (Tecnología emisora de luz) es una de las principales características técnicas del huellmetro FIVE-0. Esta tecnología permite una captura precisa y fiable de las huellas digitales, ya que utiliza una película que solo reacciona al contacto con los dedos humanos, lo que reduce el riesgo de falsos positivos o negativos. Además, la cámara TFT incorporada al equipo permite una captura de imagen de alta resolución obteniendo imágenes claras y detalladas de las huellas digitales. Esta combinación de tecnologías hace que el FIVE-0 sea una herramienta altamente efectiva para la identificación biométrica en una variedad de aplicaciones, desde la seguridad pública hasta la gestión de identidades en empresas y organizaciones.

El tamaño de las imágenes capturadas es de 1600 x 1000 píxeles con una resolución de color de 256 escalas de grises en rango dinámico, este rango dinámico es esencial porque afecta la cantidad de información que se puede capturar en una imagen y, por lo tanto, puede influir en la calidad y el detalle resultante.



*Figura 23: Muestras recogida por el sensor FIVE-0*

El rendimiento de la velocidad de captura de la imagen puede variar en función del tipo de acción capturada. En situaciones de impactos la velocidad de captura debe ser superior a 7,7 FPS, mientras que en situaciones de movimientos bruscos la velocidad debe ser mayor a 10 FPS.

Por último, las imágenes pueden estar disponibles en diferentes formatos como RAW, JPEG2000 y PNG entre otros, y la elección del formato dependerá del uso previsto de la imagen y de las especificaciones requeridas para el sistema.

### **Peso y dimensiones**

El dispositivo se caracteriza por ser un producto ligero y compacto en cuanto a sus dimensiones. Con un peso de 191.64 gramos, resulta fácil de manipular y transportar. Su superficie cuenta con diferentes partes destacables, entre las que se encuentran la platina con una dimensión de 85.85 mm x 53.97 mm, el área de sensación de huellas digitales de 81.28 mm x 50.80 mm y las dimensiones del ensamblaje de 113.4 mm x 82.9mm y 17.2 mm. Estas características hacen del dispositivo una herramienta cómoda y eficiente para la captura de huellas digitales en diversas situaciones, tanto en entornos laborales como personales. Además, su diseño ergonómico y reducido tamaño lo convierten en un dispositivo fácil de integrar en cualquier lugar donde se requiera su uso.

### **Software Development Kit**

El sistema que estamos desarrollando es altamente adaptable y puede utilizarse en una amplia variedad de sistemas operativos, incluyendo Windows Desktop 32/64 bit, servidores de Windows, Linux, Android 4.0 y Java.

## **3.5 Metodología y entornos de desarrollo**

El método para la realización de este diseño ha sido ir segmentando el trabajo en 6 fases claramente diferenciadas.

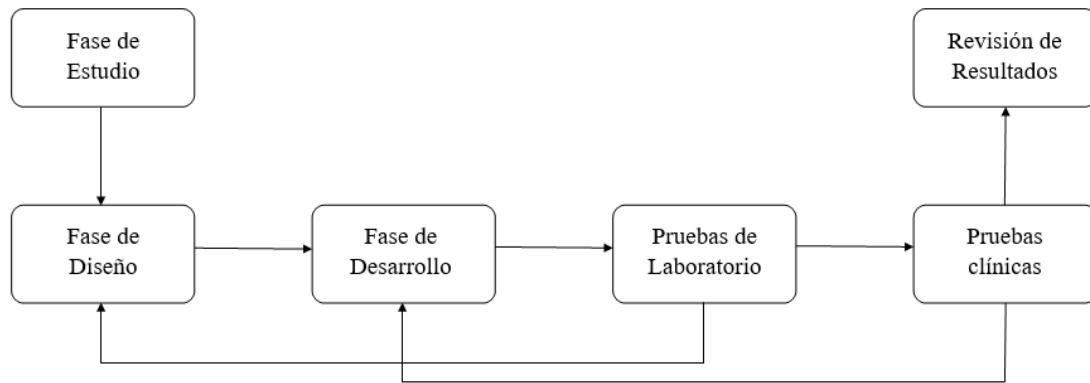


Figura 24: Flujo de trabajo

### 1. Fase de Estudio:

En esta fase, se adquirió el sensor FIVE-0 y se estableció contacto con la empresa diseñadora y distribuidora para obtener los documentos técnicos y los SDK de las diferentes versiones del sensor. Todo este material fue estudiado exhaustivamente por el equipo de trabajo con el fin de comprender en detalle las características y capacidades del sensor, así como su potencial adaptación a la aplicación requerida. Además, se llevaron a cabo estudios de área en hospitales y se distribuyó una encuesta para recopilar información adicional y comprender las necesidades y requisitos específicos del sistema.

### 2. Fase de Diseño:

Una vez realizado el estudio preliminar y recopilados los requisitos funcionales se procedió a generar un diseño integral del sistema. Se aplicaron los conocimientos obtenidos en diversas áreas, como electrónica, telemática e imagen, para diseñar un sistema distribuido. Este sistema contempló la extracción, transporte y almacenamiento seguro de la información recolectada por el sensor, con el objetivo de habilitar su posterior procesamiento. En esta fase se diseñaron tanto el front-end como el back-end del sistema, además de desarrollar un instrumento físico utilizando las tecnologías más adecuadas disponibles.

### 3. Fase de Desarrollo:

Con el diseño establecido, se inició la fase de desarrollo del sistema. Se aplicaron las técnicas y herramientas aprendidas durante la carrera, como la programación en Java, C++, C# y Python. Se utilizaron editores y depuradores de texto, como Eclipse y Visual Studio, para implementar las soluciones diseñadas en la fase anterior. Durante esta etapa, se desarrollaron los componentes necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, cumpliendo con los requisitos y funcionalidades establecidos.

### 4. Pruebas en el Laboratorio:

Una vez que se logró una implementación funcional a pequeña escala, se llevaron a cabo pruebas en entorno de laboratorio. Se utilizaron software de análisis, como Wireshark, Hércules y herramientas de depuración para evaluar el rendimiento y la precisión del sistema. Estas pruebas permitieron identificar posibles fallos, realizar ajustes y mejorar el sistema antes de proceder a pruebas en entornos clínicos.

## **5. Pruebas en Entornos Clínicos:**

Después de obtener una implementación que pudiera recopilar datos y almacenarlos adecuadamente se realizaron pruebas en entornos clínicos reales. Para ello se colaboró con el hospital de La Fe en Valencia llevando a cabo simulacros y validando el funcionamiento del sistema en situaciones reales. Estas pruebas en entornos clínicos permitieron evaluar la efectividad del sistema y detectar posibles mejoras o ajustes necesarios.

## **6. Revisión de Resultados:**

Tras la finalización del proyecto, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los datos recopilados durante las pruebas en entornos clínicos y en el laboratorio. Los resultados obtenidos se analizaron en profundidad con el objetivo de generar un informe completo que documentara todos los aspectos relevantes del proyecto. Este informe final recopiló los hallazgos, conclusiones y recomendaciones derivadas de la ejecución del TFG, proporcionando un registro completo y detallado de todo el proceso.

### **3.6 Diseño de las pruebas de Validación**

El proceso de validación del sistema se llevará a cabo en dos etapas con el fin de asegurar su correcto funcionamiento. La primera parte consistirá en pruebas realizadas en entornos de laboratorio controlados, mientras que la segunda se llevará a cabo en entornos clínicos.

En las pruebas de laboratorio, se utilizarán huellas dactilares de adultos. Si bien estas huellas no representan exactamente las características actuales en términos de la separación de las estrías o el contraste de los puntos característicos, este enfoque se elige para verificar el correcto funcionamiento general del sistema distribuido. El objetivo principal es realizar pruebas preliminares y ajustes iniciales antes de avanzar hacia pruebas más específicas en entornos clínicos.

En las pruebas de entornos clínicos, se evaluará el rendimiento del software de la aplicación en la extracción de huellas plantares de neonatos. El objetivo es obtener la máxima información posible sobre la tipología de estas huellas y realizar los ajustes necesarios para extraerlas de manera eficiente. Para llevar a cabo estas pruebas, se han obtenido los permisos necesarios para realizarlas en el área de neonatología del Hospital de La Fe.

Mediante este enfoque secuencial de pruebas, se busca garantizar la eficiencia y confiabilidad del sistema en ambos entornos. Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio proporcionarán información valiosa para el posterior desarrollo y optimización del software en el entorno clínico.

## 4. Resultados

En este apartado, presentaremos los resultados finales de la implementación del nuevo sistema basado en los requisitos funcionales establecidos. Este sistema innovador aborda tanto aspectos de hardware, para generar un soporte físico para la extracción de huellas como de sistemas software para crear una trazabilidad de datos, lo que garantiza un enfoque integral en la gestión de información como puede visualizarse en la Figura 25.

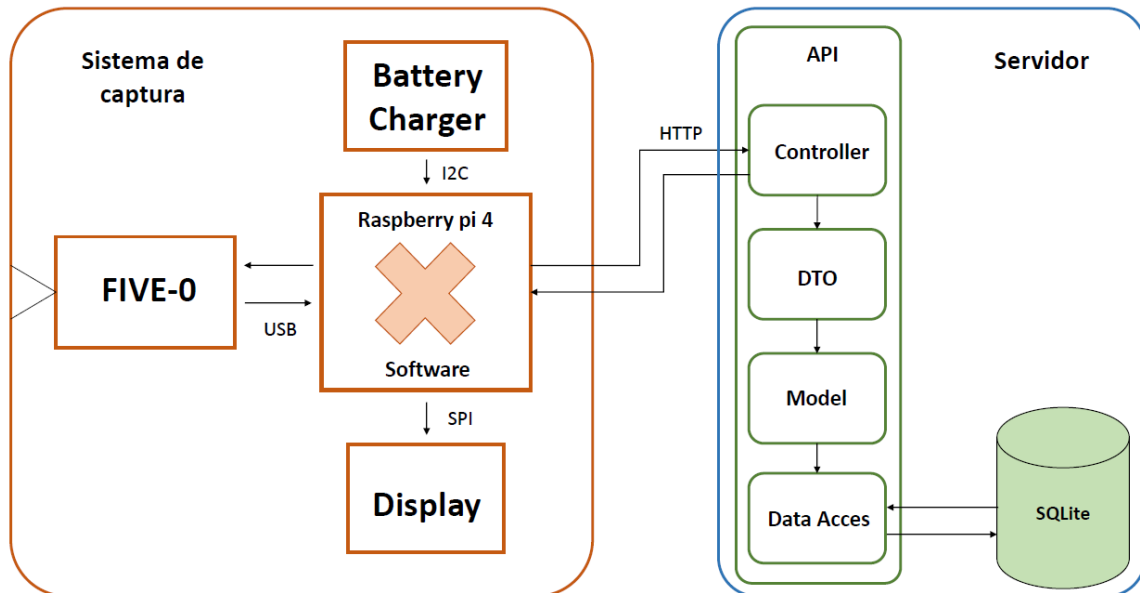


Figura 25: Arquitectura del sistema

A continuación, se detallará las características del diseño hardware cuya función es la extracción de los datos generados por el sensor, como del software que posee la finalidad del tratamiento de datos.

### 4.1 Diseño Hardware

El diseño del Hardware (Figura 26) para hacer uso del dispositivo FIVE-0 se ha necesitado adaptarlo para cumplir con las necesidades específicas de la solución, que requiere un sistema operativo para ejecutar el programa de funcionamiento.



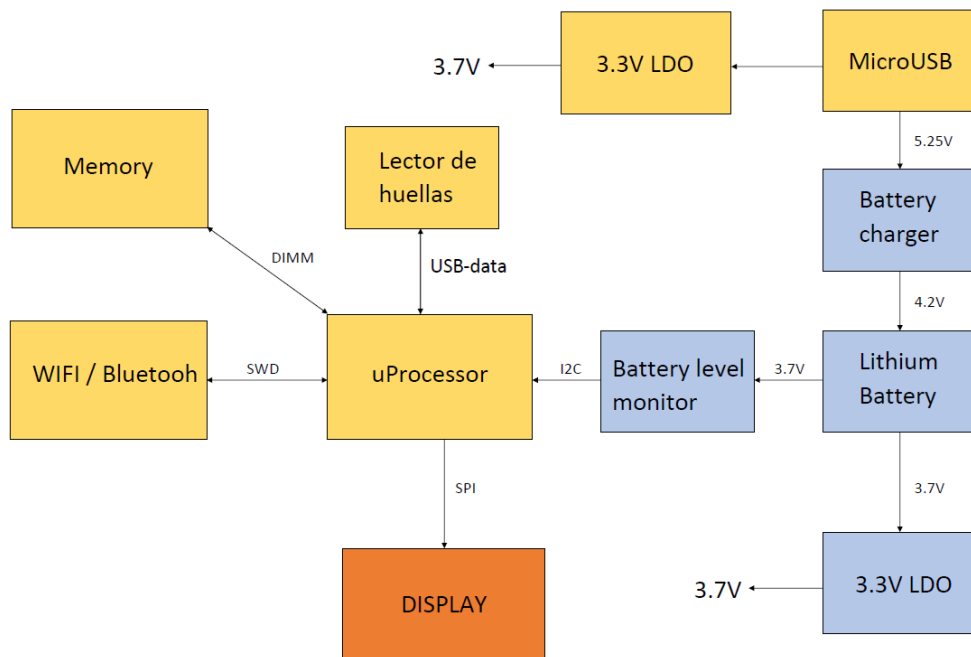


Figura 26: Grafico conceptual del sistema Hardware

Para satisfacer este requisito y atender a las funcionalidades del sistema de identificación, se han desarrollado dos versiones del sistema: una versión no portable compatible con Windows x64 y una versión portátil basada en soluciones embebidas ARM 64 bits, utilizando dispositivos Raspberry PI.

#### 4.1.1. Versión Fija Windows x64

Para una implementación de un sistema fijo, se ha optado por hacer uso de sistemas cuya arquitectura de microprocesadores de 64 bits, a causa de que este tipo de procesadores son ampliamente utilizados en estaciones de trabajo debido a diferentes ventajas respecto a otras arquitecturas como los x32, además de poseer un mayor rendimiento en los procesos de captura y tratamiento de imágenes.

La arquitectura x64 presenta ciertas ventajas sobre la x32, las cuales son muy importantes para el desarrollo del sistema. Las más importantes en cuanto a los requisitos detectados en la fase de diseño del sistema son:

1. **Mejoras en la capacidad de registros:** Este tipo de procesadores tienen registros de 64 bits en lugar de 32 bits. Esto permite procesar datos de manera más eficiente y realizar operaciones aritméticas más complejas.
2. **Mejoras en la capacidad de direccionamiento de memoria:** Los procesadores de x64 tienen una capacidad mucho mayor para direccionar en memoria que los procesadores de x32, ya que estos últimos solo pueden direccionar 4GB de memoria, mientras que los procesadores de 64 bits pueden direccionar hasta 18.4 millones de terabytes de memoria
3. **Aumento de rendimiento:** Los registros de 64 bits permiten un mayor ancho de banda y una mayor cantidad de datos que se pueden procesar al mismo tiempo, lo que se traduce en que el sistema pueda capturar y tratar las imágenes con un rendimiento general más rápido.

- 4. Soporte para más instrucciones:** Los procesadores de 64 bits añaden un extendido de instrucciones a la arquitectura x86 existente. Estas instrucciones adicionales permiten una mayor eficiencia en la ejecución de tareas específicas, como operaciones de punto flotante, criptografía y procesamiento multimedia.
- 5. Compatibilidades:** Aunque estos procesadores son una extensión de los de x32 existente, son capaces de ejecutar softwares de 32 bits sin problema. Además, la mayoría de los sistemas operativos y aplicaciones actuales están disponibles en versiones optimizadas para este tipo de arquitectura.

### Estudio de rendimiento del software de IBScanUltimate.

Para esclarecer si esta arquitectura es funcional para implementarla en nuestro sistema hemos ejecutado en Visual Studio el SDK proporcionado por la empresa distribuidora del sistema para ver los diferentes requisitos que tiene este en un ordenador con un core de x64.

### Rendimiento en memoria:

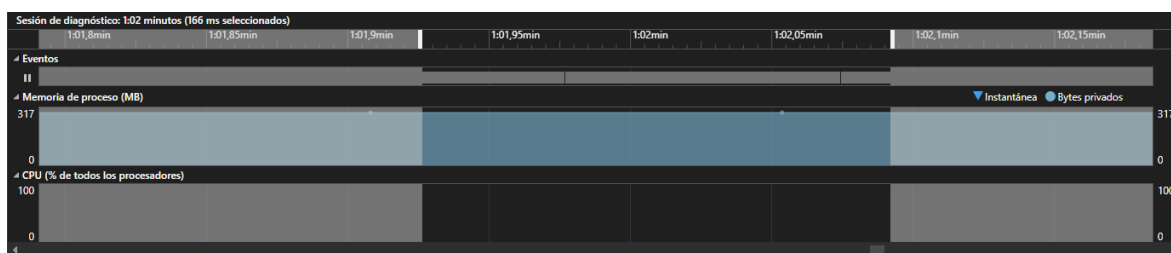


Figura 27: Rendimiento de la ejecución de programa

En la Figura 27, se ha analizado el proceso con los requisitos más exigentes, lo que ha permitido observar que utiliza 317 MB de memoria de proceso en el peor caso. En casos menos exigentes para el sistema hardware, se han estudiado requisitos de memoria de 367 MB y 217 MB. Por lo tanto, el uso de x64 ha sido una buena opción, ya que se han analizado procesos de rendimiento rápido y con poca demanda de memoria.

En resumen, esta arquitectura de procesadores es la más indicada para implementar el sistema, debido a que es la arquitectura más usada en los ordenadores personales y en las estaciones de trabajo, debido a diferentes características técnicas antes mencionadas, como el rendimiento, instrucciones y compatibilidades.

#### 4.1.2. Versión portátil ARM64bits (Raspberry PI 4)

Para la implementación de un sistema portátil altamente eficiente y versátil, se ha optado por hacer uso de “Raspberry Pi”, esta consiste en una serie de computadoras de placa única (SBC) desarrolladas por la fundación de su mismo nombre. Estas placas destacan por su tamaño compacto, bajo costo, gran flexibilidad y versatilidad, además porque tiene integrados varios puertos de conectividad integrados.

En particular, se ha optado por utilizar la solución más potente de la serie, la Raspberry Pi 4, que está equipado con un microprocesador de 64 bits que garantiza una ejecución rápida y fluida de los procesos de captación de imágenes, entre otras tareas.

La elección de Raspberry PI 4 nos permite aprovechar al máximo las características técnicas superiores de este dispositivo. Su procesador de 64 bits ofrece un rendimiento impresionante, lo que traduce a una respuesta más ágil y eficiente en comparación con versiones anteriores. Además, cuenta con una amplia capacidad de memoria, soporte para diferentes interfaces y protocolos de comunicación (poner la tabla 2).

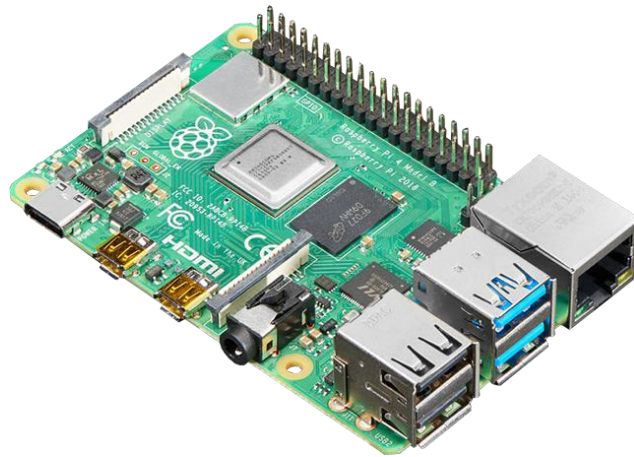


Figura 28: Imagen Raspberry PI 4

Para la conexión de red hace uso del chip inalámbrico Broadcom BCM3455, que es compatible con Wi-Fi 802.11ac (WI-FI 5) de doble banda (2.4 GHz y 5 GHz) y Bluetooth 5.0.

Es importante mencionar que la Raspberry PI 4 está disponible en diferentes variantes de memoria, que se diferencian por la cantidad de RAM que incorporan. Para este primer prototipo hemos hecho uso de memorias de 2GB.

Raspberry pi 4:	Características técnicas:
Procesador:	Broadcom BCM2711, CPU de 64 bits con arquitectura ARM Cortex-A72.
Memoria RAM:	2GB/4GB/8GB LPDDR4-3200 SDRAM.
Almacenamiento:	Ranura de tarjeta microSD para sistema operativo y almacenamiento de datos.
Conectividad de red:	Puerto Ethernet Gigabit (RJ-45).
Puertos USB:	Dos puertos USB 3.0 y dos puertos USB 2.0
Conectividad de red:	Broadcom BCM3455
Salida de Video	Dos puertos HDMI
Sonido:	Puerto audio 3.5 mm
GPIO:	40 pines GPIO para la conexión de periféricos y sensores.
Cámara	Conector de Cámara CSI
Pantalla	Conector de pantalla DSI para pantalla táctil
Alimentación:	Puerto USB-C para alimentación
Sistema Operativo:	Raspbian/Ubuntu/WindowsIOT

Tabla 3: Características técnicas Raspberry pi 4

La raspberry PI4 tiene un total de 40 pines GPIO (General Purpose Input/Output). A continuación, se hará una explicación general de estos pines:

**Pines de alimentación:** Son pines cuya funcionalidad es suministrar energía, como los pines de 5V y los de 3.3V, así como los pines de tierra (GND) para cerrar el circuito.

**Pines GPIO:** Estos pines se pueden configurar como entrada o salida según sea necesario. Proporcionan la capacidad de interactuar con componentes electrónicos externos.

**Pines de Interfaz especializada:** Son pines dedicados para interfaces específicas como:

- **UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter):** Los pines 14 (TXD0) y 15 (RXD0) permiten la comunicación en serie a través del protocolo UART.
- **I2C (Inter-Integrated Circuit):** Los pines 3 (SDA) y 5 (SCL) permiten la comunicación en bus I2C, que es útil para conectar múltiples dispositivos con solo dos cables de datos.
- **SPI (Serial Peripheral Interface):** Los pines 19 (MOSI), 21 (MISO), 23 (DCLK) y 24 (CEO) son utilizados para la comunicación en serie de alta velocidad mediante protocolo SPI.
- **Otros pines:** Como pines PWM (Modulación de ancho de pulso) y de interfaz de cámara y pantalla.

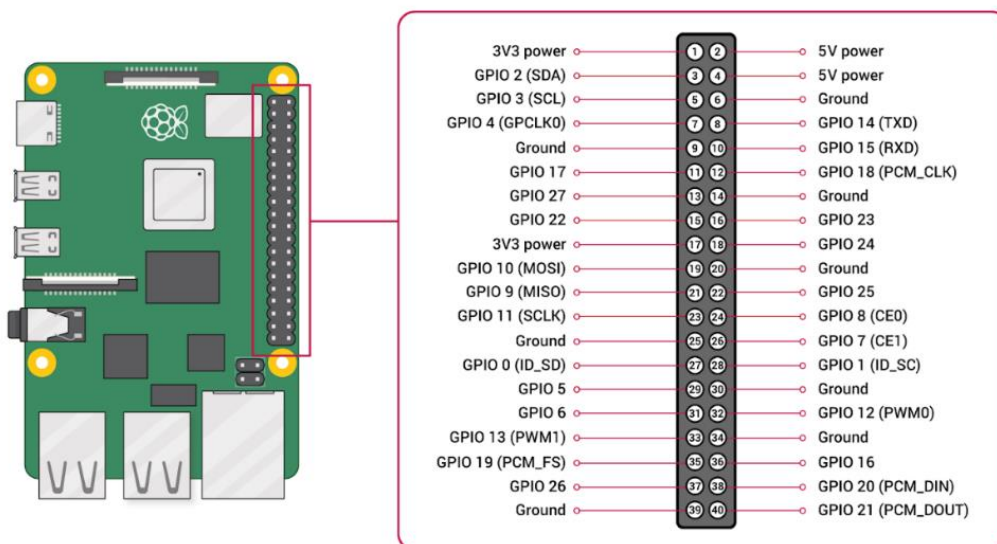


Figura 29: Imagen de la organización de pines de la Raspberry pi 4

## Consumos energéticos

La Raspberry Pi 4 es un dispositivo que puede tener diferentes consumos energéticos según el tipo de funcionamiento en el que se encuentre. A continuación, se presentan los distintos consumos estimados según el datasheet del dispositivo:

- En **estado de reposo** o con una carga muy ligera: aproximadamente 600 mA. Este estado es cuando el dispositivo se encuentra inactivo o realizando tareas mínimas.
- Con **carga moderada** o ejecutando aplicaciones intensivas: entre 1.2 A y 1.5 A. Cuando la Raspberry Pi 4 se encuentra ejecutando aplicaciones que requieren un uso más intensivo de recursos, como procesamiento de datos o ejecución de aplicaciones pesadas.

- Con **carga pesada** o ejecutando tareas intensivas de procesamiento y gráficos: hasta 1.75 A. En situaciones en las que el dispositivo está realizando tareas altamente demandantes, como procesamiento de gráficos intensivos o ejecutando aplicaciones que requieren un gran número de recursos.

Es importante tener en cuenta que estos consumos son estimaciones y pueden variar dependiendo de los periféricos conectados al sistema. Cada dispositivo periférico puede agregar un consumo adicional al consumo base de la Raspberry Pi 4.

En el caso específico del sensor FIVE-0, este posee diferentes estados de consumo especializados:

- Escaneo completo: alrededor de 300 mA. Cuando el sensor FIVE-0 realiza un escaneo completo haciendo uso de sus diferentes funciones de procesado.
- Modo reposo: 2 mA. En el modo reposo, donde el FIVE-0 se encuentra en estado inactivo.

Es importante considerar estos valores de consumo del sensor FIVE-0 en conjunto con los consumos de la Raspberry Pi 4 sirven para tener una estimación más precisa del consumo total del sistema cuando el sensor está conectado para el diseño de un sistema de alimentación propio mediante el uso de baterías.

### **Sistema operativo seleccionado**

Dentro del gran abanico de sistemas operativos compatibles con la raspberry pi 4, se ha optado por hacer uso del sistema raspbian, a causa de su comodidad de manejo y a que es de las pocas soluciones que proporcionan un sistema de 64 bits, lo que nos permite aprovechar al máximo posible la eficiencia de la raspberry pi.

Raspbian es compatible con una amplia gama de aplicaciones y herramientas específicamente diseñadas para ARM. Además, recibe actualizaciones regulares que incluyen mejoras de seguridad y nuevas funcionalidades.

Finalmente, para complementar el diseño, se ha incorporado placas de expansión que permitirán la integración de una pantalla y un cargador de baterías. Esta elección se debe a las necesidades específicas del sistema y conveniente para los usuarios.

### **Interfaz de usuario táctil**

Para completar el sistema y lograr cumplir los requisitos del sistema, se ha incorporado módulos adicionales al microprocesador. Entre ellos la incorporación de una pantalla LCD que permite visualizar de manera clara y nítida los datos extraídos por el sistema. Esta pantalla facilita la interacción con las aplicaciones y brinda una interfaz intuitiva para una experiencia de usuario más agradable.

La elección fue la pantalla táctil LCD de 7" diseñada por Raspberry Pi, en la Figura 30 se puede visualizar los diferentes componentes. Esta pantalla presenta una resolución de 800 x 400 pixeles y se conecta al micro mediante una tira flex, para la transmisión de los datos, y una conexión de alimentación, de 5V. Es una pantalla resistiva, lo que significa que requiere presión física para detectar los toques. Para su funcionamiento adecuado, es necesario instalar los controladores específicos proporcionados por el fabricante.



Figura 30: Pantalla LCD Raspberry pi 4

En este apartado se explicará cómo ha de conectarse ambos módulos. Mediante el pin de 5V y GND de la pantalla, se ha conectado a los pines 4 y 6 de la raspberry, para proporcionar una correcta alimentación, además se ha colocado la tira Flex entre las entradas display de ambas.

### Sistema de alimentación y carga de baterías

Además, se ha incorporado un cargador de baterías para asegurar que el sistema sea completamente portátil. Gracias a esta adición, el usuario puede llevar consigo el sistema sin preocuparse por la disponibilidad de enchufes. Esto permite un uso sin restricciones y un despliegue más flexible del sistema en diferentes entornos y situaciones.

El cargador de baterías elegido es el Li-polímero Battery HAT del fabricante Waveshare como se puede apreciar en la Figura 31. Este cargador de baterías de polímero integra un chip de gestión de Energía SW6106 que proporciona una alimentación regulada de 5V al sistema hardware.



Figura 31: Cargador de baterías de WavesShare

El chip SW6106 que incorpora es compatible con carga rápida bidireccional y admite múltiples protocolos de carga rápida PD/QC/FCP/PE/SFCP

- **PD:** Protocolo de carga rápida desarrollado por USB. Permite la carga rápida mediante el uso de cables USB-C.

- **QC (Quick Charge):** Es una tecnología de carga rápida creado por Qualcomm. Está diseñada para dispositivos móviles con chips Qualcomm Snapdragon.
- **FCP (Fast Charging Protocol):** Es un protocolo de carga rápida desarrollado por Huawei. FCP ajusta la tensión y la corriente de carga para acelerar el proceso de carga y reducir el tiempo necesario para cargar completamente el dispositivo.
- **PE (Pump Express):** Es una tecnología de carga rápida desarrollada por MediaTek. Pump Express monitorea y controla el voltaje y la corriente de carga para optimizar la velocidad de carga y garantizar la seguridad del dispositivo.
- **SFCP (Super Fast Charging Protocol):** Es un protocolo de carga rápida desarrollado por Samsung. SFCP utiliza una combinación de técnicas de hardware y software para acelerar la carga, como el ajuste de la tensión y corriente de carga, y la optimización del algoritmo de carga para minimizar el tiempo necesario para cargar completamente el dispositivo.

El Li-polymer Battery HAT cuenta con circuitos de protección para baterías de litio, los cuales brindan protección contra polaridad invertida, sobrecarga y cortocircuitos. Además, incluye indicadores de carga rápida y capacidad de energía.

El módulo viene integrado con un conector de batería PH 2.0, que facilita la conexión de una batería LI-PO de alta capacidad nominal de 3.7V y una capacidad de 3000 mAh. Además, que posee una certificación MSDS para garantizar su calidad y seguridad en el uso.

#### Especificaciones:

Especificaciones Técnicas:	
Voltaje de Salida:	5 V
Voltaje de Carga:	5 V
Baterías Compatibles:	Baterías de litio de 3.7 V y 4.2 V
Voltaje de corte de descarga SW6106:	2.95 V
Corriente máxima de carga:	1.8 A
Corriente de corte de suspensión:	40 mA
Tamaño de producto:	65.05 mm x 56.55 mm
Diámetro de Orificio:	3.0 mm

Tabla 4: Especificaciones energéticas cargador de baterías

#### Interfaces:

Interfaz	Descripción
Micro USB	Carga
USB Tipo-A	potencia de salida
USB Tipo_C	Soporta carga, carga rápida y potencia de salida

Tabla 5: Interfaces conectores del cargador

### Indicadores de batería:

Capacity	LED1	LED2	LED3	LED4	LED5
80%~100%	ON	ON	ON	ON	ON
60%~80%	ON	ON	ON	ON	Parpadeo
40%~60%	ON	ON	ON	Parpadeo	OFF
20%~40%	ON	ON	Parpadeo	OFF	OFF
5%~20%	ON	Parpadeo	OFF	OFF	OFF
1%~5%	Parpadeo	OFF	OFF	OFF	OFF
0%	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Tabla 6: Información proporcionada por los leds del cargador

El montaje del cargador de baterías es muy sencillo, solamente hace falta poner los pines hembras que se encuentran en la parte trasera del cargador de baterías a los pines machos de la Raspberry pi.

#### 4.1.2.4 Montaje Final

Después de llevar a cabo el ensamblaje de cada módulo adicional, se ha procedido a asegurar cada uno de ellos mediante el uso de tornillos, con el objetivo de prevenir posibles daños en los pines, debido a que se trata de un instrumento portátil, es importante garantizar al máximo su resistencia ante diversas tensiones a las que estará expuesto. Asimismo, se realizará la conexión del sensor a una de las entradas USB del dispositivo como puede visualizarse en la Figura 32.

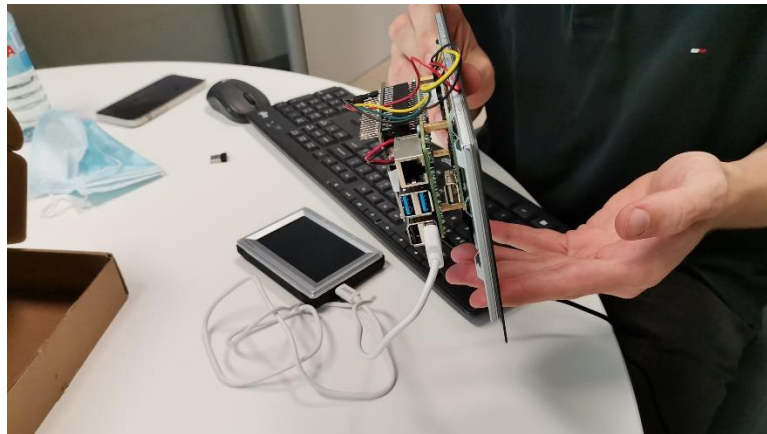


Figura 32: Imagen del Sistema portátil montado

En conclusión, como vemos en la imagen anterior se puede visualizar que se ha conseguido una solución portable y con un peso y voluminosidad reducida a comparación de las soluciones existentes en el mercado. Se realizará un estudio de rendimiento al ejecutar el programa creado por IBS para visualizar si el sistema es capaz de soportar todos los requisitos del sistema.



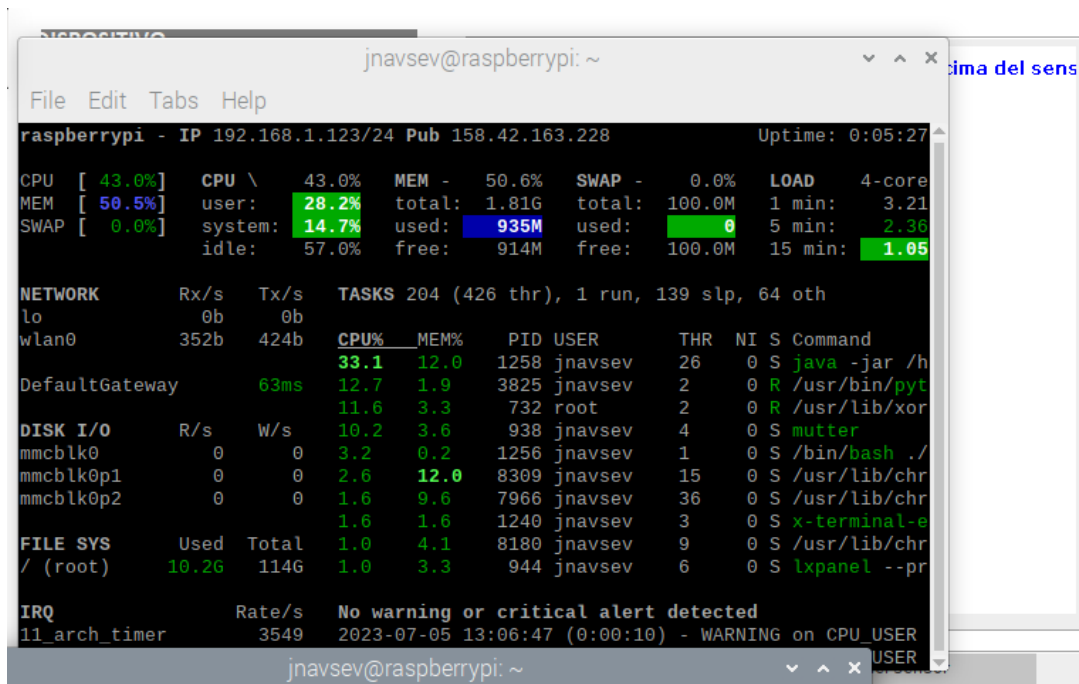


Figura 33: Estudio de rendimiento en raspberry pi 4

En comparativa con la aplicación de Windows x64, se puede apreciar en la Figura 33, que en este sistema los tiempos de procesamiento y el consumo de memoria son considerablemente superiores. Sin embargo, a pesar de estas diferencias, la función sigue siendo viable para su incorporación en el sistema distribuido, por lo que es una solución muy fiable para generar una solución portátil.

## 4.2 Diseño Software

En esta parte del diseño se realizará un software de vital importancia para llevar a cabo la extracción, envío y almacenamiento de los datos por el sistema. Como se comentó anteriormente se optó por hacer uso de un sistema distribuido con el fin de satisfacer la necesidad de identificación de neonatos en distintas áreas médicas.

En el marco de diseño software se ha diseñado una interfaz intuitiva y amigable como puede observarse en la Figura 34, que permite a los expertos médicos acceder de manera sencilla a las funcionalidades necesarias para la extracción, envío y almacenamiento de datos del sistema.

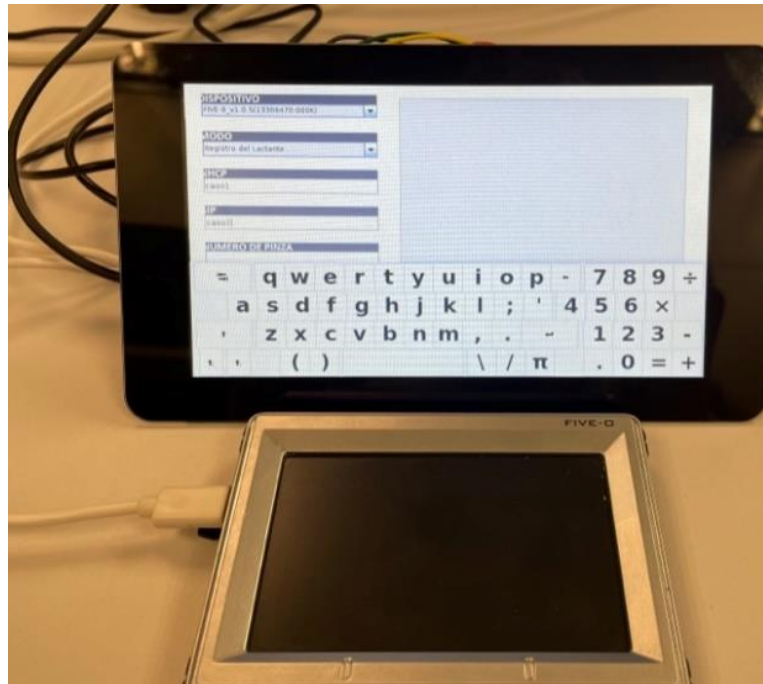


Figura 34: Imagen del sistema software ejecutado en la raspberry pi

El software de gestión de información desarrollado en esta fase del proyecto representa un paso significativo hacia la implementación exitosa del sistema distribuido de identificación de neonatos. Su diseño cuidadoso, combinado con las mejoras implementadas en el software de control del sensor FIVE-0, asegura un flujo eficiente y seguro de los datos, brindando una solución confiable y escalable para las necesidades médicas en diferentes áreas.

#### 4.1.3. Estructura Local

En esta etapa del proceso de diseño, nos enfocaremos en realizar modificaciones del software proporcionado por IBScam con el objetivo de adaptarlo a nuestras necesidades específicas. El software original cuenta con diversas funcionalidades, tales como detectores de huellas falsas, contadores de dedos, funciones de autocontraste y autocaptura, entre otras.

Internamente, la aplicación maneja los diferentes tipos de captura de huellas como si fueran diferentes registros internos, estos tipos poseen las características del tratado de las huellas, como el número de huellas necesarias y la forma de extracción que puede ser dedo rolado o dedo presionado. Por ejemplo, al seleccionar la función "rolled" (rolado), el software permite generar un zoom y realizar un barrido de la imagen mientras se va capturando. Por otro lado, la función "flat" nos permite capturar la huella simplemente colocando el dedo sobre el lector. Aunque esta función puede parecer menos compleja, nos brinda la capacidad de leer varias manos al mismo tiempo.



Figura 35: Interfaz gráfica solución IBScamUltimate

En cuanto a la configuración del contraste, tenemos dos opciones disponibles: podemos establecer un contraste específico o permitir que el controlador del software lo ajuste automáticamente durante el proceso de captura.

Además, contamos con dos modalidades de lectura: el disparo automático y el disparo manual. En el modo automático, la captura de la huella se realiza una vez que se ha alcanzado un contraste adecuado. Se establece un delay de 300 ms, y si la imagen no sufre modificaciones durante ese tiempo, se procede a capturar la huella.

Después de realizar la lectura, el software proporciona al usuario una imagen de la huella, en la cual se destacan cada una de las huellas de la mano mediante un recuadro verde. Este resultado se obtiene gracias a la implementación de un contador de dedos.

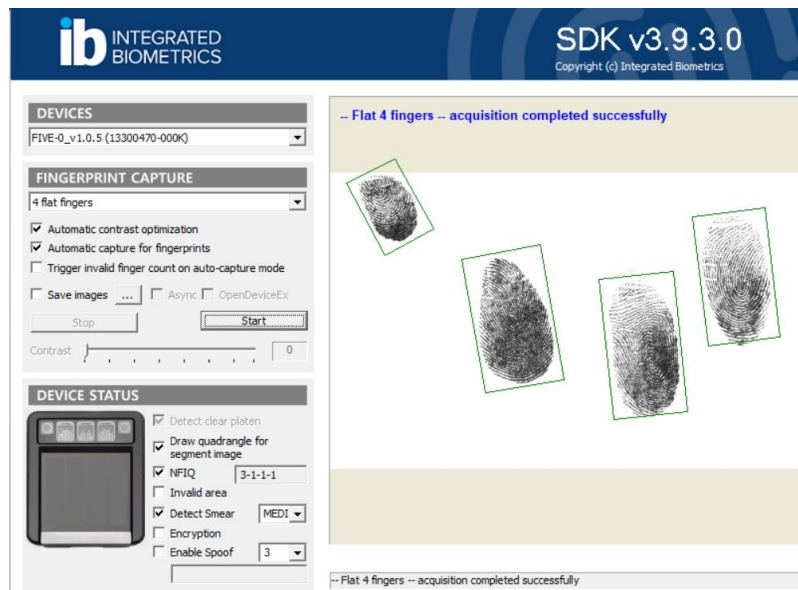


Figura 36: Ejemplo de extracción de huellas con IBScamUltimate

Adicionalmente a estas características mencionadas, el software original también incluye un detector de huellas falsas y un búfer interno que almacena y compara las huellas capturadas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este búfer tiene una capacidad limitada de aproximadamente 10 huellas.

Por último, en lo que respecta al almacenamiento de las imágenes en el dispositivo local, es importante mencionar que estas siguen un formato propietario de la empresa. Esto puede suponer un desafío en términos de codificación y envío de las imágenes a un sistema centralizado. No obstante, el software original nos brinda la posibilidad de guardar las imágenes en diferentes formatos, como PNG, JPEG, BMP, entre otros.



Figura 37: Muestras extraídas

Con el fin de desarrollar una aplicación útil para nuestro sistema, hemos tomado como base varias de las funcionalidades del software original y hemos agregado algunas nuevas. Para lograrlo, hemos creado dos versiones compatibles: una en C++ para sistemas operativos Windows x64 y otra en Java para ARM64. En el siguiente gráfico (Figura 38) podemos ver el flujo de la aplicación final.

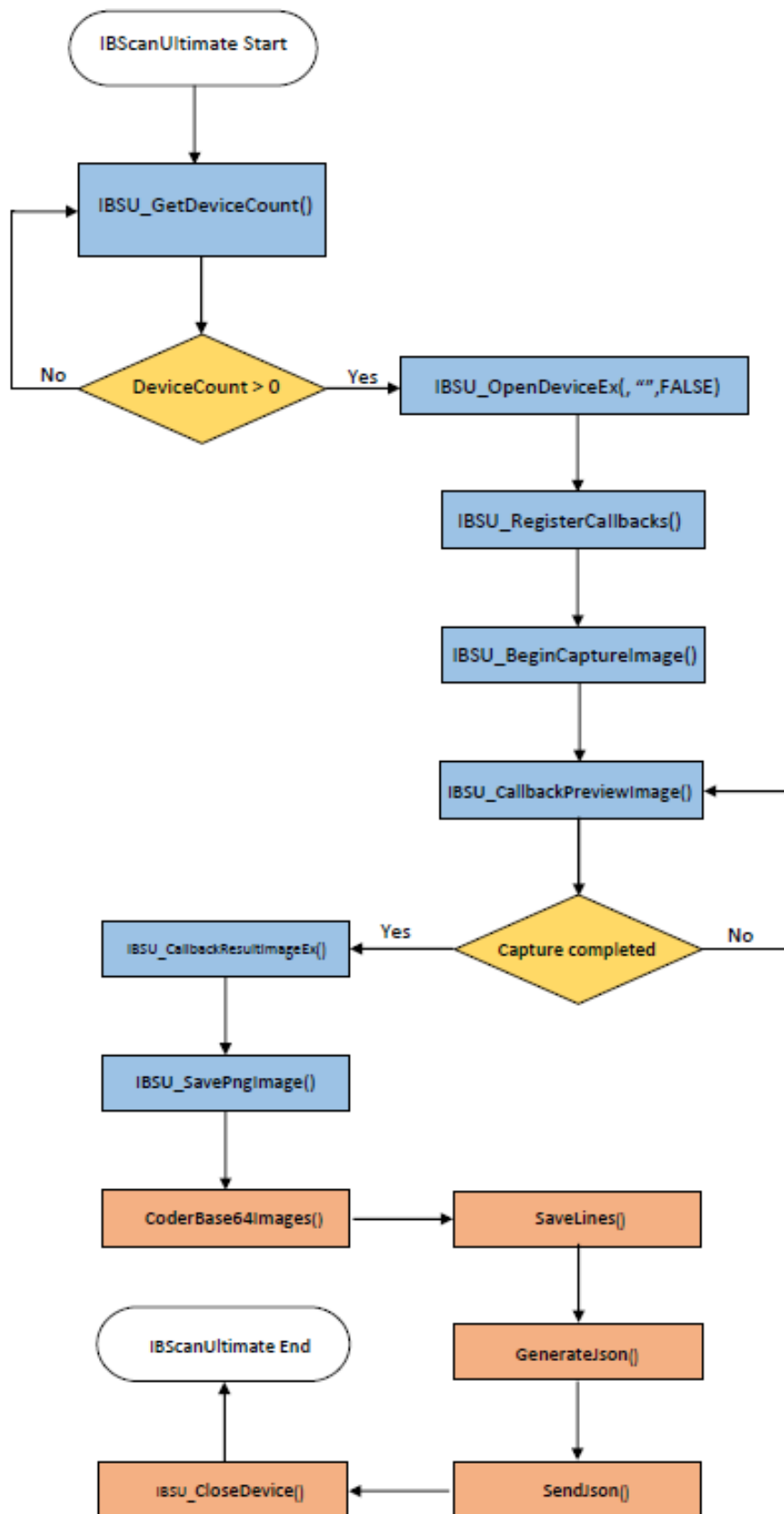


Figura 38: Flujo Aplicación

El flujo de desarrollo del sistema comienza buscando un dispositivo de la empresa IBScamUltimate mediante llamadas al protocolo USB, que contiene descriptores del *vendor* y del *product* ID (fabricante y modelo del producto). Si se encuentra, se establece una conexión y se envía un comando para analizar el tipo de registro seleccionado. En el sistema de identificación, se ha definido que las características corresponden a la extracción de una única huella, específicamente la huella plantar derecha.

Una vez que se analizan las características del registro, se establece una comunicación con el sensor para capturar la huella. Después de completar el proceso de captura, el sistema envía la imagen a la pantalla y luego procede a guardarla en formato PNG localmente. Se ha decidido utilizar el formato PNG debido a que ofrece una mayor resolución.

Como se mencionó anteriormente, debido a que IBS utiliza su propio formato de imagen, después de la conversión a PNG, se codifica en base64 y se escribe en un archivo JSON junto con la información clínica ingresada (NHCP, SIP, etc.).

En la implementación en C++, se realiza una publicación REST a una API utilizando la biblioteca "curl". En la implementación en Java, se realiza una solicitud HTTP.

El json enviado a la API posee esta estructura:

```
{
  "nhcp": "MDM310304911012",
  "sip" : "CIPP720957911013",
  "num_pinza": "459985631458",
  "nombre madre": "PACIENTE APELLIDO1 APELLIDO2",
  "dni_madre": "030224976Z",
  "imagenHuella": "data:image/png;base64,/9j/4AAQSkZJRgA
}
```

*Figura 39: Ejemplo Fichero JSON*

Este fichero json es muy sencillo, ya que solamente posee un objeto principal compuesto por diferentes propiedades, que son los campos medicos necesarios y la imagen codificada en base 64.

El nuevo software implementado utiliza diversas funciones nativas del sistema, como el autocontraste y la opción de auto disparo. Además, incluye nuevas funcionalidades mencionadas anteriormente, como la codificación de imágenes y el envío de un JSON, que están más relacionadas con el envío de datos a un sistema central.

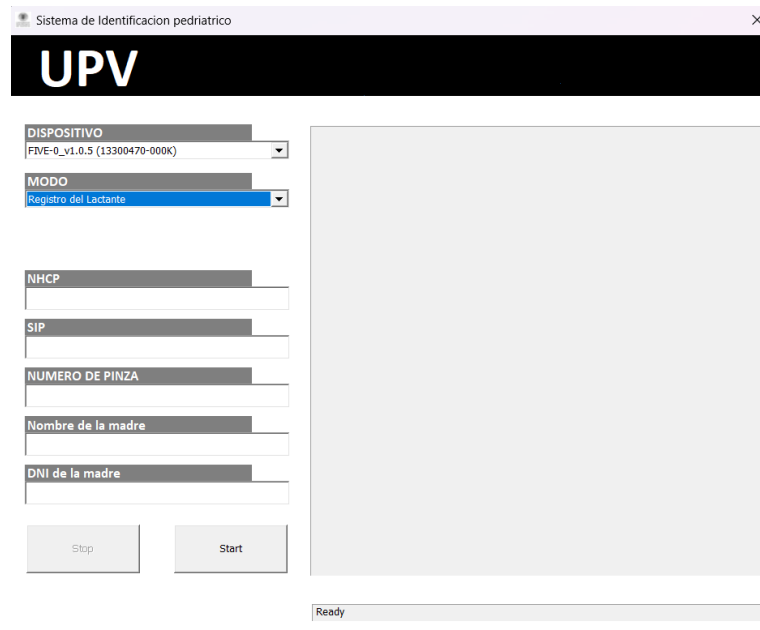


Figura 40 Interfaz UI Version Windows

Es importante destacar que, en la versión ARM, se ha incorporado un teclado en pantalla llamado "matchbox-keyboard" de Linux, que ofrece los mecanismos necesarios para brindar una excelente experiencia al cliente al ingresar los valores médicos requeridos.

#### 4.1.4. Estructura servidor

Teniendo en cuenta de la necesidad de la existencia de diversos dispositivos para el ámbito sanitario, resulta fundamental establecer un sistema centralizado en el que todos ellos puedan extraer y publicar los datos. Para ello, se propone el uso de una API basada en el diseño REST, a través de la cual los dispositivos podrán realizar peticiones y enviar los datos en formato JSON, los cuales serán almacenados en una base de datos central (Figura 41). Dado que nos encontramos en una fase temprana de desarrollo, solo será útil el registro de nuevos infantes, a causa de la falta de un software que diferencia cada una de las huellas.

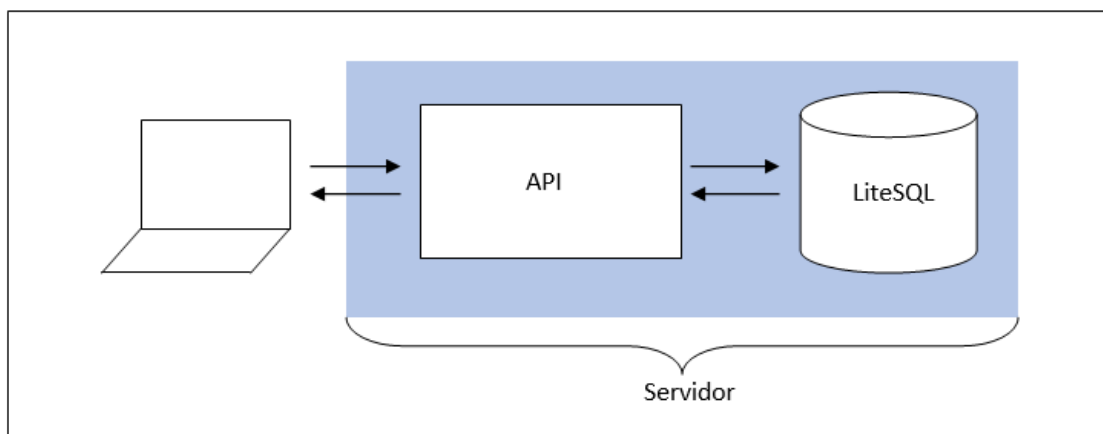


Figura 41: Diagrama de la parte servidor del sistema

Este enfoque proporcionará una base sólida para la interconexión de los dispositivos de identificación en el ámbito sanitario, permitiendo una gestión más eficiente y un acceso centralizado a los datos extraídos.

#### 4.1.4.1. Base de datos

Debido a que los datos extraídos poseen un alto grado de sensibilidad, se ha decidido utilizar bases de datos para garantizar un almacenamiento seguro y eficiente de la información. Dado que el sistema se encuentra en una fase preliminar y se cuenta con recursos limitados, se ha optado por utilizar una base de datos SQLite debido a sus diferentes características.



Figura 42 Logo SQLite

SQLite es una biblioteca compacta escrita en C que se integra fácilmente en aplicaciones y tiene un consumo de memoria mínimo. Una de sus principales ventajas es que no requiere de un servidor y no es necesario configurar usuarios. Además, ofrece soporte para transacciones ACID, lo que permite realizar operaciones confiables y consistentes en la base de datos, protegiéndola contra fallas del sistema o interrupciones inesperadas.

##### 4.1.4.1.1. Tablas para la incorporación de la base de datos

En la vista SIBregistroNacimiento de la base de datos de pruebas, la entidad "Registro de Nacimiento" consta de los siguientes campos:

Sistema		SABIEN_PRUEBAS		
Base de datos		SABIEN_PRUEBAS		
Tabla/Vista		SIBregistroNacimiento		
Campo		Tipo	Oblig.	Descripción
1	ID	Int	X	Identificador Interno
2	NHCP	nvarchar(50)		Numero Historial Clinico
3	SIP	nvarchar(50)	X	Numero tarjeta sanitaria
4	NUM_PINZA	nvarchar(50)	X	Identificador interno infante
5	DNI_MADRE	nvarchar(100)	X	Numero Nacional de Identificación
6	NOMBRE_MADRE	nvarchar(100)	X	Nombre de la madre
7	IMAGEN_HUELLA	nvarchar(max)	X	Datos huellas codificada en base 64

Tabla 7: Vista BirthdatesRecord

Dentro de la entidad "Registro de Nacimiento", el campo de ID es el identificador o clave primaria, el cual se utiliza para identificar de manera única cada registro de nacimiento dentro de la base de datos.

En cuanto al formato de almacenamiento de los demás campos, se ha optado por utilizar nvarchar debido a que los datos se encuentran en formato String y contienen caracteres alfanuméricos. Este formato permite almacenar caracteres Unicode, lo que garantiza la compatibilidad con diferentes lenguajes y una correcta visualización de los datos.



En el caso de las imágenes, como se desconoce la anchura necesaria para su almacenamiento, se ha especificado un valor máximo necesario para su publicación. Se recomienda utilizar un tipo de dato adecuado para el almacenamiento de imágenes, como varbinary, y establecer un tamaño máximo para evitar exceder los límites de almacenamiento de la base de datos.

Este diseño permitirá llevar un registro preciso de los nacimientos en la zona correspondiente, lo que contribuirá a mejorar la atención sanitaria en la región. Además, la elección adecuada de formatos de almacenamiento de datos garantizará la integridad y seguridad de la información recopilada.

#### 4.1.4.1.2. Portal web

Adicionalmente para la visualización correcta de los datos se ha habilitado un terminal Web con la idea de ir visualizando los datos almacenados, cuando se clica encima de uno de los datos se visualizará todos los campos y la imagen captada.

ApiWebHuellasNeonatos Home Privacy Birth records Hello admin@neonatos.com! Logout

### Index

[Create New](#)

Filter: [NHC]  [Apply Filter](#) [Clear](#)

Fecha	NHC	SIP	Número pinza	DNI madre	Nombre y apellidos de la madre	
05/06/2023 16:08:49	MDM610604911012	CIPF720957911013	459985631458	030224976Z	PACIENTE1 APELLIDO1 APELLIDO2	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>
13/06/2023 11:55:41	TestHospitalNHCP1	TestHospitalSIP1	TestHospitalNumeroPinza1	TestHospitalNombreMadre1	TestHospitalDNIMadre1	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>
13/06/2023 12:07:47	Adquisicion_1_1	Adquisicion_1_1	Adquisicion_1_1	Adquisicion_1_1	Adquisicion_1_1	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>
13/06/2023 12:08:22	Adquisicion_1_2	Adquisicion_1_2	Adquisicion_1_2	Adquisicion_1_2	Adquisicion_1_2	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>
13/06/2023 12:08:55	Adquisicion_1_3	Adquisicion_1_3	Adquisicion_1_3	Adquisicion_1_3	Adquisicion_1_3	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>
13/06/2023 12:09:35	Adquisicion_1_4	Adquisicion_1_4	Adquisicion_1_4	Adquisicion_1_4	Adquisicion_1_4	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>
13/06/2023 ...	Adquisicion_1_5	Adquisicion_1_5	Adquisicion_1_5	Adquisicion_1_5	Adquisicion_1_5	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>

Figura 43: Imagen aplicación web de la Base de Datos

## Details

### BirthRecord

Fecha	05/06/2023 16:08:49
NHC	MDM610604911012
SIP	CIPPT20957911013
Número pinza	459985631458
DNI madre	030224976Z
Nombre y apellidos de la madre	PACIENTE1 APELLIDO1 APELLIDO2
Huella	

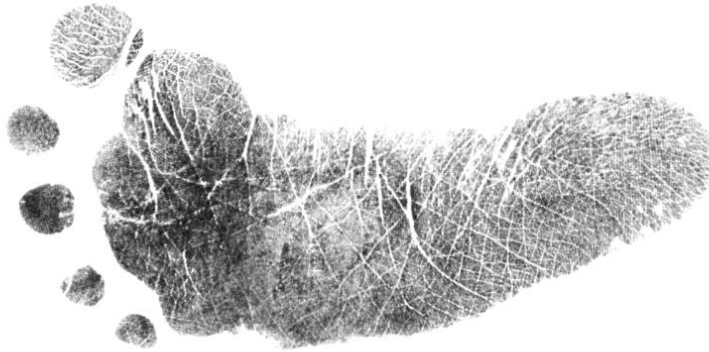


Figura 44: Ejemplo de uno de los registros de la base de datos

En resumen, para que los datos necesarios sean guardados de manera fiable y segura, se han implementado una base de datos central de tipo SQL, esto permite que los datos estén disponibles en todo momento, como tareas de futuro para una implementación más global se debería hacer uso de bases de datos no SQL, debido a que si se llegará a implementar en un sistema sanitario, existirá un gran tráfico y almacenamiento, por lo que será necesario administrar y tratar los datos de manera más eficiente.

#### 4.1.4.2.API

Para el transporte del JSON desde el dispositivo físico hasta la base de datos central, se ha optado por utilizar C# una API (Application Programming Interface), que consiste en un conjunto de reglas y protocolos que permite la interacción entre dos diferentes aplicaciones software. Es decir, una API define cómo se deben comunicar dos programas para intercambiar información y realizar acciones entre sí.

La implementación elegida para esta API es de tipo REST (Representational State Transfer), la cual permite realizar peticiones usando métodos y recursos proporcionados por el protocolo HTTP.

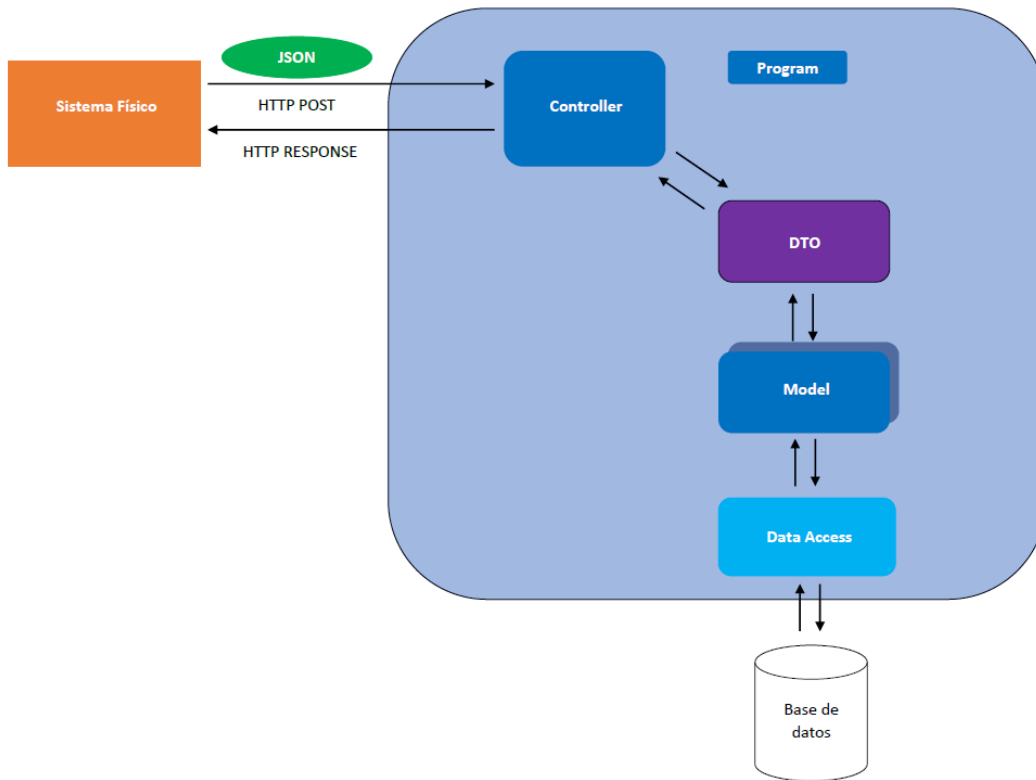


Figura 45: Diagrama interno API

La API implementada podemos definirla en tres partes significativas, el Controller, el DTO y el Model.

Método HTTP	Ruta	Descripción
<b>GET</b>	api/BirthRecords	Obtiene todos los registros de nacimientos.
<b>GET</b>	api/BirthRecords/{id}	Obtiene un registro de nacimiento por su ID.
<b>GET</b>	api/BirthRecords/bySip/{sip}	Obtiene registros de nacimientos por el número SIP.
<b>GET</b>	api/BirthRecords/byNhc/{nhc}	Obtiene registros de nacimientos por el número NHC.
<b>POST</b>	api/BirthRecords	Crea un nuevo registro de nacimiento.
<b>PUT</b>	api/BirthRecords/{id}	Actualiza un registro de nacimiento existente.
<b>DELETE</b>	api/BirthRecords/{id}	Elimina un registro de nacimiento.

Tabla 8: Solicitudes Rest implementadas

**El controller:** Es uno de los componentes fundamentales de una API que se encarga de manejar y coordinar las solicitudes recibidas y enviadas. El objetivo principal es recibir las peticiones del sistema físico, procesarlo y generar una respuesta correspondiente.

El controller de esta API ha sido diseñada para llevar a cabo diferentes peticiones desde el dispositivo de extracción de datos, estas instrucciones están indicadas en la siguiente tabla.

**DTO (Data Transfer Object):** El DTO es una estructura de datos que se encarga de transportar la información entre el controlador y el modelo. Su propósito es encapsular los datos que se envían o se reciben. En nuestro caso, tomará los datos generados en formato JSON y los transmitirá al modelo, o viceversa.

**Modelo (Model):** El modelo representa los datos del sistema y define la lógica subyacente para acceder y manipular dichos datos. El modelo se encarga de generar un modelo de datos para la base de datos subyacente. En el que incluye esquemas de datos. El modelo interactúa con la base de datos para almacenar y recuperar información según sea necesario.

Propiedad	Tipo de dato	Descripción
<b>Id</b>	int	Identificador único del registro de nacimiento
<b>FechaRegistro</b>	DateTime	Fecha de registro del nacimiento
<b>Nhc</b>	string	Número de historial clínico
<b>Sip</b>	string	Número de la tarjeta sanitaria
<b>NumPinza</b>	string	Identificador interno del infante
<b>DniMadre</b>	string	Documento nacional de identidad de la madre
<b>NombreMadre</b>	string	Nombre y apellidos de la madre
<b>ImagenHuella</b>	string	Ruta o referencia a la imagen de la huella del infant

Tabla 9: Tabla explicativa del model implemetado

#### 4.1.4.3. Tráfico de datos

Para visualizar todas las tramas generadas hemos realizado una simulación mediante el uso de Wireshark con la intención de entender al máximo cada etapa del sistema y validar su valido funcionamiento, en torno a todo el proceso de conexión se han hecho uso de diferentes tipos de conexión.

Podemos segmentar el proceso de publicación de datos al sistema central en diferentes etapas, una etapa de apertura de conexión, una etapa de mandado de datos, tramas intermedias y cierre de conexión.

1. **Establecimiento de conexión TCP:** El proceso comienza con la conexión TCP, que se establece entre el cliente (en nuestro caso con el sistema físico) y el servidor (la API encargada de la publicación de datos). El cliente envía una solicitud de conexión al servidor mediante el uso de un paquete SYN, el servidor responde con un paquete SYN-ACK para confirmar que se ha establecido la conexión correctamente. Finalmente, el cliente envía un paquete ACK para establecer la conexión TCP.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
51	6.711672	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	66	50163 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
52	6.714552	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	66	80 → 50163 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1386 WS=256 SACK_PERM
53	6.714675	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	54	50163 → 80 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=131584 Len=0
54	6.714803	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	276	50163 → 80 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=131584 Len=222 [TCP segment of a reassembled PDU]
55	6.732149	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	60	80 → 50163 [ACK] Seq=1 Ack=223 Win=2098176 Len=0
56	6.741861	158.42.167.71	10.236.57.191	HTTP	79	HTTP/1.1 100 Continue
57	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=223 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
58	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=1609 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
59	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=2995 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
60	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=4381 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
61	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=5767 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
62	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=7153 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
63	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=8539 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
64	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=9925 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
65	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=11311 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
66	6.742116	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=12697 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
68	6.744887	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	60	80 → 50163 [ACK] Seq=26 Ack=2995 Win=2098176 Len=0
69	6.744887	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	60	80 → 50163 [ACK] Seq=26 Ack=7153 Win=2098176 Len=0
70	6.744887	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	66	[TCP Dup ACK 69#1] 80 → 50163 [ACK] Seq=26 Ack=7153 Win=2098176 Len=0 SLE=9925 SRE=11311
71	6.744887	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	66	[TCP Dup ACK 69#2] 80 → 50163 [ACK] Seq=26 Ack=7153 Win=2098176 Len=0 SLE=9925 SRE=14083
72	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=14083 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
73	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [PSH, ACK] Seq=15469 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
74	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=16855 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
75	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=18241 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
76	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=19627 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
77	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=21013 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
78	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=22399 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
79	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=23785 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
80	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=25171 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
81	6.745052	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=26557 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
82	6.745161	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=27943 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
83	6.745177	10.236.57.191	158.42.167.71	TCP	1440	50163 → 80 [ACK] Seq=29329 Ack=26 Win=131584 Len=1386 [TCP segment of a reassembled PDU]
84	6.747772	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	66	[TCP Dup ACK 69#3] 80 → 50163 [ACK] Seq=26 Ack=7153 Win=2098176 Len=0 SLE=9925 SRE=15469
85	6.747772	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	66	[TCP Dup ACK 69#4] 80 → 50163 [ACK] Seq=26 Ack=7153 Win=2098176 Len=0 SLE=9925 SRE=18241
86	6.747772	158.42.167.71	10.236.57.191	TCP	66	[TCP Dup ACK 69#5] 80 → 50163 [ACK] Seq=26 Ack=7153 Win=2098176 Len=0 SLE=9925 SRE=19627

Figura 46: Trama de comunicación extraída

2. **Respuesta HTTP con el código 100 (Continue):** Después de realizarse una conexión TCP, el servidor envía un mensaje con un código de estado HTTP 100 (CONTINUE), lo cual indica que el servidor está listo para recibir los datos.

```

v Hypertext Transfer Protocol
  v HTTP/1.1 100 Continue\r\n
    v [Expert Info (Chat/Sequence): HTTP/1.1 100 Continue\r\n]
      [HTTP/1.1 100 Continue\r\n]
      [Severity level: Chat]
      [Group: Sequence]
      Response Version: HTTP/1.1
      Status Code: 100
      [Status Code Description: Continue]
      Response Phrase: Continue
    \r\n
    [HTTP response 1/2]
    [Next request in frame: 207]
    [Request URI: http://158.42.167.71/neonatos/api/BirthRecords]

```

Figura 47: Paquete HTTP respuesta servidor con Código 100

3. **Envío del Archivo JSON:** Tras recibir la respuesta HTTP 100, la aplicación puede comenzar a transmitir el archivo JSON. El archivo JSON se envía como parte de los datos de la capa de aplicación HTTP.

```

Hypertext Transfer Protocol
  POST /neonatos/api/BirthRecords HTTP/1.1\r\n
  [Expert Info (Chat/Sequence): POST /neonatos/api/BirthRecords HTTP/1.1\r\n]
  [POST /neonatos/api/BirthRecords HTTP/1.1\r\n]
  [Severity level: Chat]
  [Group: Sequence]
  Request Method: POST
  Request URI: /neonatos/api/BirthRecords
  Request Version: HTTP/1.1
  Host: 158.42.167.71\r\n
  accept: text/plain\r\n
  > Authorization: Basic YWRtaW5AbmVvbmF0b3MuY29tOkFkbWluMSQ=\r\n
  Content-Type: application/json\r\n
  Content-Length: 139498\r\n
  [Content length: 139498]
  Expect: 100-continue\r\n
  \r\n
  [Full request URI: http://158.42.167.71/neonatos/api/BirthRecords]
  [HTTP request 2/2]
  File Data: 139498 bytes
JavaScript Object Notation: application/json
  Object
  > Member: nhc
  > Member: sip
  > Member: numPinza
  > Member: dniMadre
  > Member: nombreMadre
  > Member: imagenHuella

```

Figura 48: Paquete HTTP con JSON

A continuación, se explicará cada uno de los diferentes registros del paquete capturado en Wireshark. Este paquete capturado muestra la solicitud HTTP POST enviada a través de la capa de aplicación haciendo uso del protocolo HTTP/1.1.

Si se enfoca en la ruta, podemos visualizar que el paquete es enviado a la API "/neonatos/api/BirthRecords" situada en el servidor con dirección IP 158.42.167.71.

El encabezado "Content-Type" especifica el formato del cuerpo de la solicitud, en este caso los datos se encuentran en formato JSON, con un tamaño de 139498 bytes.

La solicitud también incluye un campo cuya finalidad es para la autenticación básica mediante, este es a causa del encabezado "Authorization" y espera una respuesta "100-continue" del servidor.

El cuerpo de la solicitud contiene un objeto JSON con propiedades como "nhc", "sip", "numPinza", "dniMadre", "nombreMadre" e "imagenHuella".

4. **En las tramas TCP adicionales,** Son tramas TCP que se repiten a lo largo de toda la captura, este tipo de tramas envían paquetes con la marca PSH (Push), donde se indica al servidor que entregue inmediatamente los datos recibidos a la capa de aplicación en lugar de esperar a recibir una cantidad específica de datos. Este procedimiento ayuda a mejorar la eficiencia y la capacidad de respuesta en la transmisión de datos.
5. **Respuesta TCP con código 201 (Creado):** Una vez que el servidor ha recibido y procesado el archivo JSON, envía una respuesta TCP al cliente, 201, 404,500 entre otros. En el caso de la Figura 49, se puede visualizar que se ha recibido una respuesta 201 (Created), lo que significa que la API ha creado con éxito un nuevo recurso.

```

... 6.783817 158.42.167.71 10.236.57.191 TCP 1440 HTTP/1.1 201 Created [TCP segment of a reassembled PDU]

...0 0000 0000 0000 = Fragment Offset: 0
Time to Live: 124
Protocol: TCP (6)
Header Checksum: 0x952c [validation disabled]
[Header checksum status: Unverified]
Source Address: 158.42.167.71
Destination Address: 10.236.57.191
Transmission Control Protocol, Src Port: 80, Dst Port: 50163, Seq: 15272, Ack: 139722, Len: 1386
Source Port: 80
Destination Port: 50163
[Stream index: 6]
[Conversation completeness: Complete, WITH_DATA (63)]
[TCP Segment Len: 1386]
Sequence Number: 15272 (relative sequence number)
Sequence Number (raw): 689061532
[Next Sequence Number: 16658 (relative sequence number)]
Acknowledgment Number: 139722 (relative ack number)
Acknowledgment number (raw): 3639331961
0101 .... = Header Length: 20 bytes (5)
Flags: 0x010 (ACK)
000. .... = Reserved: Not set
...0 .... = Accurate ECN: Not set
... 0... = Congestion Window Reduced: Not set
... .0.. = ECN-Echo: Not set
... 0 = Urgent: Not set

```

Figura 49: Paquete con respuesta 201

Tras analizar cada trama mediante el wireshark, en la Figura 50 se define un diagrama de tramas en la que se define tanto el tráfico interno como externo del sistema.

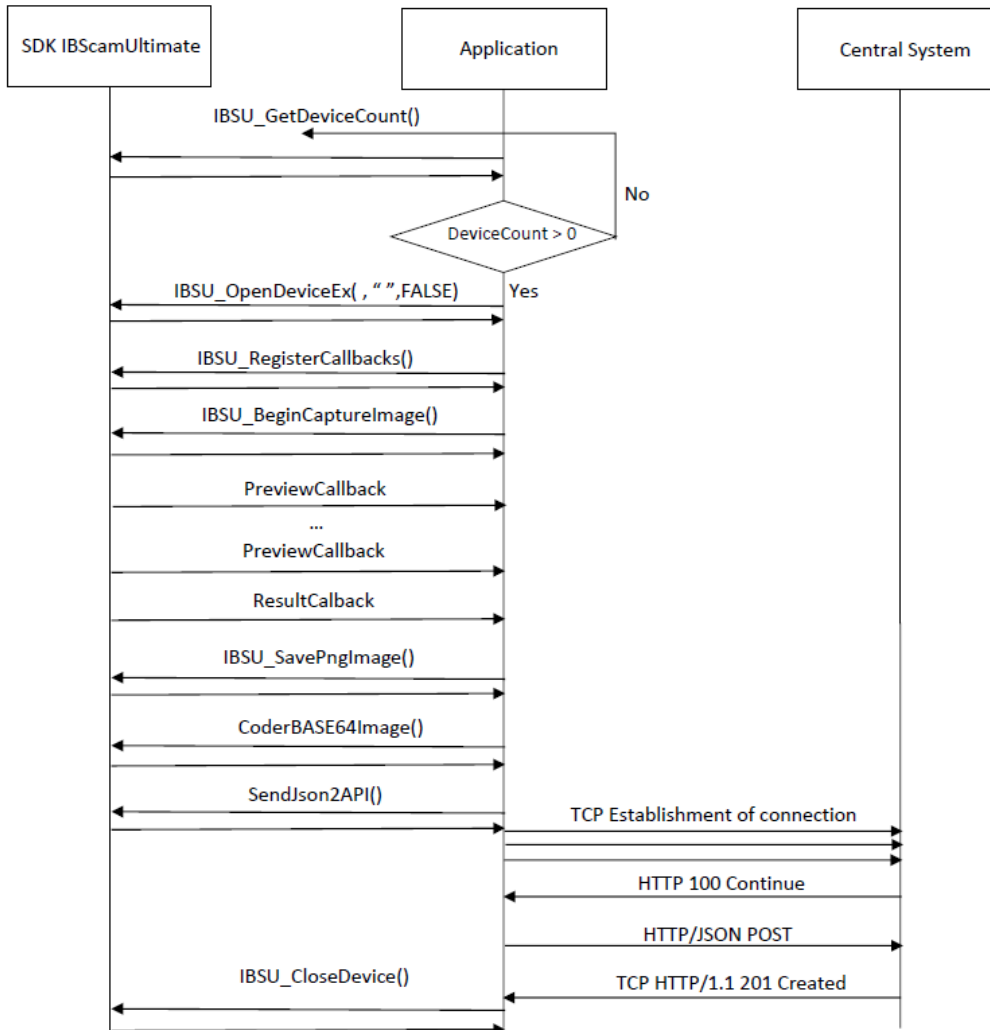


Figura 50: Diagrama de Tramas

### 4.3 Validación

Para validar el correcto funcionamiento del sistema se han llevado a cabo una serie de pruebas, en entornos controlados dentro del laboratorio, como pruebas en entornos clínicos, con el objetivo de garantizar la estabilidad, eficiencia y seguridad del sistema.

Las pruebas han sido diseñadas para interactuar con el sistema, como fuera a funcionar una vez puesto en despliegue, estas pruebas nos permitirán conocer áreas que necesita un reajuste o nuevas áreas de futuro estudio y desarrollo a causa del comportamiento

#### 4.4.1. Pruebas Laboratorio:

Como paso previo a la realización de pruebas en entornos clínicos, se llevó a cabo una serie de pruebas en entornos controlados dentro del laboratorio. Estas pruebas tenían como objetivo evaluar el rendimiento del sistema, los tiempos de uso de las baterías y otros aspectos relevantes.

Dado que no era posible utilizar neonatos o infantes reales en el laboratorio para este tipo de pruebas, se emplearon huellas palmares de adultos como una alternativa como puede visualizarse en la Figura 51. Es importante destacar que estas huellas palmares no presentaban características similares a las de los neonatos o infantes, entorno a anchura de las crestas y la facilidad de localizar puntos característicos.

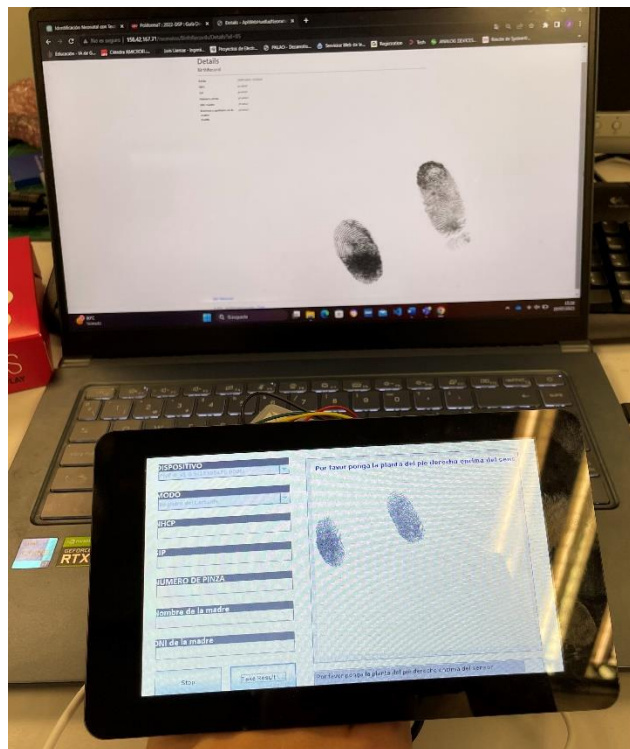


Figura 51: Ensayo laboratorio

El propósito principal de estas pruebas era asegurar al máximo el correcto funcionamiento del sistema en relación con las conexiones a la API y a la base de datos, así como garantizar la seguridad durante las pruebas en entornos clínicos.

#### 4.4.2. Pruebas Entornos Clínicos:

Respecto a la fase de validación en entornos clínicos, el estudio de prueba que se llevó a cabo en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) pediátrica del Hospital de la FE, se organizó en dos



bloques de pruebas, que se desarrollaron en días distintos. Las pruebas se centraron en neonatos con el propósito de comprobar y manejar el sistema de extracción de huellas dactilares.

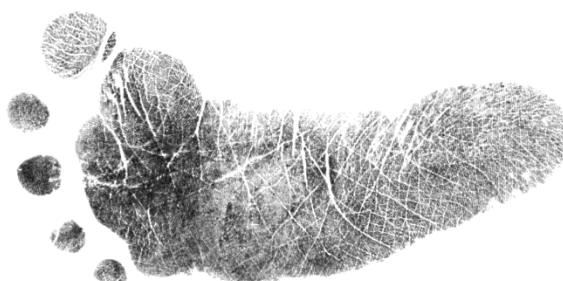
Durante el primer bloque de pruebas, se evaluó el sistema no portátil en su versión de Windows x64. El principal objetivo era medir la eficiencia de los métodos de extracción de huellas y evaluar la calidad de la detección de estas por el sistema.

Estas pruebas se llevaron a cabo en pacientes prematuros. Se encontró que el sistema enfrentaba desafíos al tratar de lograr una resolución adecuada de las huellas dactilares de los neonatos. Varios componentes del sistema resultaron no ser útiles, ya que no lograban estabilizar la imagen o captar la imagen entera como puede visualizarse en la Figura 52. En consecuencia, se decidió desactivar la función de auto disparo y dedo rolando como medida inicial.



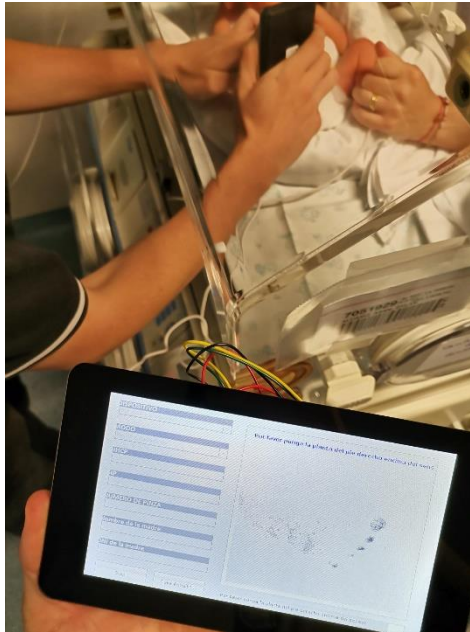
*Figura 52: Muestra con problemas de Contraste*

A pesar de los desafíos, se pudo extraer imágenes de alta calidad (ver Figura 49). Es importante destacar que los sistemas de transporte y almacenamiento de datos no presentaron fallos durante este bloque de pruebas.



*Figura 53: Imagen muestra Sistema Sabien*

El segundo bloque de pruebas estaba destinado a probar el dispositivo portátil y recopilar más información para posibles mejoras. También se buscaba realizar pruebas con individuos que se encontraban en diferentes estados de gestación como puede visualizarse en la Figura 54 . Se realizó una prueba con un neonato de 3 kg para evaluar si la huella del lactante no era lo suficientemente grande para captarse en el área de registro del dispositivo.



*Figura 54: Prueba de Extracción de Huellas*

El rendimiento del dispositivo portátil presentó problemas relacionados con la duración de la batería, ya que el FIVE-0 demostró consumir más energía de la prevista. Este factor afectó negativamente el rendimiento del dispositivo durante las pruebas.

Se realizaron también simulacros en los que se aplicó vaselina al neonato para simular la presencia de fluidos del nacimiento. Los resultados demostraron una notable mejora en la captura de huellas en comparación con las huellas en seco como puede visualizarse en la Figura 55. Con la excepción del problema con la duración de la batería, la fase de análisis en entornos hospitalarios fue considerada exitosa.



*Figura 55: Imagen extraída en pruebas clínicas*

Los dos bloques de pruebas aportaron valiosos datos e información que serán útiles para las futuras mejoras del sistema. A pesar de los desafíos encontrados, la calidad de las imágenes extraídas y los resultados positivos de las pruebas con vaselina indican que el sistema tiene un gran potencial para ser utilizado con éxito en entornos de hospital.

## 5. Conclusiones

En este capítulo, después de realizar las validaciones del sistema y analizar los resultados obtenidos, se ha evaluado de manera objetiva el cumplimiento de los objetivos del sistema biométrico de identificación de recién nacidos/infantes desarrollado en este Trabajo de Fin de Grado (TFG).

### 5.1 Revisión de objetivos

En esta sección, se analizarán las características técnicas y funcionales del sistema final implementado, con el objetivo de verificar si cumple con los requisitos necesarios para su distribución en sistemas hospitalarios.

El sistema cuenta con la capacidad de extraer de forma segura las huellas dactilares utilizando el lector FIVE-0. Además, su interfaz gráfica permite que el personal médico introduzca información adicional en la identificación, como el NHCP, SIP y otros datos. Esto demuestra que el sistema es capaz **de extraer y gestionar datos de manera segura y precisa**.

Se ha desarrollado un sistema de almacenamiento de datos basado en una base de datos, utilizando mecanismos de linealización como una API que utiliza solicitudes REST. Esta arquitectura permite que el sistema se conecte y distribuya la información a diferentes dispositivos dentro del sistema médico.

Una de las soluciones desarrolladas, la solución para ARM64, destaca por su ligereza y portabilidad, lo que facilita su uso en diferentes ubicaciones dentro de un hospital. Por lo tanto, podemos caracterizarlo como un sistema portátil, lo cual resulta conveniente para su aplicación en entornos médicos. El sistema es compatible con diversos sistemas operativos, como Windows x64 y Linux de 64 bits con ARM. Además, se ha diseñado para que continúe desarrollándose en el tiempo para adaptarse a futuras necesidades y expansiones, lo que garantiza su **flexibilidad y escalabilidad**.

El sistema se integra con una API REST que permite el envío y recepción eficiente y seguro de datos. Asimismo, se establece una sincronización en tiempo real de los datos entre los dispositivos de captura y la base de datos central, lo cual contribuye a su definición como un **sistema distribuido**.

Se garantiza un almacenamiento seguro y confiable de los datos de identificación de recién nacidos en una base de datos centralizada. Además, se ha desarrollado una aplicación web para la gestión de datos, que permite **visualizar los registros y monitorearlos de manera eficiente**.

Para facilitar el uso del sistema por parte del personal médico, se ha diseñado **una interfaz gráfica sencilla, intuitiva y guiada por mensajes**. Esto asegura que los profesionales puedan interactuar de forma cómoda y eficaz con el sistema, sin requerir un entrenamiento extenso.

Por lo tanto, se puede llegar a la conclusión de que se ha logrado el objetivo principal de diseñar e implementar **un sistema de identificación biométrico para el registro de la huella plantar de recién nacidos**. La solución propuesta consta de un hardware modular integrado de forma eficiente y con una capa de gestión de la información que permite almacenar de forma remota las huellas plantares digitalizadas. Gracias a la fiabilidad del sistema, las huellas registradas cuentan con las características requeridas para que se puedan identificar de forma unívoca.

## 5.2 Conclusiones

En este proyecto se abordó la problemática de la identificación de neonatos y lactantes, así como las limitaciones de los métodos actuales. Se diseñó un sistema digital innovador que permite una identificación no invasiva de este grupo de individuos, utilizando tecnologías digitales para capturar, transmitir y almacenar datos con precisión.

Se empleó el sensor comercial FIVE-0 de la empresa IBS para la extracción de huellas digitales, adaptando su aplicación principal y diseñando una API para la transmisión de datos a través de solicitudes REST. La información recopilada se almacenó en una base de datos, accesible a través de una aplicación web de monitoreo.

Durante las pruebas en entornos seguros y médicos, se enviaron y registraron los datos de manera precisa, demostrando un manejo adecuado del sistema. Sin embargo, surgieron desafíos relacionados con el sensor, ya que su uso se veía limitado por las DLL y protocolos de seguridad internos certificados por empresas como el FBI. A pesar de estos obstáculos, se obtuvieron resultados satisfactorios en las pruebas de entorno.

Tras la presentación del Trabajo de Fin de Grado, se continuará trabajando en la mejora del sistema para desarrollar un prototipo más eficiente y cómodo en entornos hospitalarios. Se busca maximizar la eficacia y comodidad del sistema sin necesidad de procesos invasivos.

El sistema actual tiene la ventaja de ser portátil y confiable, evitando métodos invasivos para la identificación. Además, podría coexistir con otros sistemas, como el lector de huellas Certascan, mediante configuraciones internas de los sensores que permitan publicar los datos en la misma base de datos.

En la extracción de huellas, se requiere la participación de dos profesionales debido al movimiento de los lactantes. Uno de ellos utiliza el sensor para capturar la imagen mediante la interfaz gráfica. Es importante destacar que el dispositivo es portátil y de tamaño reducido, lo que permite obtener huellas con mayor resolución.

La cantidad de huellímetros necesarios en un hospital dependerá de sus infraestructuras. En el hospital analizado, se sugiere un huellímetro fijo por paritorio y al menos dos huellímetros portátiles en todas las instalaciones hospitalarias.

El sistema final implementado debe contar con un backend para asegurar el acceso a los datos en cualquier momento, debido a que será necesario hacer una identificación dentro de las instalaciones donde se produjo el alumbramiento, como en los diferentes centros de salud donde se realizaran procedimientos médicos adicionales, como la vacunación. En este prototipo inicial, las comunicaciones se realizan al momento de tomar la medida, pero se deberá desarrollar un sistema de respaldo para la publicación periódica de los datos guardados localmente y gestionar las bases de datos para evitar duplicados, a causa de la sensibilidad de los datos.

Aunque el sistema actual tiene un costo más alto en comparación con los métodos clásicos de tinta, ofrece especificaciones técnicas destacadas y una identificación inequívoca con pocos errores de extracción. Este gasto puede ser asumible para los sistemas sanitarios.

En general, el sistema desarrollado cumple con la mayoría de las especificaciones requeridas por los expertos sanitarios, pero se necesitarán más fases de desarrollo para aumentar su nivel de redondez y abstracción.

### 5.3 Conocimientos reflejados de la carrera

En este proyecto se han desenvuelto los conocimientos adquiridos a lo largo de la estancia en el grado de Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, tanto en las áreas de telemática como en el área de electrónica.

En el ámbito de los sistemas telemáticos, he aplicado los conocimientos adquiridos en asignaturas como "*Diseño de Sistemas Telemáticos*" (DST), donde he estudiado protocolos y estrategias para la transmisión eficiente de información. Asimismo, en la asignatura "*Aplicaciones Telemáticas*" (Atelem), he utilizado programación en Java y C++ para realizar solicitudes a través de la API utilizando mensajes REST. Además, en la asignatura "*Comunicación multimedia*" (Cmulti), he aplicado técnicas de procesado y compresión de imágenes para su posterior empaquetado.

Por otro lado, en el campo de los sistemas electrónicos, he hecho uso de los conocimientos adquiridos en asignaturas como "*Sistemas de Microprocesadores*" (Smicro) y "*Aplicaciones de los microprocesadores*" (Apmicro). Estas asignaturas me han proporcionado una comprensión profunda de las arquitecturas de hardware utilizadas en el proyecto, así como habilidades de programación en C++ para desarrollar aplicaciones específicas para microprocesadores.

### 5.4 Trabajo futuro

Como se ha especificado antes en el apartado de conclusiones, se ha generado una serie de objetivos futuros en los que se trabajara para generar un prototipo totalmente funcional.

- Se harán estudios para el uso de sistemas embebidos que no posean una lógica interna tan compleja como las raspberry pi, mediante el uso de procesadores RISC-V.
- Se crearán avances sobre el software de la aplicación con la idea de mejorar el contraste y la resolución de las imágenes.
- Crear un software de análisis de huellas plantares, una buena opción sería el diseño mediante el uso de algoritmos de inteligencia artificial.

## 5. Bibliografía

- [1] M. L. P. K. C. C. R. D. M. Z. L. W. L. T. S. J. D. Bertoia, "Identification of pregnancies and infants within a US commercial healthcare administrative claims database.," *Pharmacoepidemiology and Drug Safety*, pp. 863-874, 2022.
- [2] E. S. L. M. S. G. S. R. F. I. B. C. J. L. L. M. A. P. .. & R. M. D. S. López, Recomendaciones para la identificación inequívoca del recién nacido. In *Anales de Pediatría*, Elsevier Doyma., 2017.
- [3] B. I. & F. K. W. Bertenthal, "Development of self-recognition in the infant.," *Developmental psychology*, p. 44, 1978.
- [4] F. R. M. & d. R. D. Bernardi, "La caída de la fecundidad y el déficit de natalidad en España," *Revista Española de Sociología*, pp. 29-49, 2003.
- [5] Y. D. K. A. M.-H. G. N. C. S. N. N. & K. P. Moolla, "Biometric recognition of infants using fingerprint, iris, and ear biometrics.," *IEEE Access*, p. 9, 2021.
- [6] H. C. E. I. F. L. P. C. & P. L. Beck, "Iris recognition technology in newborns," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, pp. 2265-2265, 2008.
- [7] N. & d. K. A. Nelufule, "Infant Iris Biometric Recognition System: Can the iris be used for a secure infant recognition system?," in *Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)* , 2023.
- [8] L. H. Y. & J. A. Best-Rowden, "Automatic face recognition of newborns, infants, and toddlers: A longitudinal evaluation.," *International Conference of the Biometrics Special Interest Group (BIOSIG)*, p. 8, 2016.
- [9] D. J. M. B. K. & S. S. Yambay, " A feasibility study on utilizing toe prints for biometric verification of children.," in *International Conference on Biometrics (ICB)*, 2019.
- [10] E. Liu, "Infant footprint recognition," in *In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* , 2017.
- [11] A. C. B. K. B. H. & M. R. Rathour, "Newborn Identification using footprints: Add another line of security.," *International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)*, p. 995, 2022.
- [12] R. S. R. C. & K. R. Khokher, "Footprint recognition with principal component analysis and independent component analysis.," *Macromolecular symposia*, vol. 347, no. 1, pp. 16-26, 2015.
- [13] H. N. Singh, Forensic podiatry evidence and admissibility in court., 2021.
- [14] L. A. B. M. & H. J. Tyler-Viola, "Early Recognition of Neonatal Sepsis by Nurses.," *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*, p. 46, 2017.

# Anexo 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible

En 2015, los 193 Estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece en el marco de trabajo de la Agenda 2030 una serie de objetivos globales para erradicar la pobreza y mitigar los efectos del cambio climático. Estos objetivos han sido presentados a nivel mundial como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y comprenden una serie de acciones clave en un total de 17 categorías que contienen metas e indicadores concretos.

La filosofía detrás de los ODS es que cualquier ser humano, sea cual sea su país de origen, posición social o recursos, realice acciones encaminadas a contribuir a las metas e indicadores.

En este marco, el presente Trabajo Fin de Grado contribuye a los siguientes ODS:

- **Objetivo 8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.**

Las cifras de empleo no regulado son muy preocupantes, especialmente en España donde se estima que la economía sumergida tiene un volumen de aproximadamente el 20% del producto interior bruto. Además, las condiciones de trabajo no son iguales para todos los sectores sociales, y lamentablemente, la brecha salarial por razones de género es todavía muy abultada.

- **Meta 8.8: Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y sin riesgos para todos los trabajadores, incluidos los trabajadores migrantes, en particular las mujeres migrantes y las personas con empleos precarios**

Garantizar los derechos laborales y un entorno de trabajo digno para los trabajadores es un objetivo principal de los graduados sociales. España es un país desarrollado con unos altos niveles de calidad laboral. No obstante, la precariedad laboral, especialmente entre jóvenes y trabajos de baja cualificación es una lacra que distintos organismos internacionales han denunciado. El presente trabajo fin de grado propone un plan estratégico con el objetivo de mejorar los procesos del Colegio Oficial de Graduados Sociales de Valencia, contribuyendo de esta forma a que los Graduados Sociales puedan desarrollar su labor de la mejor manera posible, estableciendo una unión corporativa, promoviendo el reciclaje y la formación y estableciendo redes de trabajo que fortalezcan a los y las profesionales.

- **Objetivo 16: Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas.**

El acceso a información pública, las normas de buen gobierno y la transparencia son uno de los pilares fundamentales sobre los que se construyen las democracias más sólidas del mundo. La acción de los dirigentes de instituciones públicas debe ser abierta y estar constantemente sometida al escrutinio público. EL Colegio de Graduados Sociales, por ser una entidad de derecho, con personalidad jurídica propia y naturaleza público-privada, tiene la obligación moral de adherirse a estos principios que conforman el ODS 16.

- **Meta 16.6: Crear a todos los niveles instituciones eficaces y transparentes que rindan cuentas**

El presente trabajo fin de grado propone actuaciones relacionadas con el uso de información relativa a los procesos y de las actividades con los y las colegiadas como recurso para la mejora continua basada en objetivos. No obstante, esta información también se puede utilizar para la elaboración de informes de actividad y memorias, detallando de la forma más transparente posible las motivaciones detrás de las decisiones y los criterios adoptados en las acciones que se han realizado. El plan estratégico propone además la participación de



todos los actores implicados, creando así un clima de inclusividad y compromiso.