

# Inteligencia Artificial para el reconocimiento de huellas

**Laura Rivera Sánchez**

MU Ingeniería Computacional y Matemática  
Área de Inteligencia Artificial

**Nombre Tutor/a de TFM**  
Elena Álvarez de la Campa Crespo

**Profesor/a responsable de la asignatura**  
Carles Ventura Royo

**Fecha Entrega** 06/2023

**Firma del director autorizando la entrega final del TFM:**



Universitat  
Oberta  
de Catalunya





Esta obra está sujeta a una licencia de  
Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0](#)  
[España de Creative Commons](#)

## FICHA DEL TRABAJO FINAL

<b>Título del trabajo:</b>	<i>Sistema de reconocimiento de huellas</i>
<b>Nombre del autor:</b>	<i>Laura Rivera Sánchez</i>
<b>Nombre del consultor/a:</b>	<i>Dra. Elena Álvarez de la Campa Crespo</i>
<b>Nombre del PRA:</b>	<i>Carles Ventura Royo</i>
<b>Fecha de entrega (mm/aaaa):</b>	<i>06/2023</i>
<b>Titulación o programa:</b>	Máster en ingeniería computacional y matemáticas (URV-UOC)
<b>Área del Trabajo Final:</b>	<i>Inteligencia Artificial</i>
<b>Idioma del trabajo:</b>	<i>Castellano</i>
Palabras clave	<i>Inteligencia artificial, reconocimiento de imágenes, huella</i>
<b>Resumen del Trabajo</b>	
Implementación de una inteligencia artificial para la detección de huellas de calzado con el objetivo de identificar si la huella existe en la muestra o su marca / modelo para facilitar las investigaciones de crímenes.	
<b>Abstract</b>	
Implementation of artificial intelligence for the detection of shoe prints in order to identify whether the print exists in the sample or to know its brand / model to facilitate crime investigations.	

# Índice

1.	Introducción .....	1
1.1.	Contexto y justificación del Trabajo .....	1
	Objetivos del Trabajo.....	2
1.2.	Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad .....	2
1.3.	Enfoque y método seguido .....	3
1.4.	Planificación del Trabajo .....	4
1.5.	Breve sumario de productos obtenidos.....	8
1.6.	Breve descripción de los otros capítulos de la memoria.....	8
2.	Estado del arte .....	9
2.1.	Huellas .....	9
2.2.	Realización de muestras .....	10
2.3.	Inteligencia artificial y redes neuronales .....	12
2.4.	Herramientas existentes .....	12
2.5.	Bases de datos .....	12
3.	Bibliografía .....	14
4.	Anexos .....	16
4.1	Diagrama de Gantt completo.....	16
4.2.	Extracto del document: Shoeprint and tire track collection guide.....	17

# **Lista de figuras**

Figura 1: Fechas claves actividades evaluables según plan docente [1].....	4
Figura 2: Gantt del primer bloque correspondiente a la PEC1.....	5
Figura 3: Gantt del segundo bloque de preprocesamiento. ....	5
Figura 4: Gantt del tercer bloque de creación del modelo.....	6
Figura 5: Gantt del cuarto, quinto y sexto bloque de modelos preentrenados, comparativas y conclusiones hasta la entrega de la PEC3.....	6
Figura 6: Gantt del sexto, séptimo y octavo bloque de conclusiones, líneas de trabajo futuras y defensa .....	7
Figura 7: Foto de Immo Wegmann en Unsplash de una huella dactilar.....	9
Figura 8: Extracto del manual de toma de fotografías de huellas. ....	10
Figura 9: Ejemplo levantamiento de huella con yeso del tweet [8] de @srtaperito.	
.....	11
Figura 10: Ejemplo de escáner 3D de la marca artec3d [9]. .....	11

# 1. Introducción

## 1.1. Contexto y justificación del Trabajo

Actualmente existen sistemas para el reconocimiento de huellas dactilares o huellas de neumáticos de coche, pero existen pocos sistemas de reconocimiento de huellas plantares o de calzado.

Por un lado, este sistema de reconocimiento podría cubrir necesidades de diferentes sectores. Por ejemplo, el sector de la criminología al permitir definir el tipo de calzado, marca y modelo en huellas encontradas en la escena del crimen. De este sector, existen algunas herramientas que utilizan los departamentos de policía, como SICAR 6[1] o PRIDE [2] que identifican la marca y modelo de la huella facilitada.

Además, una investigación interesante sería complementar esas huellas con datos médicos para determinar factores relacionales con la fisionomía y postura del individuo, por ejemplo, determinar peso o patologías y peculiaridades al andar (si es supinador o pronador, por ejemplo). En esta línea, existen investigaciones para determinar altura y sexo en huellas de pies descalzos, cómo por ejemplo en el reciente artículo de Md Asadujjaman, Md Harun Or Rashid, Md Sohel Rana & Md Mosharraf Hossain que estudian una estimación de la altura en huellas de adultos [3].

Por otro lado, desde hace años existen líneas de investigación (Kapil Kumar Kagwanshi, Sipi Dubey) [4] en las que se aplica la lectura de la huella plantar como herramienta de biometría para la identificación única de las personas, como alternativa a la huella dactilar o iris del ojo.

Por último, y pensando en una manera de monetizar el proyecto, se podría aplicar para nuevas fórmulas de fidelización de clientes en marcas de calzado, creando un nuevo producto que mediante el uso de una alfombra determine la marca y modelo que utilizan los clientes.

Para este trabajo, me voy a centrar en la detección de huellas de calzado para resolver el problema en el sector de la criminología. En concreto, en crear un modelo que identifique una huella en una fotografía y determine si una huella se encuentra en la base datos y en determinar la marca y modelo del calzado.

## Objetivos del Trabajo

El objetivo de este trabajo no es dar solución general al problema descrito, ya que existen herramientas en el mercado con grandes bases de datos que lo resuelven. El objetivo principal es estudiar si los modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) son capaces de dar resultados satisfactorios con un conjunto de datos limitado y reconocer la marca y modelo de huellas de calzado presentes en una fotografía.

Sin entrar en especificaciones técnicas, este objetivo se divide en los siguientes hitos generales:

- Búsqueda de una base de datos de huellas de zapatos.
- Preprocesado de las imágenes para determinar el mejor método para extraer sus características.
- Realizar aumentación de datos: generar nuevas imágenes a partir de las disponibles para nutrir la red neuronal.
- Crear un sistema de reconocimiento de imágenes capaz de identificar una huella en una fotografía.
- Crear la inteligencia artificial capaz de identificar de forma eficaz:
  - Si esa huella está en la base de datos (identificar el calzado de un sospecho).
  - La marca / modelo del calzado de la huella.
- Obtener resultados aceptables para huellas parciales.

Se va a considerar un resultado eficaz si se obtiene una eficacia de como mínimo el 90%. Y se considera aceptable un 60% de eficacia.

Además, como objetivo adicional: búsqueda de bases de datos de huellas plantares con información de patologías de pacientes. Realización de pruebas y determinar si con el mismo modelo se podría determinar características físicas de pacientes.

### 1.2. Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad

Respecto a los aspectos de la dimensión de **sostenibilidad medioambiental**, la creación del modelo en los servidores de Google Colab se podría considerar que tiene un impacto negativo ya que su creación implica un uso intensivo de esos servidores que están conectados a la corriente, pero no existe manera de mitigarlo o saber si se utilizan energías renovables. Por otro lado, podría tener un impacto positivo por el hecho de que, si se crea una aplicación móvil para capturar las imágenes y el modelo es capaz de reconocer las huellas con la calidad del dispositivo, no haría falta el uso de cámaras específicas que después suponen un residuo difícil de reciclar. Ambos aspectos están relacionados con el **ODS 12- Responsible consumption and production**.

En la **dimensión ético-social**, el modelo en sí, en un notebook de Jupyter no tendría ningún impacto en la sociedad, ni positivo ni negativo, ya que no llegaría a comercializarse. En el caso de ser un producto apto para que la policía lo utilice, tendría un impacto positivo ya que ayudaría a la resolución de casos de investigación y reducir los crímenes. De la misma manera, si se usara de manera malintencionada, se le podría dar un mal uso para acosar/perseguir personas o a alguna comunidad. Estos aspectos corresponden al **ODS 16- Peace, justice and strong institutions.**

Por último, en la **dimensión sobre diversidad, género y derechos humanos** no tiene ningún impacto ni positivo ni negativo. Quizás el impacto negativo, ya nombrado en la dimensión anterior, que con un mal uso se pudiera perseguir algunas comunidades (etnias) vulnerando el **ODS 10- Reduced inequalities.**

### 1.3. Enfoque y método seguido

Aunque existen herramientas que resuelven el problema, para este trabajo he decidido crear un **modelo desde cero** para experimentar todo el proceso de creación de una red neuronal: preprocesado, parametrización, evaluación y conclusiones.

Se utilizará el lenguaje de programación **Python**, en un cuaderno Jupyter utilizando los servidores de **Google Colab**.

En cuanto a la metodología de trabajo, se ha **dividido los objetivos en 8 bloques** (mencionados en el siguiente apartado) para ir trabajando cada una de las fases del proyecto. Aunque se prevé que las tareas sean secuenciales, las tareas de documentación y redacción se realizarán por cada bloque, para adelantar la redacción de la memoria durante el proceso.

## 1.4. Planificación del Trabajo

Para la planificación de las tareas, se va a tener en cuenta las fechas de entrega del plan docente de la asignatura:

Nombre	Inicio / Enunciado	Entrega	Solución	Calificación
PEC1 - Definición y plan de trabajo	16/11/2022	16/12/2022	-	23/12/2022
PEC2 - Desarrollo del trabajo - Fase 1	17/12/2022	10/03/2023	-	24/03/2023
PEC3 - Desarrollo del trabajo - Fase 2	11/03/2023	05/05/2023	-	14/05/2023
PEC4 - Redacción de la memoria y presentación	06/05/2023	07/06/2023	-	27/06/2023
PEC5b - Defensa pública	12/06/2023	22/06/2023	-	27/06/2023

Figura 1: Fechas claves actividades evaluables según plan docente [1].

Antes de crear la planificación, se ha dividido el proyecto en diferentes objetivos principales:

### 1.4.1. Tareas principales

- Preprocesamiento: este grupo de tareas incluye las correspondientes a escoger la base de datos, estudiar y documentar los métodos de extracción de características de las imágenes, aumento y división del conjunto de datos en entrenamiento, test y validación.
- Modelos secuenciales: incluye las tareas correspondientes a estudiar y documentar los modelos secuenciales conocidos, experimentar con diferentes parámetros para seleccionar el que utilizará el proyecto.
- Modelos preentrenados: tareas para añadir modelos preentrenados al modelo para comparar los datos.
- Comparativa: tareas de redacción y creación de gráficas para la comparativa de resultados.
- Conclusiones: aunque durante todas las tareas anteriores se irá redactando los procesos y conclusiones, esta tarea incluye la redacción de conclusiones globales y análisis de hipótesis.
- Líneas de trabajo futuras: Redacción de posibles líneas de trabajo futuras.

#### 1.4.2. Tareas adicionales

En el apartado de líneas de trabajo futuras, se pretende guardar un espacio de tiempo para:

- Experimentar con otras bases de datos. Me he puesto en contacto con empresas del sector por si pudieran facilitar un conjunto de datos de pruebas
- Analizar la complejidad de alojar el código Python en un servidor, en lugar de en un cuaderno Jupyter, y ver que supondría crear una aplicación móvil que mande la imagen a ese servidor para recibir la respuesta sobre la marca y modelo de la huella enviada.

#### 1.4.3. Planificación GANTT

A continuación, se detalla cada uno de los bloques de tareas que se tendrán en cuenta y su diagrama Gantt realizado con TeamGantt [2]. El diagrama completo se encuentra en el anexo **4.1 Diagrama de Gantt completo**.

##### Definición y plan de trabajo (Del 16/11/2022 al 23/12/2022)

Incluye todas las tareas correspondientes a la primera entrega sobre investigación y definición de los objetivos del trabajo, además de la redacción del segundo capítulo de estado del arte.

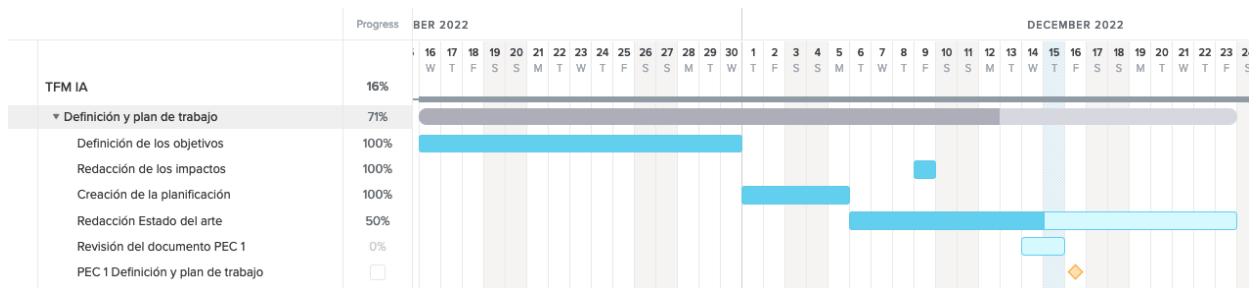


Figura 2: Gantt del primer bloque correspondiente a la PEC1.

##### Preprocesamiento (del 01/12/2022 al 25/01/2023)

Incluye tareas como la elección de la base de datos (iniciada antes de la primera entrega, ya que he considerado que era importante para la definición de objetivos) y todas las tareas correspondientes al preprocesamiento de las imágenes: extracción de características, aumentación y división del conjunto de datos en subconjuntos de entrenamiento, test y validación.

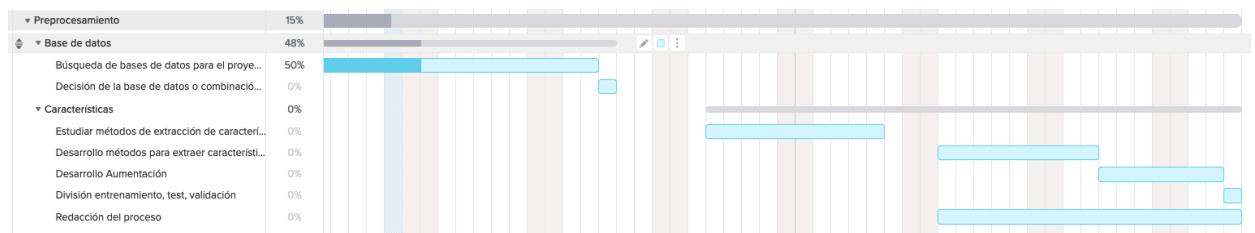
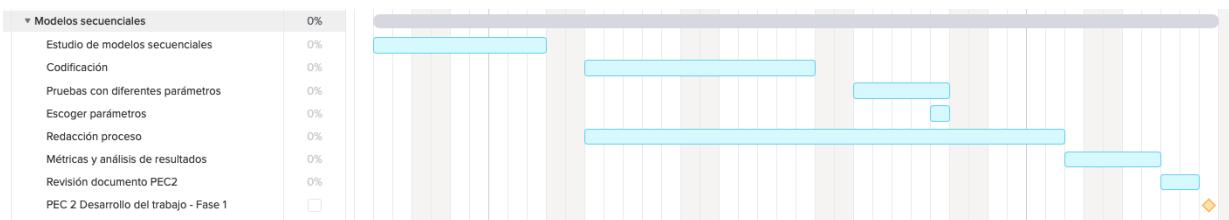


Figura 3: Gantt del segundo bloque de preprocesamiento.

## **Modelos secuenciales (del 26/01/2023 al 09/03/2023)**

Incluye las tareas de estudiar los modelos secuenciales para después programar el modelo que posteriormente se entrenara con los datos del bloque de preprocesamiento con los parámetros que obtuvieron mejores resultados. Durante este proceso también se incluye la redacción del proceso de la memoria y el análisis de resultados.

El final de este bloque coincide con la entrega de la PEC2 de desarrollo – Fase 1, por lo que esta entrega va a incluir los bloques de preprocesado y creación del modelo.



**Figura 4:** Gantt del tercer bloque de creación del modelo.

## **Modelos preentrenados (del 13/03/2023 al 31/03/2023)**

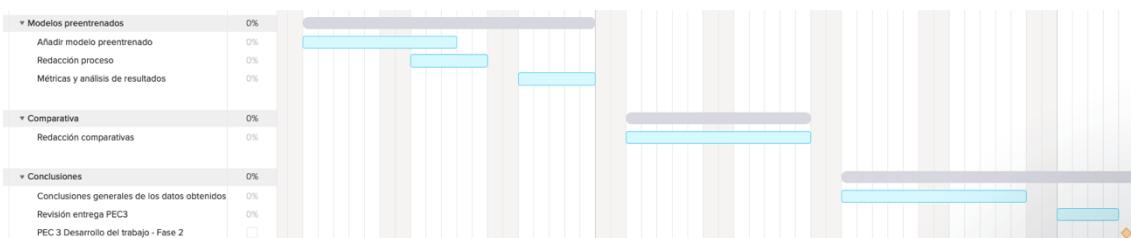
Incluye las tareas de incorporar datos preentrenados al modelo y analizar los resultados. Añade la redacción del proceso y conclusiones.

## **Comparativa (del 03/04/2023 al 14/04/2023)**

Incluye las tareas de documentar la comparativa de resultados de los dos bloques anteriores: redacción y creación de gráficas.

## **Conclusiones (del 17/04/2023 al 12/05/2023)**

Incluye las tareas de redacción de las conclusiones generales del trabajo, además de realizar pruebas con fotografías de fuera del conjunto de datos para testear el modelo. En estas fechas coincide la entrega de la PEC3, donde se entregará el material realizado hasta el bloque de comparativa y una primera versión de las conclusiones.



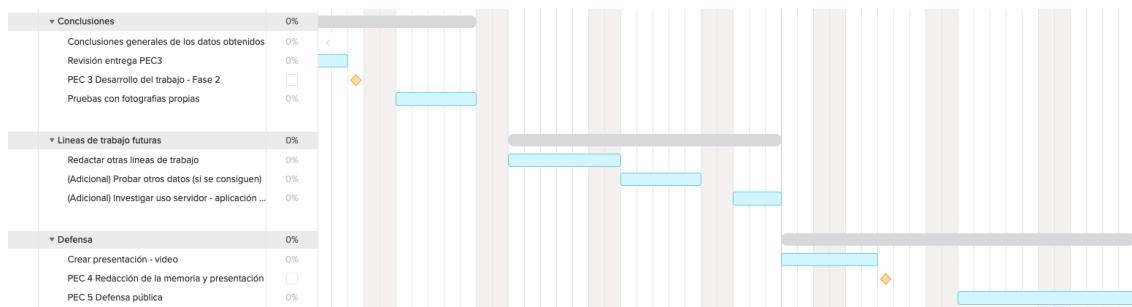
**Figura 5:** Gantt del cuarto, quinto y sexto bloque de modelos preentrenados, comparativas y conclusiones hasta la entrega de la PEC3

## **Líneas de trabajo futuras (del 15/05/2023 al 31/05/2023)**

Incluye tareas de redacción de otras líneas de trabajo que se podrían realizar. Además, de forma adicional/opcional me gustaría probar el modelo con otros datos, si se reciben y también investigar qué pasos debería realizar para tener el modelo en un servidor.

## Defensa (del 01/06/2023 al 22/06/2023)

Incluye las tareas de redacción final de la memoria, que se ha ido realizando en los bloques anteriores, grabación y edición de la presentación para la defensa y reservar los días de la defensa. Este bloque coincide con la última entrega de la PEC4 de la memoria y con la PEC 5 de defensa pública.



**Figura 6:** Gantt del sexto, séptimo y octavo bloque de conclusiones, líneas de trabajo futuras y defensa

### 1.4.4. Análisis de riesgo

Como todo proyecto de cierta envergadura existen algunos riesgos a tener en cuenta para intentar mitigarlos durante el proceso. A continuación, se enumeran los analizados durante la definición y planificación:

- **Base de datos:** Se ha adelantado la tarea de búsqueda de la base de datos a utilizar, ya que existen pocas abiertas para su uso. Este añade el riesgo de disponer de pocos datos para que el modelo entrene, por esa razón se ha añadido la tarea de aumentación de los datos.
- **Retrasos en la planificación:** La planificación se ha realizado priorizando la finalización del producto central: el modelo y análisis de resultados. Por esa razón, las dos tareas adicionales de ampliación del proyecto (probar otros datos y analizar la implementación en servidor) se han dejado para el final, así en caso de que las tareas principales se atrasaran tener margen para finalizar el objetivo real del trabajo.
- **Tiempos de ejecución en Google Colab:** En mi experiencia en con entregas de otras asignaturas, algunos procesos pueden tardar un tiempo considerable en las colas de Google Colab, por lo que es algo a tener en cuenta.

## 1.5. Breve sumario de productos obtenidos

El producto final del trabajo será un cuaderno Jupyter en el que se encuentra la implementación de las funcionalidades objetivo desglosado en las diferentes fases. Además, un PDF con la memoria del proceso y análisis de los resultados obtenidos, y una presentación, tanto en PDF como en video explicativo para la defensa.

## 1.6. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

El resto de los capítulos de la memoria corresponden, entre otros, a los objetivos principales del trabajo:

- **Capítulo 2 Estado del arte:** Aquí se explican conceptos sobre cómo se usan las huellas en criminología, su extracción y herramientas existentes. Además, se explica las bases de datos encontradas para poder utilizarlas en el trabajo.
- **Capítulo 3 Preprocesamiento:** Determinar el mejor método para extraer características, aumentación y división del conjunto de datos en entrenamiento, test y validación.
- **Capítulo 4 Modelos secuenciales:** Experimentar con diferentes parámetros, mostrando resultados y especificar el modelo seleccionado.
- **Capítulo 5 Uso de modelos preentrenados:** Utilizar modelos preentrenados, por ejemplo, Detectron, y ver si mejora el resultado.
- **Capítulo 6 Comparativa de resultados.**
- **Capítulo 7 Conclusiones.**
- **Capítulo 8 Líneas de trabajo futuras.**

## 2. Estado del arte

Este apartado se destina a explicar conceptos sobre las bases de datos encontradas sobre huellas plantares, como se realizan las muestras en las investigaciones de criminología y esas herramientas existentes para el problema planteado.

### 2.1. Huellas

Empecemos con la definición de huella y su importancia en las investigaciones forenses.

Según la RAE [3], huella se define como la señal que deja el pie del hombre o del animal en la tierra por donde pasa, y rastro, seña, vestigio que deja alguien o algo.

En las escenas de crímenes éstas son muy importantes ya que pueden ayudar a identificar a las personas implicadas.

Las huellas más conocidas por el público general son las **huellas dactilares** o dactiloscopia, y forma parte de la biometría, una ciencia basada en el reconocimiento de una característica física o biológica para identificar a una persona. No existen dos personas con la misma huella dactilar, por lo que es muy utilizada en criminología para identificar sospechosos o víctimas de catástrofes. Por ejemplo, la *Interpol* dispone del *Sistema Automático de Identificación Dactilar (SAID)* con más de 200.000 huellas almacenadas y en 2019 se realizaron más de 1600 identificaciones gracias a estos datos [4].



Figura 7: Foto de Immo Wegmann en [Unsplash](#) de una huella dactilar

Pero existen otros tipos de huellas que pueden ayudar a resolver un crimen. Según el Blog de CFEC [5], existen diferentes tipos de huellas, como las huellas latentes, que son aquellas que son invisibles, pero se revelan con sustancias

químicas, las de arrastre, producidas por el movimiento o traslado de una persona o cosa, o las de frenado, producidas por los neumáticos al frenar.

Por último, otro tipo de huella importante para la resolución de algunos crímenes, y en las que se centra el trabajo, son las huellas de calzado, según Michael Nirenberg [6], existen 3 factores que ayudan a resolver algunas investigaciones: huellas plantares, calzado y el análisis de la marcha.

## 2.2. Realización de muestras

Como el proyecto se centra en las huellas de calzado sobre la superficie, me he documentado en cómo se deben realizar las fotografías de muestra de este tipo de evidencia, para ello he hecho uso del manual facilitado por el Departamento de seguridad pública de Minnesota [6] donde, entre las instrucciones para la extracción de muestras toxicológicas o biológicas, también facilita un manual para realizar la fotografía de marcas de calzado y ruedas.

### 2. Take the photograph directly over the impression.



**Figure 1:** A photograph taken from this position will be distorted.



**Figure 2:** This is the position a photograph should be taken at. Using a tripod is best because it reduces shake and ensures you are directly over the impression. You can check the position of the camera from the side or using a level.

**Figura 8:** Extracto del manual de toma de fotografías de huellas.

En resumen, los **pasos** a seguir son:

- Realizar la fotografía directamente por encima de la huella.
- A ser posible, utilizar una regla plana en forma de "L" para tomar las dimensiones de la huella.
- Capturar la totalidad de la huella con dicha regla.
- Utilizar iluminación desde diferentes ángulos.
- Realizar varias fotografías.

De manera que, a excepción de la disposición de esa regla en forma de “L”, los pasos sugeridos son bastante asequibles para cualquier persona. Se puede encontrar un extracto de las instrucciones para las huellas de zapatos en el Anexo 4.2. Extracto del document: Shoeprint and tire track collection guide.

Existen otras maneras más sofisticadas de extraer muestras de huellas de calzado, como por ejemplo el **levantamiento de huella con yeso**, documentado en un video [7] por el Instituto Universitario La Puebla, en el que básicamente se aplica el yeso encima de la huella en el terreno, que una vez seco ofrece el negativo de la huella.



**Figura 9:** Ejemplo levantamiento de huella con yeso del tweet [8] de @srtaperito.

Otra metodología es el uso de un **escáner 3d** de mano ligeros para capturar digitalmente la topografía completa de huellas específicas, estos datos se exportan a un programa para poder ser visualizadas.



**Figura 10:** Ejemplo de escáner 3D de la marca artec3d [9].

### 2.3. Inteligencia artificial y redes neuronales

La inteligencia artificial (IA) es una disciplina académica relacionada con la teoría de la computación cuyo objetivo es emular algunas de las facultades intelectuales humanas [11]. En resumen, lo que pretende es aprender de los datos disponibles para, posteriormente, predecir un resultado o clasificación.

A grandes rasgos, los modelos de IA se pueden dividir en dos grandes grupos: agrupamiento y clasificación. El primero, crea agrupaciones dependiendo de las características de los datos (sin definir previamente esos grupos), y el segundo, clasifica según lo aprendido de unos datos etiquetados.

Por último, el Deep Learning trata de simular el funcionamiento de las neuronas del cerebro, tomando así su nombre para crear una red neuronal en la que cada capa realiza una transformación para llegar a una solución. La peculiaridad de las redes neuronales, es que durante la fase de entrenamiento, aprende de forma automática para seleccionar los valores de variables y constantes que después se utilizaran para la clasificación de nuevas instancias de datos.

### 2.4. Herramientas existentes

Actualmente existen diversas herramientas en el mercado que disponen de una amplia base de datos de huellas de zapatos y pueden ayudar a la policía a obtener más información sobre una huella encontrada.

La más conocida es **SICAR 6**<sup>1</sup> de Foster & Freeman, que hace uso de la base de datos SoleMate, una de las más completas con más de 42.000 muestras.

Además, existen otras herramientas **DigTrace**<sup>2</sup> es una solución de software integrada para la captura y análisis de datos 3D ya sea en un contexto forense (calzado) o huellas de vertebrados. Otra herramienta similar es **PRIDE**<sup>3</sup>, de Hobbit Imaging Solutions de Holanda, que es un comparador automático de huellas de zapatos.

### 2.5. Bases de datos

Para el trabajo se necesita de una base de datos con imágenes de huellas ya clasificadas. Existen pocas opciones disponibles para su uso, ya que parece que algunas de las herramientas nombradas anteriormente tienen la totalidad del mercado.

Finamente, leyendo artículos de trabajos en la misma línea, se ha encontrado una base de datos de Soyoung Park\* and Alicia Carriquiry [10]<sup>4</sup> para usos de investigación con 150 muestras de calzado de personas con los datos de género, marca y modelo.

---

<sup>1</sup> <https://www.bcluae.com/solemate-footwear-identification>

<sup>2</sup> <https://www.digtrace.co.uk/manuals>

<sup>3</sup> <https://hobbit-is.nl/forensic-intelligence/pride/?lang=en>

<sup>4</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340920304029?via%3Dihub>

De todos modos, se ha entablado contacto con las siguientes empresas para solicitar una muestra de su base de datos para poder realizar más pruebas:

- UK goverment [10]: disponen de un formulario para pedir acceso a su base de datos de huellas, pero me encuentro a la espera de respuesta.
- CTA.ai: Disponen de una base de datos de todas las vistas de zapatos comerciales en kaggle [11], pero la competición no es accesible, de manera que he contactado con ellos por si pudiera acceder a las imágenes de las suelas.
- Hobbit-it.nl: Preguntando si disponen de alguna muestra para investigaciones.
- Foster & Freeman: Empresa propietaria de SoleMate, contestaron que ya no continúan con proyecto.

### 3. Bibliografía

- [1] F. & Foreman, «bcluae,» [En línea]. Available: <https://www.bcluae.com/solemate-footwear-identification>.
- [2] H. is, «Hobbit PRIDE,» [En línea]. Available: <https://hobbit-is.nl/forensic-intelligence/pride/?lang=en>.
- [3] M. H. O. R. M. S. R. & M. M. H. Md Asadujjaman, «Stature estimation from footprint measurements in Bangladeshi adults,» *Forensic Sciences Research* 7:2, 124-131, DOI: 10.1080/20961790.2020.1776469, 2022.
- [4] S. D. Kapil Kumar Nagwanchi, «Biometric Authentication using Human Footprint,» *International Journal of Applied Information Systems (IJAIS)* – ISSN : 2249-0868, vol. 3, nº 7, pp. DOI: 10.5120/ijais12-450568, 2012.
- [5] U. O. d. Catalunya, «Asignatura TFM IA en el campus,» [En línea]. Available: [campus.uoc.edu](http://campus.uoc.edu). [Último acceso: 09 12 2022].
- [6] TeamGantt, «TeamGantt: Get a top-rated gantt chart for free, forever.,» [En línea]. Available: [www.teamgantt.com](http://www.teamgantt.com). [Último acceso: 09 12 2022].
- [7] R. A. Española, «RAE Definición de huella,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/huella>. [Último acceso: 2022 12 10].
- [8] Interpol, «Interpol - Huellas dactilares,» [En línea]. Available: <https://www.interpol.int/es/Como-trabajamos/Policia-cientifica/Huellas-dactilares#:~:text=Existen%20tres%20patrones%20principales%20de,denominados%20arcos%2C%20curvas%20y%20espirales..> [Último acceso: 2022 12 10].
- [9] wikicrim, «CFEC,» [En línea]. Available: <https://www.estudiocriminal.eu/blog/concepto-y-tipos-de-huella/>. [Último acceso: 2012 12 10].
- [1] M. Nirenberg, «Gait, Footprints, and Footwear: How Forensic Podiatry Can Identify Criminals,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.policechiefmagazine.org/gait-footprints-and-footwear-how-forensic-podiatry-can-identify-criminals/>.
- [1] M. D. o. P. Safety, «Evidence submission,» [En línea]. Available: <https://dps.mn.gov/divisions/bca/bca-divisions/forensic-science/Pages/evidence-submission.aspx>. [Último acceso: 2022 12 07].
- [1] I. U. L. Pueblo, «YouTube: Criminalistica de campo: Levantamiento de huella pie calzado,» 23 10 2013. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=pB7jUtKDUTw>. [Último acceso: 12 12 2022].
- [1] @srtaperito, «Twitter,» [En línea]. Available: <https://twitter.com/srtaperito/status/910522790624800768>.
- [1] Artec3D, «Artec3d,» [En línea]. Available: <https://www.artec3d.com/es/portable-3d-scanners/artec-eva>. [Último acceso: 12 12 2022].
- [1] UOC, «Introducción a la inteligencia artificial,» de *Inteligencia artificial avanzada*, PID\_00250574.

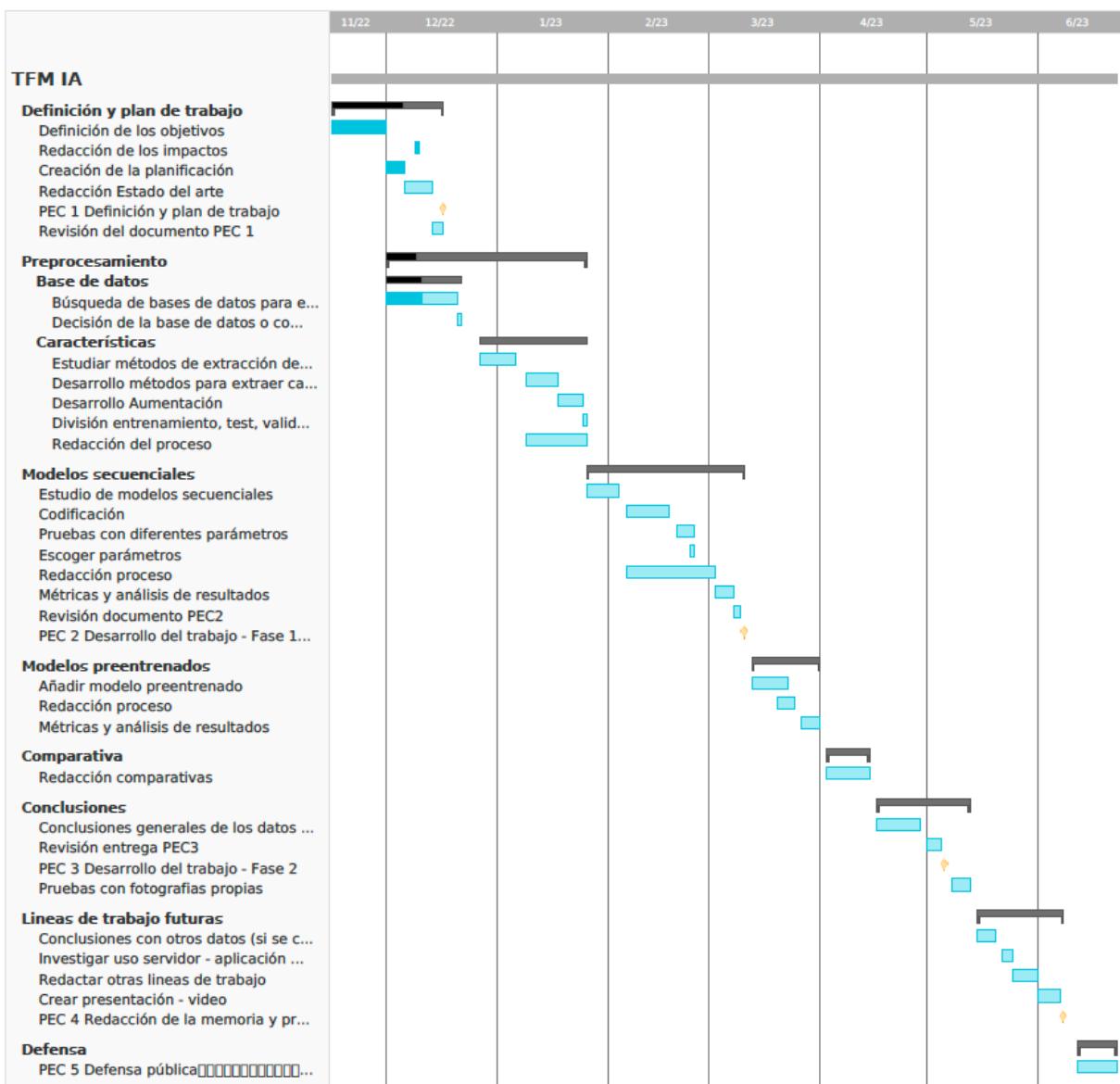
- [1] S. P. a. A. Carriquiry, «A database of two-dimensional images of footwear 6] outsole impressions,» *ELSEVIER*, nº 105508, 2020.
- [1] assets.publishing.service.gov.uk, «Forensic Information Databases Service 7] (FINDS),» [En línea]. Available:  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/955328/FINDS-S-023\\_-\\_Issue\\_2\\_-\\_Process\\_for\\_Release\\_from\\_the\\_Forensic\\_Information\\_Databases\\_for\\_Research\\_Purposes.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/955328/FINDS-S-023_-_Issue_2_-_Process_for_Release_from_the_Forensic_Information_Databases_for_Research_Purposes.pdf).
- [1] Kaggle, «Kaggle,» [En línea]. Available:  
8] <https://www.kaggle.com/competitions/gradient-shoes-photo-types>.

# 4. Anexos

## 4.1 Diagrama de Gantt completo



Created with Free Edition



## 4.2. Extracto del documento: Shoeprint and tire track collection guide

### Shoeprint and Tire Track Collection Guide

#### **Shoeprint Impression Collection**

Proper collection and photographs of footwear and tire evidence is essential to capture the detail observed in the field. Improper collection and/or photographic techniques have a direct effect on the analysis in the laboratory and can cause limitations in the forensic comparison. The laboratory suggests the following guideline for collection and photography of footwear and tire evidence:

#### **Photography**

Here are some tips to help you take the best impression photographs possible.

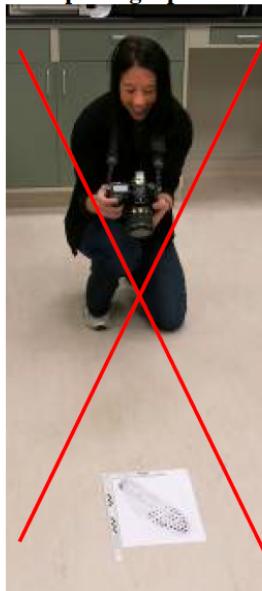
1. Take photographs carefully.
2. Take the photograph from directly over the impression using a tripod.
3. Use a flat ruler in the plane of the impression; 'L' shaped rulers are best.
4. Capture the entire impression, filling the frame.
5. Use lighting from different angles.
6. Take multiple photographs
7. Submit a CD with original images and paperwork describing the images.

Note: It may be helpful to put an item number or other designation in the photo.

#### **1. Take Photographs Carefully.**

The care that is taken in collecting a DNA swab or a latent print lift should be the same as when capturing photographs that will be used for comparison.

#### **2. Take the photograph directly over the impression.**



**Figure 1:** A photograph taken from this position will be distorted.



**Figure 2:** This is the position a photograph should be taken at. Using a tripod is best because it reduces shake and ensures you are directly over the impression. You can check the position of the camera from the side or using a level.

## Shoeprint and Tire Track Collection Guide

### 3. Use a ruler in the plane of the impression; 'L' shaped rulers are best.

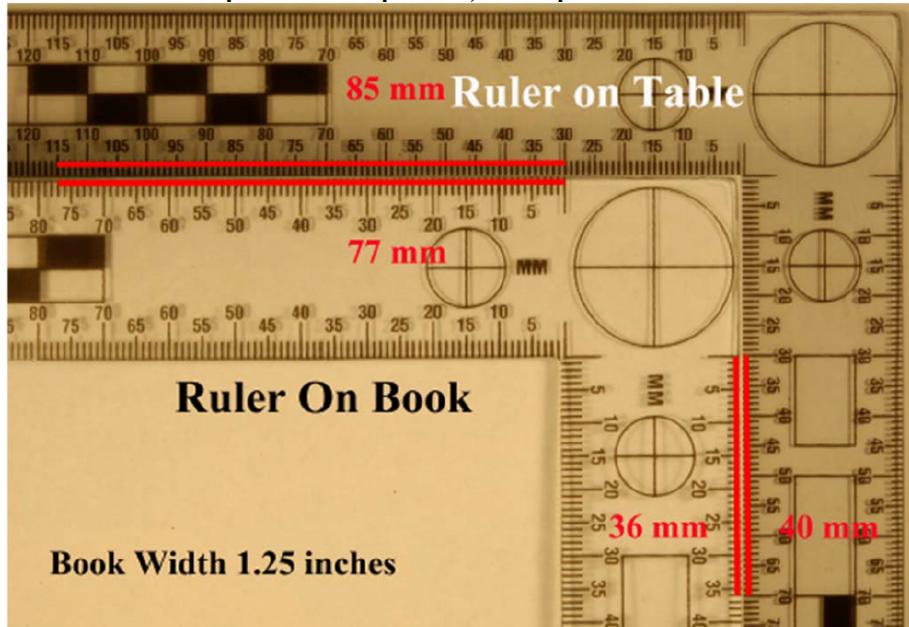


Figure 3

When photographing an impression that has depth it is important to push the scale in to the same depth as the impression. If this is not done the size of the impression will be altered in the photograph as seen in the rulers pictured in Figure 3.

### 4. Use lighting from different angles and take multiple photographs.

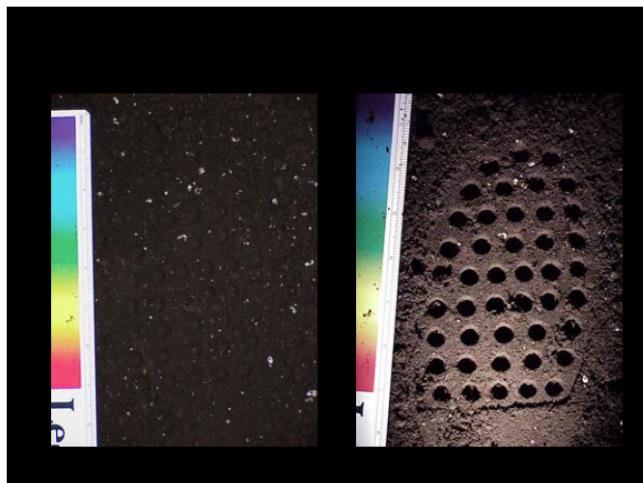


Figure 4 : The impression on the left is top lit (with an attached flash) and the impression on the right is side lit (with a flashlight or removable flash at an angle).

When photographing try different lighting techniques.

Try taking the same picture

- with a flash
- without a flash
- side lighting (flash light or detachable flash) from different angles

Lighting from different angles may help bring out details in the impression. If it is very sunny outside shielding your impression and introducing your own light may be helpful as well.