



Universidad
Rey Juan Carlos

Facultad de
Ciencias Jurídicas y Políticas

TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN CRIMINOLOGÍA Y TRABAJO SOCIAL
CURSO ACADÉMICO 2023-2024
CONVOCATORIA DE JUNIO 2024

TÍTULO

**TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE
INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE
HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID**

AUTORA: Huertas López, Alexandra

DNI: 54240440T

En Alcorcón, a 17 de junio de 2024

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA COMPRESIÓN DE HUELLAS Y ORIGEN DE LAS WAVELETS.	3
I. ¿Qué son las huellas dactilares?	3
II. Principios de la identificación criminal	4
III. Inicios de las huellas dactilares como sistema de identificación e introducción en la investigación criminal.	5
1. Primeros usos de las huellas dactilares.....	5
2. Primeros sistemas clasificatorios e investigaciones dactiloscópicas (S.XVII- XIX).....	6
3. Sistemas de clasificación dactilar modernos (S.XIX-XX).....	7
4. La llegada de la dactiloscopia a España. Federico Oloriz Aguilera (1855-1912). 8	
SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMPRESIÓN DE HUELLAS. TIPOS DE COMPRESIÓN Y CONVENIENCIA.	10
I. Definiciones básicas sobre tamaño, resolución y formato de los archivos de imágenes.	10
II. ¿En qué consiste la compresión de huellas dactilares?	11
1. Concepto de compresión.	11
1.1. Tipos de algoritmos de compresión.....	12
2. La Transformada Wavelet. Ejemplo ilustrativo de rayo de luz de Isaac Newton.	13
2.1. Funcionamiento de la Transformada Wavelet u Ondículas. Concepto de convolución.	17
2.1.1. <i>Concepto de Convolución</i>	17
III. Algoritmos de compresión WSQ y JPEG2000.	19
1. Wavelet Scalar Quantization (WSQ).....	19
2. JPEG 2000.....	20
MARCO LEGISLATIVO DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN BIOMÉTRICA DE LA INTERPOL.	21
I. Sistemas AFIS. Especial mención al SAID de Interpol.	21
II. Regulación sobre el intercambio de información biométrica de la Interpol.. 23	
III. Protección de datos sobre la información biométrica almacenada por la Interpol.	25
1. Sobre el tratamiento de los datos.....	26
2. Sobre el acceso a la información	28
3. Sobre el tiempo de permanencia de los datos.....	29

COMPRESIÓN DE UNA HUELLA DACTILAR.....	30
1. Compresión de una huella dactilar con el algoritmo WSQ.	30
2. Conclusiones de los resultados.	34
CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	37

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN
LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y
EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Imagen tomada de Theory Of Control (2021) en segundo 0,28/19:06.....	13
Imagen 2. Imagen tomada de Theory Of Control (2021) en segundo 0,45/19:06.....	14
Imagen 3. Imagen tomada de Theory Of Control (2021) en segundo 1:04/19:06.....	14
Imagen 4. Imagen tomada de Theory Of Control (2021) en segundo 1:30/19:06.....	15
Imagen 5. Familias Wavelet (Kumar Samal y Ray, 2024).....	16
Imagen 6. Primeras ocho Wavlets de la familia "Mexican Hat".....	16
Imagen 7. Primeras ocho Wavelets de la familia "Morlet".....	16
Imagen 8. Desplazamiento de una wavelet a lo largo de una señal (Miner, 1998)	18
Imagen 9. Proceso de codificación de la WSQ (Criminal Justice Information Services, 2010).....	19
Imagen 10. Proceso de codificación del JPEG2000 (Alguacil, s.f.).....	20
Imagen 11. Regla métrica mostrada en la fotografía. Obtenida de Interpol (2012)	25

INTRODUCCIÓN.

La herramienta de mayor valor para un criminólogo es la información. Su objetivo es investigar y recabar información certera sobre un delito en concreto, tratando de desvelar quién es el autor y cómo sucedieron los hechos. Las huellas dactilares recabadas en una escena del delito son información relevante para poder realizar esta labor, gracias a su singularidad y capacidad de permanecer presentes durante toda la vida de un individuo, por ello, es importante que se conozca cómo manejar la información biométrica y a qué bases de datos podremos acceder para cotejar la información de la que disponemos. Estos serán nuestros objetivos principales en este proyecto, poner en conocimiento de la comunidad el funcionamiento y modalidad de acceso a los Sistemas Automatizados de Identificación de Huellas Dactilares (AFIS) y exponer cómo se maneja la información para su búsqueda, cotejo y transferencia con otros sistemas o bases de datos.

Hay que tener en cuenta que, como consecuencia de un aumento en la criminalidad, se hizo evidente la necesidad de automatizar estas tareas y así es como surgieron los sistemas AFIS. Ahora bien, se tuvieron que investigar nuevas formas de almacenaje y, también, de intercambio de información. Se busca que estos sistemas sean rápidos y eficaces a la hora de buscar aquello que se desea, por ende, a nivel informático, interesa que los archivos cumplan con un formato estándar; para que todos los sistemas operativos lo puedan leer e interpretar; y con un peso o tamaño lo más pequeño posible; para que a la hora de transferirlo, buscarlo o cotejarlo en bases de datos, el proceso sea lo más rápido posible. Si bien es cierto que, esto último es relevante, es necesario no sacrificar la calidad de la imagen por el tamaño. Se debe tener en cuenta que, para identificar a una persona, las imágenes de huellas dactilares deben de ser lo más claras posibles para poder hallar aquellas minucias que la caracterizan. Si se pretende cotejar una imagen pixelada en bases de datos, la búsqueda no será precisa, pues el sistema no logrará identificar las minucias de la huella dactilar y dará una información errónea. Esto es importante puesto que, para imputar a una persona de un determinado delito, debemos conocer con precisión la información de la que disponemos para poder atribuirle el hecho.

Por lo tanto, para conseguir este equilibrio entre calidad y tamaño, se utilizarán los métodos de compresión óptimos para ello. Actualmente, la comunidad policial utiliza la compresión WSQ y JPEG 2000, elaborados matemáticamente a través de Transformadas *Wavelet*. Esta materia se aleja un poco de la disciplina criminológica, pues está relacionada con conceptos matemáticos e informáticos de gran complejidad, sin embargo, es oportuno conocer las herramientas que se manejan a la hora de investigar aquellos hechos que competan. Por ello, se realizará una línea de investigación que explique de forma sencilla el funcionamiento de la Transformada *Wavelet* y su implicación en los algoritmos de compresión.

Por último, es necesario conocer sobre qué marco legislativo tenemos que basar la investigación, es decir, cuando hablamos de huellas dactilares, nos referimos a

información biométrica de carácter personal, por lo tanto, se debe saber en qué condiciones se puede operar y manejar este tipo de información, haciéndose valer las leyes de protección de datos y la Declaración Universal de los Derechos Humanos.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA COMPRESIÓN DE HUELLAS Y ORIGEN DE LAS WAVELETS.

Este capítulo está elaborado principalmente en base a la información encontrada en Barnes (2002), Hutchins L.A. (2017), Bernabéu (2018) y Mata (2010), donde se han podido extraer datos relevantes sobre la historia de la identificación, las huellas dactilares y la evolución de la ciencia que las estudia.

I. ¿Qué son las huellas dactilares?

En la piel de las palmas de las manos y de las plantas de los pies se forman un conjunto de patrones y características muy singulares. Cuando las yemas de los dedos entran en contacto con la superficie de algún objeto, se dejará una impresión sobre el mismo a la que se conoce como **huella dactilar**. Según González de León (2004), estas están formadas por bifurcaciones (crestas) y depresiones (surcos o valles) en la piel, habiéndose generado como resultado de una interacción compleja entre factores genéticos y ambientales durante el desarrollo fetal, como la posición del feto y la composición del líquido amniótico. Esta misma autora asegura que las huellas poseen tres atributos esenciales:

- **Variación.** No hay dos huellas dactilares idénticas, lo que la convierte en una marca distintiva única en cada individuo.
- **Perennidad.** Los patrones que se forman durante el desarrollo fetal permanecen igual hasta el comienzo de la putrefacción cadavérica, a no ser, que, esta se vea interrumpida como consecuencia de la corificación¹ natural del cuerpo, manteniéndose su forma incluso después de la muerte.
- **Inmutabilidad.** Son inalterables, lo que significa que permanecen constantes a lo largo de nuestra vida, a menos que la capa más profunda se altere o se destruya.

Debido a su singularidad, las huellas dactilares se han convertido en el método más eficaz y ampliamente utilizado por la identificación biométrica, con una tasa de aceptación del 99%, y, además, es el más económico de todas las opciones biométricas disponibles, lo que lo hace muy reconocido en el mercado actual (Portilla y Suárez Rueda, 2018).

Como consecuencia de ello, las huellas dactilares tienen variedad de funciones y aplicaciones. Principalmente se utilizan como método de identificación de un individuo, lo que ha llevado a la implementación de sistemas de reconocimiento biométrico en muchas compañías, como la incorporación de dispositivos de lectura de huellas en los

¹ **Corificación f.** Proceso natural de conservación de los cadáveres que se da en los que son introducidos en ataúdes de cinc o plomo cerrados herméticamente por soldadura. La putrefacción se detiene por carencia de oxígeno. Se caracteriza porque la piel del cadáver, de color grisáceo, adquiere la consistencia del cuero recién curtido. (Diccionario médico de la Clínica Universidad de Navarra, s.f.)

ordenadores, portátiles y móviles, mejorando la seguridad de acceso a estos; como herramienta de acceso a determinadas aplicaciones; o, incluso, como método de entrada a la propia compañía para el reconocimiento de un empleado. Por otro lado, en la medicina clínica, se utilizan para diagnosticar trastornos genéticos o enfermedades neurológicas y cardíacas con bases genéticas (Guízar Sahagún, Grijalva Otero, y Madrazo Navarro, 2021). Para este proyecto, las huellas dactilares nos interesan como método de identificación policial, es decir, como indicio en la identificación del autor de un delito, logrando su recogida, traslado y cotejo con las bases de datos disponibles. Para este fin, se emplea una disciplina especializada conocida como dactiloscopia. Esta ciencia, que forma parte de la biometría, se basa, según Pilar Pardo Mata (2010), en *“el estudio científico de las huellas dactilares; y, su aplicación, a la criminalística”*. La dactiloscopia es la ciencia biométrica que analizará y estudiará todo lo relacionado con la composición y formación de las huellas dactilares, además de descubrir cómo emplearlas en la investigación criminal para identificar víctimas y autores de delitos.

II. Principios de la identificación criminal

El ser humano, a lo largo de la historia, ha intentado buscar incansablemente un sistema de identificación que permitiera diferenciar un individuo de otro. Antes del estudio científico de las huellas dactilares, existían métodos basados solo en observaciones visuales. Según Camacho (2015), existen cuatro etapas en la historia de la identificación: la primitiva o bárbara, descriptiva, científica y moderna.

Durante la primera etapa, lo más utilizado como seña de identificación eran los tatuajes o escarificaciones en la piel. En la antigua Persia, se practicaba la mutilación nasal y auricular en los criminales, mientras que en la Roma antigua se aplicaban las marcas de hierro candente sobre la piel, siendo este método ampliamente adoptado en toda Europa con el paso de los años. Francia fue el país que más empleo este método de identificación romano, marcando a los delincuentes con la Flor de Lis, y, posteriormente, esta fue reemplazada por diversos símbolos que correspondían al tipo de delito cometido por el individuo: la letra “V” (de *Voleurs*) se utilizaba para identificar a los ladrones, la “W” para aquellos que habían reincidido y “GAL” para aquellos que fueron condenados a las galeras. Mientras tanto, en España, utilizaban este método para marcar el rostro de los esclavos y así poder diferenciarlos del resto de la sociedad.

Con el tiempo, durante el siglo XIX en Europa, surgió un interés por encontrar métodos más rigurosos y científicos para la identificación criminal, buscando desarrollar un sistema basado en las diferencias únicas e irrepetibles de cada individuo, lo que marcó el inicio de la etapa descriptiva en la historia de la identificación. Esta dará comienzo con la aparición de la fotografía de la mano del francés Louis Jacques Mandé Daguerre en 1839, la cual, durante la quinta década del siglo XIX, será aplicada con fines de control policial para la identificación criminal (Asencio, 2017). Para registrar a un delincuente, se le tomaban varias fotografías que luego quedarían almacenadas en una colección de imágenes fotográficas, a las que se conoce como Galerías “*Rogues*”, utilizadas como referencia para la identificación criminal por todos los departamentos de policía

(Hutchins y May, 2017). No obstante, como consecuencia de las numerosas tomas fotográficas realizadas y almacenadas, este sistema de clasificación carecía de una buena organización, lo que lo convertía en un método poco eficiente y complicado de usar.

La solución a este inconveniente se materializó con la incorporación del antropólogo francés Alphonse Bertillon a la División de Identificación en la Prefectura de París en 1897, siendo su intervención fundamental para establecer un sistema sistemático y estandarizado de archivo y clasificación de fotografías tomadas a los delincuentes. Bertillon introdujo un método de identificación más científico y eficaz, conocido como el Sistema Antropométrico o el Retrato Hablado de Bertillon, que consistía en la meticulosa medición y descripción morfológica de los individuos, incluyendo información sobre las medidas de la cabeza, las extremidades, el cuerpo, las marcas o cicatrices específicas del individuo registrado, e incluso, aspectos como el peso, la altura y el color de los ojos. A través de esta metodología, Bertillon concibió una ficha policial que recopilaba dicha información junto con fotografías de los delincuentes, tomadas desde ambas perspectivas, frontal y lateral, que hizo que la organización y categorización de la información recopilada, fuese algo posible de realizar (Asencio, 2017). Con el tiempo, se evidenció la deficiencia inherente de este sistema porque, las medidas obtenidas, eran similares entre sí, lo que dificultaba la correcta identificación criminal. Esta limitación fue la que condujo a la obsolescencia a este método con la llegada de las huellas dactilares como sistema de identificación, que ofrecía una alternativa más precisa y eficaz a los problemas que se venían dando a lo largo de la historia.

III. Inicios de las huellas dactilares como sistema de identificación e introducción en la investigación criminal.

1. Primeros usos de las huellas dactilares.

Los orígenes históricos de las huellas dactilares se remontan a la aparición de estas marcas en diferentes registros arqueológicos de todo el mundo. Desde tiempos antiguos, los seres humanos han observado los pequeños relieves y surcos de la piel, evidenciándose en pinturas rupestres en la Península Ibérica, Asia y América, las cuales se consideraban una conexión profunda y simbólica con el ser humano. Estas huellas han sido utilizadas como medio de identificación en diversas culturas hace miles de años, siendo China la primera en emplearlas con este propósito. Los chinos integraron las impresiones dactilares en sus tratos comerciales y documentos legales para verificar su autenticidad. Estos documentos se componían por hojas de bambú enrolladas y aseguradas con cuerdas fijadas por arcilla, la cual contenía la impresión de la huella dactilar del firmante. Otros pueblos, como los babilonios, también adoptaron este método para dar mayor relevancia y autenticar los edictos reales.

No obstante, no fue hasta finales del S. XVI cuando los científicos europeos iniciaron sus primeras investigaciones sobre las huellas dactilares siendo este periodo en

el que se iniciaron los primeros vestigios de la dactiloscopia como disciplina científica. En sus inicios, esta ciencia recibió el nombre de “Icnofalangométrico” por Vucetich en su obra *Sistema de filiación, provincia de Buenos Aires* de 1893, pero fue Francisco Latzina quien acuñó el término definitivo “Dactiloscopia” en su artículo *Reminiscencias platenses* de 1894, cuya palabra deriva de “*daktylos*” (dedo) y “*spokein*” (examinar) (Barberá, *Reminiscencias lofoscópicas, con especial alusión al correcto uso del lenguaje técnico*, 2017).

2. Primeros sistemas clasificatorios e investigaciones dactiloscópicas (S.XVII-XIX).

Sin embargo, ya durante los siglos XVII y XVIII, se publicaron las primeras investigaciones científicas sobre el tema, aprovechando los avances tecnológicos como la invención del microscopio en el S. XVII, que permitió una observación más detallada de las superficies de las manos. Las crestas de fricción fueron por primera vez descritas y observadas por el doctor Nehemiah Grew en 1684, quien marcó el inicio de las observaciones científicas de huellas dactilares en occidente (Ashbaugh, 1999; Lambourne, 1984). Entre 1640 y 1670, el doctor Marcello Malpighi centró sus estudios médicos en el análisis de las huellas dactilares, consolidándose como el precursor de la histología². Fue el primer científico en observar los surcos de la piel mediante el microscopio, descubriendo que estos aumentan la fricción entre las manos y los objetos, mejorando la tracción a la hora de sujetarlos (New Scotland Yard, 1990; Ashbaugh, 1999). En 1788, J.C.A. Mayer descubrió la singularidad de las huellas dactilares, estableciendo que no existen dos huellas idénticas y afirmando, de esta manera, su carácter exclusivo. Esta particularidad de las crestas de fricción las convierte en un método de identificación excepcional.

En el S. XIX comenzaron los primeros sistemas de clasificación de huellas dactilares, siendo el primero de ellos elaborado por el doctor Johannes Evangelist Purkinje en su tesis médica más famosa, *Commentatio de Examine Physiologico Visus et Systematis Cutanei* publicada en el año 1823, en la cuál describió nueve tipos de patrones diferentes de huellas dactilares. Este sistema de clasificación elaborado por el Dr. Purkinje, servirá de precedente para Henry Faulds quien, posteriormente, elaborará otro sistema de clasificación más completo (Herschel, 1916; Galton, 1892).

Por otro lado, Sir William James Herschel, fue el primer científico en estudiar la permanencia de las huellas dactilares, es decir, la inmutabilidad de estas a lo largo del tiempo. Herschel, durante su estancia en la India, utilizó esta propiedad de las crestas de fricción para certificar contratos y documentos civiles, lo que le convirtió en el primer europeo en utilizar las huellas dactilares como firma de escritos oficiales a modo de identificación. Además, Herschel fue uno de los primeros en determinar la importancia de los dibujos papilares como herramienta policial, aplicando este método de identificación en tribunales penales, centros penitenciarios o para el registro de hechos y pago de pensiones.

² **Histología.** De *histo-* y *-logía* es la parte de la anatomía que trata del estudio de los tejidos orgánicos.

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

Otro pionero en la dactiloscopia fue Henry Faulds, quién continuó con mayor ahínco la investigación de la permanencia e individualización de las huellas dactilares. Su interés surgió tras el hallazgo de un pedazo de cerámica con la impresión de una huella dactilar en el año 1878, cuando se encontraba de médico misionero en Japón. Desde entonces, Faulds comenzó la recopilación de impresiones de crestas papilares de monos y humanos para su estudio, siendo el primero en desarrollar una técnica de recolección de huellas utilizando una pizarra o un trozo de hojalata limpio y una fina capa de tinta sobre esta. Con el tiempo, conseguiría almacenar miles de impresiones dactilares, atribuyéndole, de esta manera, la creación de las conocidas fichas dactilares, utilizadas en la actualidad por todos cuerpos de policía. Además, Faulds dedicó sus esfuerzos a realizar propuestas de identificación criminal, siendo el primero en aplicar la individualización de las crestas como evidencia en un caso. Por otro lado, este autor consiguió elaborar un sistema de clasificación de huellas dactilares mucho más completo gracias a las nociones de Purkinje y su sistema clasificatorio de los nueve patrones. A este lo denominó sistema silábico (Faulds, 1912), en el cual cada mano estaba representada por cinco sílabas, una por cada dedo, elaboradas a partir de una lista formada por 21 consonantes y 6 vocales que representa las minucias de los patrones dactilares, favoreciendo la comparación entre huellas.

Otro autor que prosiguió con el estudio de las huellas dactilares fue Sir Francis Galton. Asentó las ideas de perennidad e inmutabilidad de las crestas papilares mediante la investigación científica en su libro *Huellas Dactilares* de 1892. Además, Galton fue el primero en definir las pequeñas peculiaridades de las crestas papilares, a las que acuñó como las *minutiae* (Barberá, 2011) o también como los detalles de Galton, las cuales son: la bifurcación, las crestas finales, la isla corta y el recinto. Por otro lado, Galton ideó un nuevo sistema de clasificación basado en tres grandes grupos de huellas dactilares, que se considerarán la base de los sistemas futuros, siendo estos grupos: el arco, lazo y verticilo. Este método clasificatorio se conoce como tripartita, representando el arco con la letra A, el lazo o presilla con la L y el verticilo con la W; indicando, de esta manera, el patrón de huella dactilar correspondiente a cada dedo.

3. Sistemas de clasificación dactilar modernos (S.XIX-XX).

Será a finales del siglo XIX, e inicios del XX, cuando comienzan a surgir los sistemas de clasificación dactilar modernos, encabezados por Edward Henry y Juan Vucetich. Juan Vucetich fue un autor argentino asignado como jefe de Estadística en la Policía de La Plata (Argentina) en 1891, donde introdujo las investigaciones de Galton e ideó su propio sistema de clasificación dactilar, el cual se utilizaría, principalmente, para la individualización de los reclusos, lo que marcará la historia como el primer uso de las huellas dactilares a modo de identificación por las autoridades legales (Vucetich, 1904). Posteriormente, el uso de huellas dactilares en Argentina se extendió al ámbito de resolución de crímenes, siendo el primer país en resolver un caso de homicidio mediante este método (Lambourne, 1984). El sistema clasificatorio de Vucetich se considera superior al resto de los ya existentes, gracias a su claridad y sencillez (Camacho, 2015).

Su sistema era una ampliación de los tres grandes grupos que estableció Galton, definiendo cuatro patrones: el arco, la presilla interna, externa y verticilo. Por otro lado, Edward Henry fue Inspector General de Policía de las Provincias Bajas de Bengala, en la India, donde creó e implementó su propio sistema de clasificación dactilar. Este sistema abordaba las limitaciones que presentaba el sistema de Galton, probando ser un método de clasificación eficaz que obtuvo una gran aceptación. Como resultado de su eficacia, en 1897, el gobierno de la India Británica adoptó el sistema de clasificación de Henry como el método oficial de identificación criminal. Por otro lado, Edward Henry fue Inspector General de Policía de las Provincias Bajas de Bengala, en la India, donde creó e implementó su propio sistema de clasificación dactilar. Este sistema abordaba las limitaciones que presentaba el sistema de Galton, probando ser un método de clasificación eficaz que obtuvo una gran aceptación. Como resultado de su eficacia, en 1897, el gobierno de la India Británica adoptó el sistema de clasificación de Henry como el método oficial de identificación criminal.

Ambos autores fueron los primeros en emplear las huellas dactilares dentro de departamentos policiales, Vucetich en Argentina, y Henry en la India, llevándolo posteriormente a Sudáfrica y finalmente Scotland Yard. El sistema de Henry tuvo mayor circulación por países anglosajones, el norte de Europa, Canadá y algunos estados de USA, mientras que, el sistema de Vucetich se extendió más por los países de Latinoamérica y España.

Por último, en el siglo XX, las huellas dactilares comienzan a obtener una mayor relevancia en el ámbito penal. Se le atribuye a Alphonse Bertillon, en 1902, la resolución de un caso de homicidio en Europa mediante el uso de huellas dactilares, marcando así el primer uso de estas como evidencia en un juicio, posteriormente, en 1905, se resuelve en Inglaterra el primer caso de asesinato utilizando las crestas papilares como evidencia aclaratoria, seguido de Estados Unidos en el año 1911. Finalmente, estas también comenzaron a utilizarse para identificar víctimas en desastres naturales u accidentes, siendo la primera vez en 1939 tras el hundimiento del USS Squalus y, más tarde, en 1940, cuando el FBI participa en una investigación de identificación de desastres tras estrellarse el avión de Pan Am Central en Lovettsville.

4. La llegada de la dactiloscopia a España. Federico Oloriz Aguilera (1855-1912).

En cuanto a España se refiere, la introducción de la dactiloscopia no llega hasta el año 1911, de la mano del Doctor Federico Oloriz Aguilera. Según Sánchez (2018), Olóriz previamente a sus investigaciones dactiloscópicas, estudiaba la antropometría como método de identificación, expresando sus dudas sobre el sistema dactiloscópico y su capacidad de sustituir al antropométrico, tanto es así, que dudaba hasta de la unicidad de las huellas dactilares, creyendo que estas sólo debían ser complementarias a las técnicas antropométricas para llegar a una identificación plena. Este mismo autor afirma que, a partir del año 1903, cuando Oloriz abandona sus ideas antropométricas para interesarse en el estudio de las huellas dactilares y las investigaciones de Vucetich, terminó por idear su propio sistema dactilar, teniendo de referencia el desarrollado por Juan Vucetich. En

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

su sistema, Oloriz cambió la terminología de los cuatro patrones que describió Vucetich por: adelto (arco), dextrodelto (presilla interna), sinistrodelto (presilla externa) y bidelto (verticilo), además, fue el creador de la ficha oficial dactiloscópica, en la cual vendría toda la información de la persona registrada, desde huellas dactilares, mediciones antropométricas y rasgos característicos.

Tras la muerte de Oloriz se dejaron en suspenso las investigaciones sobre huellas dactilares, sin llegar a discutirse el rigor de estas, sin embargo, Lecha-marzo, colaborador de Olóriz, fue quien defendió la dactiloscopia española o de Olóriz como un indicio más de la capacidad de la ciencia para la renovación de la sociedad española, dando poco tiempo de debate sobre los márgenes de error que pueda tener este método de identificación, (Sánchez, 2018). En 1914, los estudios dactiloscópicos realizados se extendieron rápidamente por toda España, siendo implementados por el General Agustín Luque y Coca, en todos aquellos cuerpos encargados de la investigación de delitos y persecución de delincuentes. Fue así como dio comienzo el uso de este revolucionario método de identificación en España.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMPRESIÓN DE HUELLAS. TIPOS DE COMPRESIÓN Y CONVENIENCIA.

I. Definiciones básicas sobre tamaño, resolución y formato de los archivos de imágenes.

Con el objetivo de ahondar en materia de compresión de huellas dactilares, es conveniente que conozcamos algunas nociones básicas informáticas sobre los archivos de computadora donde se almacena la información, para así comprender todo lo que se ira contando en secciones posteriores de este capítulo. La información obtenida para escribir esta sección se ha obtenido de Lenovo (2024), Adobe (2022) e Ionos (2020), siendo todas ellas empresas del sector tecnológico. A continuación, se explicarán los conceptos de resolución, formato y tamaño de un archivo:

El tamaño o peso de un archivo es la cantidad de espacio de almacenamiento que ocupa en la memoria de un dispositivo tecnológico, viéndose determinado por el volumen de datos que lo componen. La unidad básica de almacenamiento para los archivos digitales es el byte y, a partir de este, se derivan unidades con mayor tamaño como el kilobyte (KB), megabyte (MB), gigabyte (GB) y el terabyte (TB); y unidades de menor tamaño como el bit, equivaliendo 8 bits a 1 byte. El tamaño o peso de un archivo afecta al almacenamiento de un dispositivo y a la capacidad de ser transferido, es decir, cuanto mayor sea el tamaño, más tiempo requerirá el traslado de sus datos y mayor espacio ocupará en la memoria, lo que perjudicará el rendimiento del dispositivo en cuestión.

La resolución hace referencia al nivel de detalle que contiene una imagen, determinando así su calidad. Su unidad de medida son los píxeles por pulgada (PPP), traducido al inglés *pixels per inch* (PPI). Haciendo referencia al número de píxeles que hay asignados a una pulgada. Cuanto mayor sea el número de píxeles en una pulgada, más nivel de detalle tendrá y, por lo tanto, mayor será su calidad y resolución. Sin embargo, esto afectará a la velocidad de su transmisión y al almacenamiento de los dispositivos, ya que se trata de un fichero mucho más pesado.

El formato de un archivo determina cómo se almacena y ordena la información para su posterior consulta en una aplicación específica, es decir, no todas las aplicaciones son compatibles con ciertos formatos, por ejemplo, los ficheros .docx, sólo pueden visualizarse en aquellas aplicaciones que sean compatibles con Open XML (Microsoft, 2024). Para las imágenes existen múltiples formatos, siendo los más conocidos; .jpg, .png, .svg, .gif, .tiff y .webp.

Por lo tanto, se comprende que las imágenes de huellas dactilares almacenadas en las bases de datos deben ser de un tamaño menor para facilitar su búsqueda, comparación y transferencia con otros sistemas. Además, la resolución de dichas imágenes debe ser de la máxima calidad posible para poder divisar las minucias de cada huella y, finalmente, su formato debe ajustarse a unos estándares establecidos para asegurar que la información pueda visualizarse e interpretarse adecuadamente. Para cumplir con estas

condiciones, se hace uso de la compresión de archivos, asunto que explicaremos en la sección posterior.

II. ¿En qué consiste la compresión de huellas dactilares?

1. Concepto de compresión.

En el artículo escrito por Fernández (2023), se hace una breve descripción de en qué consiste la compresión de archivos. Comprimir un fichero implica reducir su tamaño, mediante algoritmos matemáticos, sin comprometer la calidad de sus datos. De esta manera, conseguiremos que ocupe menos espacio en el almacenamiento de un dispositivo y facilitaremos su transferencia entre diferentes sistemas, consiguiendo que sea un proceso más rápido y eficaz.

Para medir lo grande o pequeña que es una compresión, debemos de conocer el concepto de relación de compresión (RC). Esta relación se calcula con la siguiente fórmula:

$$RC = \frac{\textit{imagen original}}{\textit{imagen comprimida}}$$

Al dividir el tamaño en bytes de la imagen original con el tamaño en bytes de la imagen comprimida, nos da como resultado el número de veces que ha sido comprimida la imagen en comparación con la original, definiendo así la relación de compresión (Rojas y Stefanelli, 2008).

Cuando se crean cierto tipo de elementos, estos pueden poseer algoritmos de compresión propios o externos. Microsoft (2023) explica que sus archivos NTFS necesitan un método de compresión externo que es Lempel-Ziv, un algoritmo de compresión sin pérdida; y Adobe (2023), menciona que los formatos JPEG poseen compresión automática, es decir, al crearse y abrirse el fichero, se comprime y descomprime instantáneamente.

Para mostrar de forma sencilla cómo funciona una compresión y qué es lo que se pretende a la hora de realizarla, exponemos el siguiente ejemplo: imaginemos que tenemos que almacenar la siguiente cadena de texto en la memoria de una computadora:

AAAAAAAAAAAAABBBBBBBBCCCCCCCCDDDDDDDDDDDDDDDD

Empleando, por ejemplo, el sistema de representación ISO/IEC 8859-1³ (También conocido como Latin1) que es uno de los más habituales empleados en computadoras que emplean el idioma español, y que utiliza 8 bits por carácter (es decir, 1 byte por carácter) para almacenar información de un cierto texto, la anterior cadena de caracteres necesitaría 41 bytes para almacenarse en la memoria de una computadora, dado que la longitud completa de la misma es precisamente 41 caracteres. Sin embargo, una técnica

³ La Organización Internacional de Normalización (ISO) define ISO/IEC 8859-1 como un estándar de codificación para el alfabeto latino, con el fin de usarse para procesar datos e intercambiar información.

matemática trivial nos lleva a darnos cuenta qué, la misma cadena de caracteres puede almacenarse sin perder información, de la siguiente forma:

12A7B8C14D

que ocupa en memoria tan solo 10 bytes, es decir, menos de 4 veces lo que ocupaba realmente la cadena de texto original, por lo que podemos decir que la segunda forma de almacenamiento comprime la información original en una ratio (o en una razón) de 4:1 (comprime la información unas 4 veces). Resulta obvio que la segunda forma lo único que hace es indicar, delante de cada carácter de la cadena, el número de veces que aparece dicho carácter en la misma.

1.1. Tipos de algoritmos de compresión.

Rojatkar, Borkar, Naik y Peddiwar (2015), definen brevemente los dos grandes grupos en los que se clasifican los algoritmos de compresión, teniendo en cuenta la información que pierde un archivo al ser comprimido. Podemos encontrar:

- **Técnicas de compresión con pérdidas (*Lossy*).** Estas técnicas alcanzan un rango de compresión mayor en comparación con otros métodos de compresión, sin embargo, durante este proceso, el archivo perderá información y no se mantendrá en su estado original. Algunos de los algoritmos que existen, son los siguientes:
 - *Block Truncation Coding (BTC)*.
 - Vector de cuantización.
 - Compresión fractal.
 - Codificación por transformación.
 - *Sub-band coding (SBC)*.

Existen otros también mencionados por Orozco (2004):

- JPEG.
 - GIF.
 - TIFF.
- **Técnicas de compresión sin pérdidas (*Lossless*).** Estas técnicas permiten a la hora de comprimir una imagen mantener su estado original, sin perder calidad e información en el proceso de compresión. Este tipo de algoritmos usan codificación entrópica, basada en la descomposición de los datos para su análisis y, posteriormente, descartar la información duplicada. De esta manera, se eliminan las redundancias y conseguimos reducir el tamaño del archivo de imagen. Algunos de los algoritmos que existen, son los siguientes:
 - *Run-length encoding (RLE)*.
 - Codificación de Huffman.
 - *Lempel-Ziv-Welch (LZW)*.
 - Codificación Aritmética.

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

Ahora bien, tras todos estos procesos informáticos, existen técnicas matemáticas de diversa naturaleza que hacen posible la creación de algoritmos de compresión, como la Transformada de Fourier, la Transformada Discreta del Coseno (DCT) y las Transformada Wavelets u ondículas. Esta última es la que más nos interesa para este proyecto, ya que es la que se ha utilizado para elaborar los algoritmos de compresión *Wavelet Scalar Quantization (WSQ)* y JPEG2000, los cuales se utilizan principalmente por los cuerpos policiales para la compresión de huellas dactilares. Para poder explicar en qué consiste la Transformada Wavelet, expondremos un ejemplo ilustrativo que ayude a comprender cómo funciona.

2. La Transformada *Wavelet*. Ejemplo ilustrativo de rayo de luz de Isaac Newton.

Para introducir el concepto de transformada matemática vamos a comenzar por un ejemplo visual y bien conocido en general: la descomposición, y posterior recuperación de un rayo de luz blanca a través de un prisma (Theory Of Control, 2021). Es bien conocido que un prisma transparente de vidrio puede usarse para descomponer un rayo de luz blanca, por ejemplo, un rayo de luz solar, en sus componentes más fundamentales:

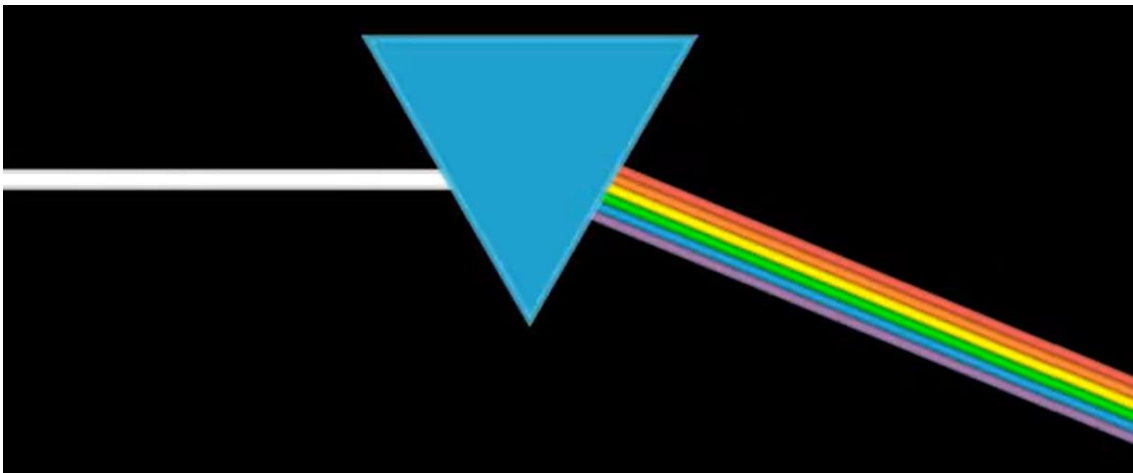


Imagen 1. Imagen tomada de *Theory Of Control* (2021) en segundo 0,28/19:06

Este efecto fue descubierto por Isaac Newton, alrededor del año 1670. Este observó el efecto de la Imagen 1, esto es, que después de atravesar el prisma, el rayo de luz resultante se dividía (o descomponía) en los siete colores distintos del arco iris. Más tarde, colocó otro prisma invertido en el trayecto del haz de 7 colores, observando cómo los siete colores se fusionaban ahora nuevamente, y la luz blanca completa se reconstruía al final del prisma invertido.



Imagen 2. Imagen tomada de *Theory Of Control* (2021) en segundo 0,45/19:06

Entonces Newton llegó a la conclusión de que el haz de luz blanca que pasaba por el primer prisma se estaba descomponiendo en sus **componentes fundamentales**, es decir, los siete colores del arco iris son la descomposición en partes del haz de luz, siendo estos los elementos principales que lo componen.

El propósito de esta sección, y de alguna forma también del presente TFG, es estudiar una analogía similar de descomposición, pero haciendo énfasis en imágenes de huellas dactilares. Así como la luz solar puede descomponerse en sus componentes fundamentales, las funciones matemáticas, imágenes planas (en 2 dimensiones, o 2D), señales (audio, luz, temperaturas, etc...) pueden también “descomponerse” en bloques de construcción primarios, considerados, en matemáticas como la base.

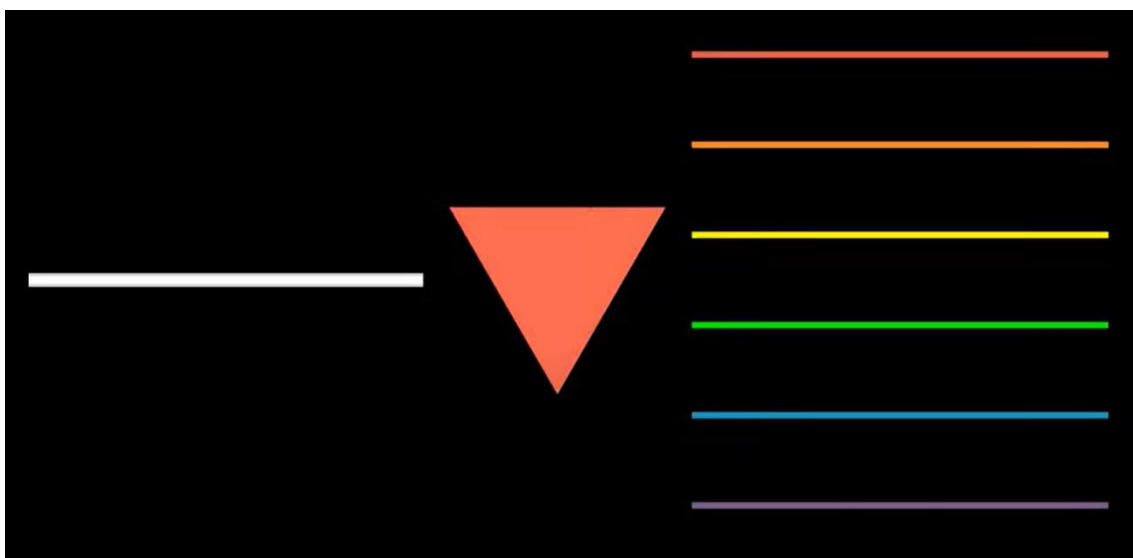


Imagen 3. Imagen tomada de *Theory Of Control* (2021) en segundo 1:04/19:06

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

Unos años después, en torno a 1800, el matemático Joseph Fourier planteó que, para toda función genérica $f(x)$ existía también un desglose o descomposición similar pero donde los bloques fundamentales son funciones de tipo “onda oscilante”, como los senos y cosenos que estudiamos en la enseñanza secundaria:

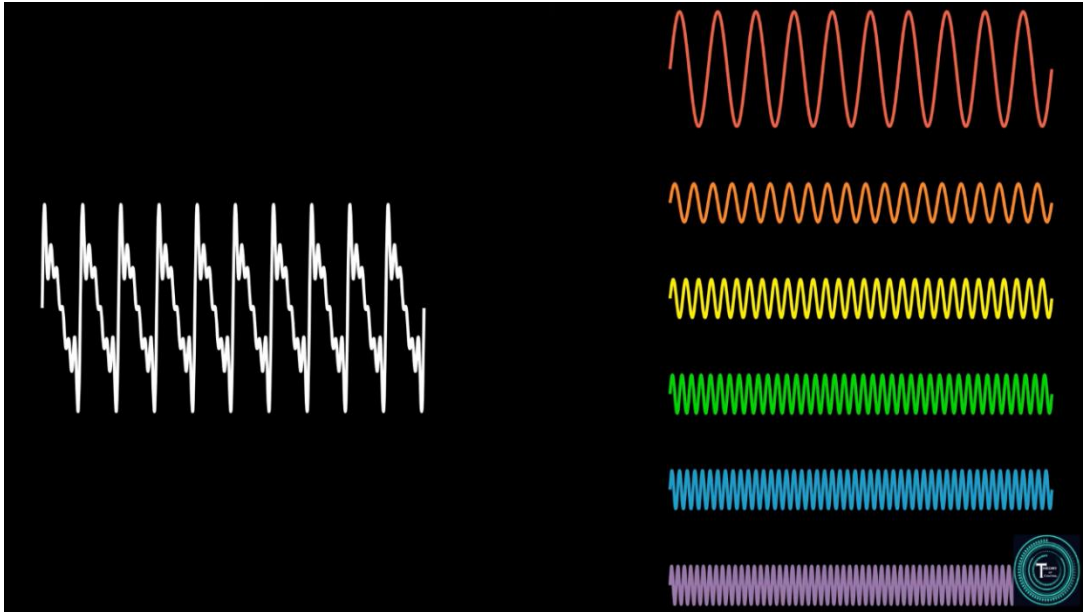


Imagen 4. Imagen tomada de Theory Of Control (2021) en segundo 1:30/19:06

En este caso, después de mucha investigación en este tema, se ha comprobado que estos bloques son realmente muy útiles en el estudio de las imágenes y señales de sonido, lo que en la moderna matemática ha dado lugar a la llamada Transformada Discreta de Fourier (DCT), que actualmente es la técnica detrás de los archivos JPEG, y que han demostrado sus buenas propiedades de compresión en el caso de imágenes genéricas.

No obstante, en el caso específico de las imágenes de huellas dactilares humanas, se ha comprobado que la DCT no termina de ser realmente efectiva a la hora de descomponer este tipo de imágenes, acudiendo a otra técnica similar, pero que presenta mejores resultados, conocida como la “Transformada *Wavelet*” (Christensen & Christensen, 2005). La idea detrás de la transformada (o “descomposición”) wavelet es parecida a todo lo anterior, pero en este caso, los “bloques de construcción” son un tipo particular de funciones llamadas wavelets, y de las que podemos encontrar varios tipos:

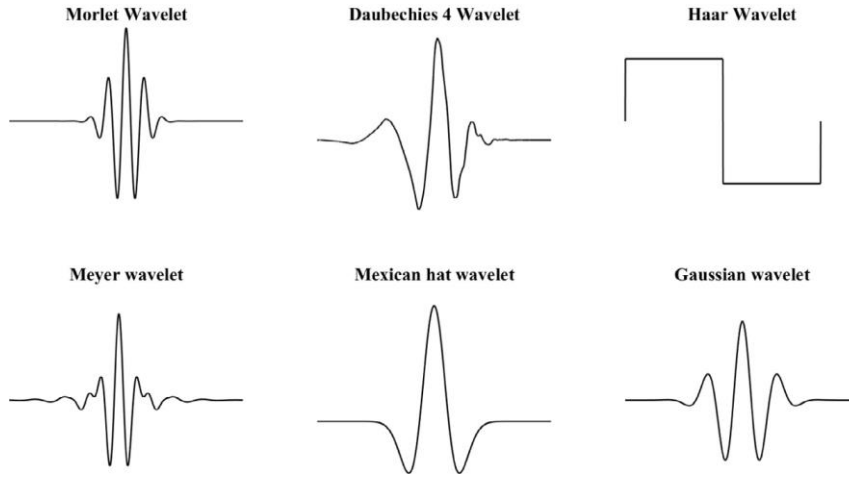


Imagen 5. Familias *Wavelet* (Kumar Samal y Ray, 2024).

Cada una de las wavelets de la Imagen 5 se denominan “*mother wavelets*”, y cada una de ellas actúa de “representante” de una familia de wavelets de diferentes parámetros, todas ellas independientes entre sí. En la siguiente figura se expondrá un par de ejemplos, elaborados con *Wolfram Mathematica*, de las primeras *wavelets* de las familias “*Mexican hat*” y “*Morlet*”, para que se vean un par de ejemplos de diferente tipo.

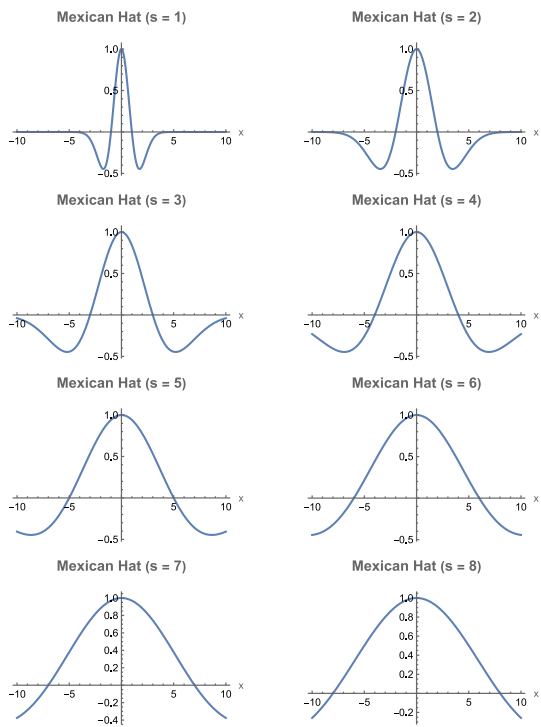


Imagen 6. Primeras ocho Wavelets de la familia “*Mexican Hat*”

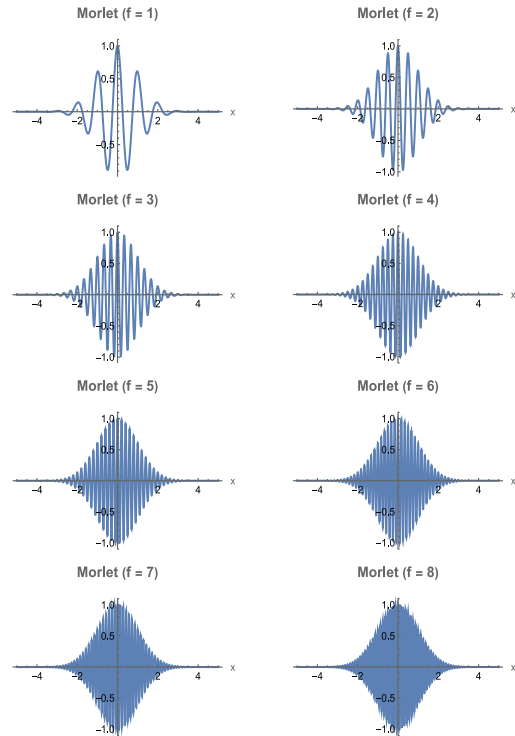


Imagen 7. Primeras ocho Wavelets de la familia “*Morlet*”

2.1. Funcionamiento de la Transformada *Wavelet* u Ondículas. Concepto de convolución.

A continuación, se presentará un esquema visual de cómo se utiliza la Transformada *Wavelet* para realizar las tareas de compresión de huellas dactilares. No emplearé para ello fórmulas matemáticas, pues creo que complicarían en exceso la idea general del procedimiento de compresión, ya que una formulación matemática precisa entra en materia de ingeniería que desconocemos. Con la explicación que sigue, espero facilitar de la utilidad práctica de las *wavelets* en la compresión de huellas dactilares.

Siguiendo con la idea genérica desarrollada más arriba de “desglose de una función en sus componentes fundamentales”, la única diferencia es que ahora, esos bloques fundamentales se buscan que sean las *wavelets* de una determinada familia, como por ejemplo las de la Imagen 6. Así, la imagen 2D de una huella dactilar quedará descompuesta en una suma “pesada” de componentes principales (que en este caso serán *wavelets*), en dos direcciones espaciales (x , e y , o ancho y alto), haciendo esto último referencia a los píxeles de una imagen.

A diferencia de otras transformadas, como la DCT o la Transformada de Fourier, la ventaja principal con respecto a otras bases de funciones matemáticas es que las *wavelets* tienen resolución espacial y en el dominio de la frecuencia. Esto hace que imágenes con esquemas o patrones muy repetitivos, como las huellas dactilares, pierdan menos resolución al realizar la transformación matemática. Esto es porque las *wavelets* se pueden estirar o comprimir, y se pueden desplazar a lo largo de la señal original para adaptarse mejor a la forma gráfica de la señal que se está estudiando (en nuestro caso, la huella dactilar). Esto proporciona una representación más localizada y precisa de la señal original en comparación con otras transformadas y descomposiciones conocidas.

2.1.1. Concepto de Convolución.

Para explicar este concepto y comprender la relación que guarda con la Transformada *Wavelet*, esta sección se basará principalmente en las obras de Newman (2022).

Matemáticamente, la convolución de dos funciones cualquiera $f(x)$ y $g(x)$ se define como:

$$(f * g)(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(x - \tau)dx$$

Si bien esta fórmula es muy complicada de entender tal cual, merece la pena explicar su funcionamiento. La idea es que el valor de $(f * g)(\tau)$ viene a “medir” el grado de coincidencia o similitud de las funciones cualquiera $f(x)$ y $g(x)$ a medida que $g(x)$ se desliza, o desplaza a lo largo de $f(x)$. En este caso, si el “parecido” de $f(x)$ con $g(x)$ es escaso o nulo en torno al punto $x = \tau$, entonces la convolución dará un valor cercano a cero. Si el “parecido” de $f(x)$ con $g(x)$ es elevado en torno al punto $x = \tau$, entonces la convolución dará un valor elevado y positivo, indicando una fuerte coincidencia en esa posición. Por último, si el “parecido” de $f(x)$ con $g(x)$ es “contrario”, o al revés, en torno al punto $x = \tau$, entonces la convolución dará un valor negativo poco cercano a cero,

indicando que el parecido es de tipo contrario, por ejemplo si en esta zona una de las funciones tiene un máximo, entonces la otra tiene un mínimo. Podríamos decir entonces que la convolución es una forma de “medir” el parecido, o una “medida de coincidencia” de dos funciones matemáticas cualesquiera.

Así, la Transformada *Wavelet* no es más que la convolución de la señal, función o imagen original, realizada con respecto a toda una familia completa de *wavelets*, y en dos orientaciones diferentes, el ancho y el alto de la imagen. Para realizar la transformada se desplaza cada una de las *wavelets* de una familia previamente escogida y se desplaza a lo largo de la señal original, calculando de este modo “cuánto” se parece la señal original a cada *wavelet* del conjunto o familia que se esté utilizando. Este procedimiento puede verse y explicarse en la Imagen 8, donde D_{ij} es el coeficiente que marca la coincidencia de una *wavelet* hija con la señal original:

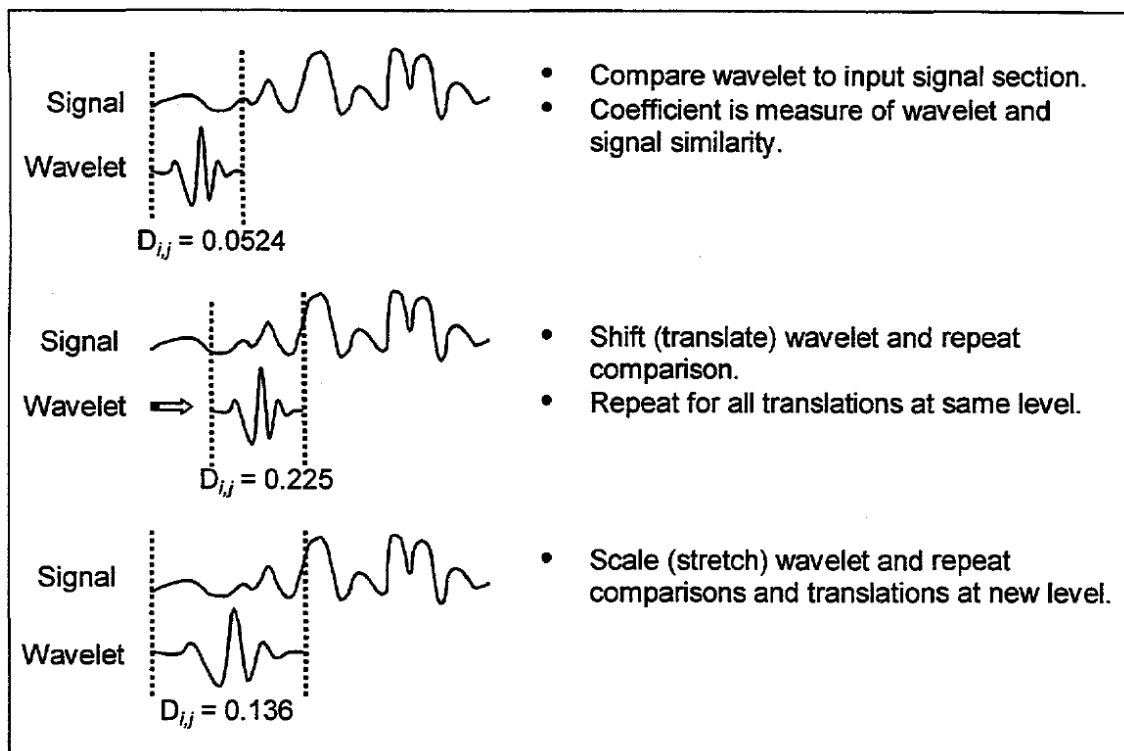


Imagen 8. Desplazamiento de una *wavelet* a lo largo de una señal (Miner, 1998)

La Transformada *Wavelet* es entonces la recogida de todos y cada uno de los valores de convolución de la señal original con cada una de las *wavelets* de la familia que se ha escogido. Estos valores se almacenan en el ordenador en una matriz, usualmente denotada por la letra *W* (Acevedo, 2009) y hasta aquí realmente no hay compresión ninguna, solo ha habido una especie de búsqueda y descomposición (o desglose) de la señal original en sus bloques primarios. Los números obtenidos que se almacenan en la matriz *W* son precisamente los **coeficientes** de las convoluciones efectuadas, y al conjunto completo de esos números es a lo que se le denomina “transformada *wavelet*” de la señal o función original. Algo parecido a lo que sucede con la descomposición en colores de un rayo de luz que comentamos antes, pero aquí además hay un número (el **coeficiente** de cada color) que nos indica si hay más “de un color” que “de otro”, por

ejemplo, más “rojo” que “azul”, etc. Si en uno de los colores hay “cero”, entonces es que ese color no contribuye al rayo de luz que se está estudiando.

III. Algoritmos de compresión WSQ y JPEG2000.

Esta sección se basará principalmente en las obras de Ramos (1997); Christensen y Christensen (2005); CJIS (2010); Allison (2015) y Lazoñ (2017). Estos autores explican la diferencia entre los dos algoritmos de compresión más comunes para imágenes de huellas dactilares: la *Wavelet Scalar Quantization (WSQ)* y el JPEG2000. Esta primera es la más utilizada para este propósito, sin embargo, el segundo, se trata de un algoritmo emergente que está tomando gran repercusión dentro de la comunidad policial, expandiéndose su uso con el tiempo. A continuación, se describirán ambos algoritmos y se discutirán sus ventajas y desventajas.

1. *Wavelet Scalar Quantization (WSQ)*.

La *Wavelet Scalar Quantization (WSQ)* o, por su traducción al español, Cuantización Escalar por *Wavelets*, es un tipo de compresión, para escalas de grises de 8 bits, elaborado por el FBI y el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) que utiliza la Transformada Ondícula de la familia Daubechies como su base matemática para la compresión de información. A día de hoy, este algoritmo de compresión es el más eficiente para comprimir imágenes de huellas dactilares, aplicándose para aquellas imágenes que tienen una resolución de 500ppp. Este método está clasificado en los algoritmos de compresión con pérdidas (*lossy*), siguiendo el siguiente proceso de codificación:

- Utilizando la Transformada Wavelet se procede a descomponer la señal de la imagen original en diferentes subseñales, siendo cada una de estas información detalla y específica de la imagen original.
- Posteriormente, se aplica la cuantización escalar a cada uno de los coeficientes obtenidos de la transformada.
- Por último, los coeficientes cuantizados serán procesados a través de la Codificación Huffman, un algoritmo de compresión sin pérdidas (*lossless*)

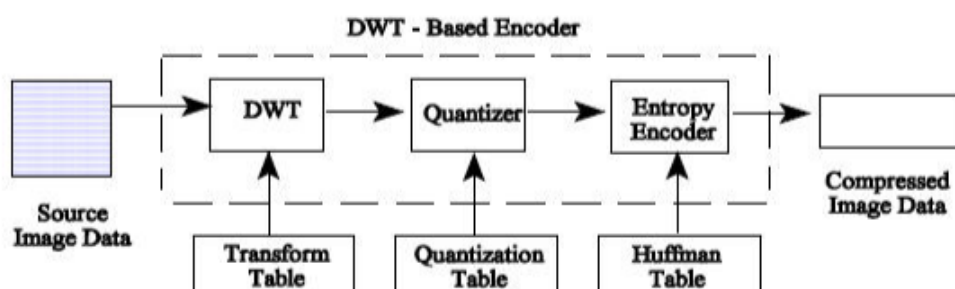


Imagen 9. Proceso de codificación de la WSQ (Criminal Justice Information Services, 2010)

2. JPEG 2000.

JPEG 2000 es una de las últimas versiones elaboradas por *Joint Photographic Experts Group* del algoritmo de compresión JPEG y utiliza un conjunto de *wavelets* biortogonales, es decir, se utilizan para la descomposición más de una familia de *waveletes*, por ello, soporta la compresión de imágenes a color. El JPEG2000 se utiliza principalmente para comprimir imágenes de 1000ppp. Está categorizado como un algoritmo de compresión con pérdidas (*lossy*) y sin pérdidas (*lossless*), basándose en el siguiente proceso de codificación:

- Se aplica un proceso de *tiling*, por el cual, la imagen se divide en varias regiones rectangulares llamadas losas. Posteriormente, serán procesadas de manera independiente.
- El procesamiento se realizará mediante transformadas de color reversible (CDF 5/3) e irreversible (CDF 9/7). La primera se utiliza para una compresión sin pérdidas y la segunda para una compresión con pérdidas.
- Posteriormente se aplicará un proceso de cuantización para aquellos componentes en los que se haya aplicado una compresión con pérdidas.
- Por último, a cada coeficiente extraído de las transformadas de cada losa, se dividirán en cloques y se aplicará una codificación aritmética.

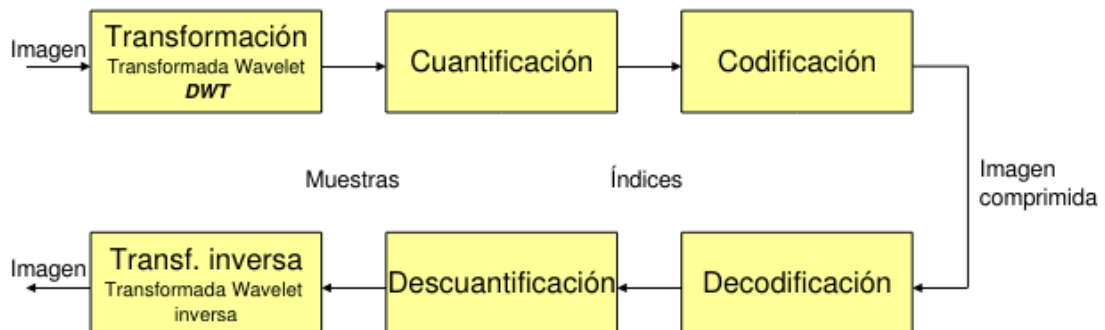


Imagen 10. Proceso de codificación del JPEG2000 (Alguacil, s.f.)

MARCO LEGISLATIVO DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN BIOMÉTRICA DE LA INTERPOL.

I. Sistemas AFIS. Especial mención al SAID de Interpol.

El surgimiento de los Sistemas Automatizados de Identificación de Huellas Dactilares (AFIS) viene de la mano de un aumento de la criminalidad entre la década de 1960 y 1970 en Estados Unidos, donde crecieron los archivos policiales a consecuencia de la cantidad de tomas lofoscópicas que se tuvieron que tomar a los detenidos. Se pasó de tener un registro de 810.188 huellas dactilares a 15 millones. Esta situación provocó que el sistema manual de almacenamiento y búsqueda de huellas dactilares fuera insostenible, por lo que, en el año 1963, el FBI comenzó sus primeras investigaciones para desarrollar un sistema automatizado que abarcara todo el volumen de trabajo de los últimos tiempos, sumándose a este objetivo Reino Unido, Francia y Japón. Finalmente, el FBI consigue desarrollar el Sistema Automatizado e Integrado de Identificación de Huella Dactilar (IAFIS), que alcanzó su pleno funcionamiento en 1999. Todo ello levantó un gran interés en los gobiernos de otros estados, quienes invirtieron en el Directorio de Usuarios AFIS de la Asociación Internacional para la Identificación (IAI), para que se crearan nuevos sistemas AFIS en otras partes del mundo, comenzando así una nueva era en la disciplina dactiloscópica (Moses, 2017 e IAI, 1999).

Ahora bien, ¿qué son los sistemas AFIS y en qué consisten? Un sistema AFIS es una base de datos automatizada que permite buscar y cotejar información precisa sobre huellas dactilares, mejorando significativamente la eficiencia de la identificación criminal. Actualmente, estos sistemas son tan avanzados que pueden escanear y mapear huellas dactilares con el mayor detalle posible, pudiendo identificar características muy específicas de una huella dactilar, a las que se conocen como minucias. Este escaneo permite crear una imagen digital que se almacenará en las bases de datos. Los sistemas AFIS pueden buscar entre miles de registros la huella que más se asemeja a la que se quiere cotejar, basándose en la localización, el ángulo y los patrones de las minucias, lo que permitirá que los operadores puedan comparar visualmente huellas dactilares desde sus ordenadores. Para intercambiar información entre diferentes AFIS, las imágenes deben almacenarse en un formato estándar creado por el Instituto Nacional de Normas y Tecnología (por sus siglas en inglés NIST). Esto permitirá que ordenadores con diferentes algoritmos de análisis y protocolos de comunicación, puedan leer e interpretar la información de los archivos correctamente (Wilson y Woodard, 1987).

En este proyecto se ha hablado mucho sobre huellas dactilares, sin embargo, otro elemento estudiado por la dactiloscopia y también muy utilizado para la identificación criminal, son las huellas palmares. La importancia de estas y su incorporación a los sistemas AFIS, se debe a que las encuestas realizadas por los cuerpos de seguridad aseguran que el 30% de las huellas latentes recabadas en las escenas de un delito son de la palma de la mano. Por ende, al igual que con el panorama de las huellas dactilares, se

hizo necesario crear una base de datos automatizada capaz de almacenar imágenes de huellas palmares con fines de investigación criminal, por ejemplo, el FBI creó el Sistema Automatizado de Identificación de Impresiones Palmares (APIS). Sin embargo, actualmente, se están implementando mejoras en los sistemas AFIS para que estos puedan albergar la capacidad de almacenar imágenes de huellas palmares recogidas en escenas de delitos. Por ejemplo, el FBI está trasladando toda la información del sistema APIS a IAFIS (Jain y Feng, 2009 y Moses, 2017).

A parte del IAFIS del FBI, existen otros muchos sistemas AFIS en el mundo. Por ejemplo, España al ser país miembro de la Unión Europea, tiene acceso a diversas bases de datos pertenecientes a la organización, como pueden ser: el Sistema de Información Schengen (SIS), Eurodac, Europol o el Sistema de Información de Visados (VIS). Por otro lado, a través de acuerdos con organizaciones internacionales, España puede enviar a sistemas AFIS como el de la Interpol, del cual hablaremos a continuación.

La Organización Internacional de la Policía Criminal (INTERPOL), es una institución conformada por 196 países que tiene como objetivo la colaboración policial en la investigación de delitos. A estos países se les brinda apoyo en: la búsqueda de prófugos, la gestión de datos policiales, investigación forense, desarrollo de capacidades y formación, centros de mando y coordinación (como la Oficina Central Nacional (OCN) en cada país miembro), innovación científica, análisis de información criminal y la persecución del terrorismo, la ciberdelincuencia, la delincuencia organizada y financiera. España pasó a ser un país miembro de la organización el 15 de junio de 1951, teniendo su OCN en Madrid. Esta será la encargada de transmitir información sobre delitos nacionales, conforme a la normativa legal del país, a las bases de datos de la Interpol y, también, se encargará de cooperar en actividades de investigación y detención de delincuentes Interpol (Organización Internacional de Policía Criminal, s.f.).

Todo tipo de información sobre huellas dactilares es almacenada en el Sistema Automático de Identificación Dactilar de la Interpol (SAID). En caso de que se haya cometido un delito con componentes internacionales, es decir, que existan pruebas o indicios que involucren una actividad o a personas de otros países, los miembros de la organización pueden cotejar sus registros nacionales de huellas dactilares, con los más de 220.000 registros en el SAID. Este proceso fomentará el intercambio de información y la calidad de las investigaciones policiales, permitiendo realizar las siguientes consultas (INTERPOL, 2020):

- Sobre personas cuyos registros no se encuentra en base de datos, realizando una búsqueda automática de unos minutos. El sistema tratará de encontrar alguna coincidencia con registros recientes.
- Sobre personas que sí se encuentran registradas en bases de datos, realizando una búsqueda semiautomática de aproximadamente una hora. Para asegurar al cien por cien la identificación, un experto deberá analizar que la huella encontrada por el sistema automáticamente, sea la correcta.
- Sobre huellas latentes que no han podido asociarse a ninguna persona realizando una búsqueda manual de una hora. Implica que un experto

estudie y analice, manualmente, las huellas latentes con las de las bases de datos y así poder asociarle a una persona identificada.

Ahora bien, esta información no puede ser manejada arbitrariamente por los países miembros. Al trabajar con datos biométricos se debe tener en cuenta la privacidad de los registrados en las bases de datos, siendo esta información especialmente personal. Por ende, se debe seguir una serie de normas con el fin de salvaguardar los derechos de las personas que se registran, estableciendo la Interpol y los países miembros sus propias regulaciones sobre el tratamiento de información biométrica y protección de datos, normativa que se expondrá en las siguientes secciones.

II. Regulación sobre el intercambio de información biométrica de la Interpol.

Como se ha mencionado en secciones anteriores, para que el intercambio de información sea posible entre diferentes AFIS, las imágenes se deben subir a base de datos en un tipo de formato estándar, es decir, un tipo de guía que establece unos elementos muy específicos que cualquier archivo de imagen debe cumplir. En este caso, la Interpol en su resolución N° AGN/66/RES/8, reconoce esta necesidad de definir un formato y unas normas de uso para el tratamiento de imágenes de huellas dactilares, con el fin de promover el intercambio de información entre entidades de los países miembro, aceptando como formato estándar en 1997 el ANSI/NIST-CSL1993. Sin embargo, este último no se utiliza tal y como el NIST lo elaboró, es decir, el Interpol AFIS Expert Group (IAEG) decidió realizarle una serie de modificaciones para adaptar e implementar los estándares del ANSI/NIST-CSL1993 a unas necesidades más específicas, lo que se conoce como el Interpol Standard for the Exchange of Fingerprint Data (INT-I) (NIST, 2021).

A lo largo de los años, este formato ha sido actualizado varias veces a la par que el NIST ha ido revisando su formato estándar. La última actualización del INT-I, está basada en la última revisión del ANSI/NIST ITL 2011: Update 2015, donde se incluye el formato XML como opción para almacenar imágenes de huellas dactilares, además de una guía sobre qué elementos debe seguir el fichero que se pretende subir y cómo convertir aquellos que ya han sido almacenados en formatos XML. El Lenguaje de Marcado Extensible (XML), es un tipo de programación que ayuda a estructurar y presentar los datos de un archivo de forma ordenada, clara y precisa, lo que facilita su procesamiento y comprensión. Por ende, se considera un formato muy adecuado para el intercambio de información entre ordenadores con operativas diferentes (IAEG, 2020 y Adobe, s.f.).

Por otro lado, la Interpol pone a disposición de todos los países miembros los documentos, elaborados por el Jefe de la Unidad de Huellas Dactilares Branchflower (2012) y la propia Interpol (2012), en el que se exponen las directrices a seguir para el intercambio de información lofoscópica:

- En cuanto al tipo de archivo que se debe seguir:

- Debe ser en formato NIST. Esto se debe a que este tipo de formato permite subir archivos más pequeños sin comprometer excesivamente su información, lo que brinda un fichero de mejor calidad. De esta manera se simplifica el intercambio de información biométrica.
- La Interpol ofrecerá un programa que permita abrir e interpretar ficheros en formato NIST.
- Las OCN de cada país miembro, deben de subir la información a las bases de datos nacionales en formato NIST para facilitar la búsqueda y cotejo entre bases de datos.
- Para evitar subir archivos en formato JPEG, se brindará a los países miembros la herramienta *Morpho Eva* para convertir esto archivos en formato NIST.
- En cuanto a qué se puede enviar:
 - Huellas dactilares de extranjeros condenados o se consideren sospechosos de algún delito. Se pueden enviar para su almacenaje o cotejo.
 - Huellas dactilares de personas que han solicitado asilo o hayan atravesado una frontera. Estas no se podrán registrar o almacenar en base de datos, servirán únicamente para realizar una búsqueda.
- En cuanto a cómo debe realizarse la transmisión de huellas dactilares desde la escena de un delito:
 - Las huellas dactilares recogidas en las escenas del delito han debido ser previamente cotejadas en las bases de datos locales, nacionales e internacionales (si tienen acuerdos), siendo posteriormente aceptadas por la Interpol si se cumple este requisito y se sospecha de una persona extranjera.
 - Las huellas dactilares que se pretendan enviar se aceptarán únicamente si se pueden llegar a distinguir seis puntos característicos de estas.
 - Las huellas pueden enviarse en formato electrónico o en papel. No se aceptan las que se envíen por fax.
 - El archivo enviado debe de ser lo más fiel posible al original y de buena calidad, sin haber sido modificado su tamaño.
- En cuanto a que elementos debe de cumplir un archivo para su cotejo y registro en el SAID:
 - Cada huella dactilar recogida en la escena de un delito debe de ser referenciada con el fin de identificarla frente a otras.
 - Las huellas dactilares deben enviarse, preferentemente, en formato NIST. Cuando no sea posible, se podrán enviar en formato JPEG, habiendo utilizado una compresión JPEG de escala de grises.
 - Las imágenes deben ser fotografiadas a escala 1:1, es decir, debe mantenerse en su tamaño original, sin haber aumentado o reducido su tamaño.

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

- Las imágenes deben de tener una resolución mínima de 500 ppp y, si fuera posible, de 1000 ppp. Es decir, deben de tener una buena resolución y que a través de una lupa estándar no se pueda apreciar los píxeles de la imagen.
- En la imagen debe de haber una regla o escala métrica al lado de la huella fotografiada.



Imagen 11. Regla métrica mostrada en la fotografía. Obtenida de Interpol (2012)

- Generalmente todas las imágenes se subirán en escala de grises a 8 bits por píxel, sin embargo, también se aceptan imágenes a color con un mínimo de 24 bits.
- No deben de corregirse los aspectos negativos de la imagen capturada, debe mantenerse en su estado original. Si, en cualquier caso, la imagen ha sido mejorada, debe de especificarse la modificación realizada.

Todas las huellas recogidas en formato NIST serán almacenadas en el SAID de la Interpol, mientras que, las recogidas en formato JPEG, no se podrán consultar a través de esta base de datos. Además, los países a la hora de enviar la información deben de señalar si se ha identificado dicha huella o si se ha resuelto el caso pendiente, enviando todo tipo de detalles sobre el caso en cuestión: dónde se ha recogido las huellas, el medio utilizado para levantarlas y el tipo de impresión realizada.

III. Protección de datos sobre la información biométrica almacenada por la Interpol.

En 1974, la Asamblea General de la Organización aprobó la resolución “Carácter confidencial de la información”, en la que se hizo evidente la importancia de la privacidad de las personas cuando se involucran en procesos de investigación. Para ello, se creó la Comisión de Control de los Ficheros de Interpol (CCF), un organismo independiente encargado de proteger los datos personales almacenados en los sistemas de la organización, mediante el seguimiento y uso del Reglamento sobre Tratamiento de Datos (RTD). Este documento se ha ido actualizando con los años, garantizando la eficacia y calidad de la cooperación policial internacional (Organización Internacional de Policía Criminal, s.f.). En esta sección analizaremos esta misma normativa y aquellos artículos de otros marcos legales que se hayan tenido en cuenta a la hora de realizar esta ley.

La Resolución AG-2011-RES-07, concebida en la 80ª reunión de la Asamblea General, consolidará la formación de este nuevo documento normativo al que se denominó Reglamento de Interpol sobre el Tratamiento de Datos (RTD). Con motivo de ello, quedaron derogados el Reglamento sobre el Tratamiento de Información para la Cooperación Policial Internacional, el Reglamento de Aplicación del Reglamento sobre el Tratamiento de Información para la Cooperación Policial Internacional y el Reglamento sobre el Acceso de las Organizaciones Intergubernamentales a la Red de Telecomunicaciones y a las Bases de Datos de Interpol; todos ellos destinados a regular y dirigir el intercambio de información entre entidades con fines de investigación y cooperación policial. Conforme al artículo 33 (3) del Reglamento Interno de la Asamblea General, la Secretaría General adaptará y corregirá el texto al español para el 14 de marzo de 2013, sin necesidad de reabrir un nuevo debate sobre el contenido de la normativa. La última revisión realizada a este texto se aprobó en la Resolución GA-2023-91RES-08 de la 91ª reunión de la Asamblea General, siendo esta última versión actualizada la que utilizaremos para la elaboración de esta sección.

A continuación, se realizará un resumen de los aspectos más importantes de este reglamento, tratando de exponer cómo se regula el acceso a los datos, quién puede acceder a ellos, cuánto tiempo se almacenan en la base de datos y qué derechos asisten a las personas registradas por la Interpol en estas.

1. Sobre el tratamiento de los datos.

El **artículo 5, apartado 2 del RTD**, informa que el trato de los datos se regula en conformidad con los artículos 2, 3, 26, 31, 32, 36 y 41 del Estatuto de la Organización. Estos artículos hacen referencia a como los datos deben de ser tratados con fines de cooperación policial entre autoridades, respetando siempre el marco legal nacional de los diferentes países miembro y la Declaración Universal de Derechos Humanos. La Interpol nunca podrá tratar estos datos para intervenir en asuntos de carácter político, militar, religioso o racial. Para mantener la cooperación entre la organización y los países miembro, la Secretaría General, encargada de la gestión de la institución, siempre mantendrá contacto con las Oficinas Centrales Nacionales, intercambiando información necesaria para cumplir con los objetivos establecidos. En todas estas operaciones, siempre intervendrá la Comisión de Control de los Ficheros de la Interpol, un órgano independiente creado con fines de asesoramiento en todas las actividades que impliquen el tratamiento de datos con carácter personal y privado.

El **artículo 5, apartado 5, 6 y 7 del RTD**, explican que:

- Los países miembros se harán enteramente responsables de los datos que traten a través de los ficheros del Interpol. Por ende, deben de hacerse cargo, de cualesquiera que sean las consecuencias negativas derivadas del uso inadecuado de los datos con carácter personal, tomando las medidas oportunas y necesarias para solucionar los problemas ocasionados.
- La Interpol se hará enteramente responsable de los datos que trate y almacene en sus ficheros. Por ende, toda consecuencia derivada del

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

erróneo almacenamiento y tratamiento de información con carácter personal será resuelto por la organización adoptando las medidas oportunas para reparar el daño ocasionado.

- De la misma forma, ambos deberán de ser enteramente responsables de las medidas adoptadas para el tratamiento de los datos, tanto los que llegan a nivel nacional e internacional.

El **artículo 7 del RTD**, explica que todas las Oficinas Centrales Nacionales tienen el control del tratamiento de sus datos, siendo libres de restringir el acceso a la utilización de los mismos con conformidad al artículo 58 del presente reglamento. Además, el Sistema de Información de Interpol, será el encargado de controlar el tratamiento de los datos aportados por las Oficinas Centrales Nacionales, entidades nacionales e internacionales y, en conformidad del artículo 28 y 24 (2) del RTD, también de los datos aportados por entidades privadas y la Secretaría general.

El capítulo II de este reglamento, rige los valores en los que se fundamenta el tratamiento de los datos dentro de la organización:

Artículo 10: finalidades de la cooperación policial. La información almacenada por la Interpol solo puede usarse para una finalidad determinada, que suelen ser: la búsqueda de personas para su detención, localización de personas u objetos de interés para la policía, el suministro u obtención de información sobre una persona detenida, el aviso de una actividad ilegal, la identificación de personas o cadáveres, el análisis de la policía científica, la organización de los controles de seguridad, las actividades de control de fronteras u otras y la determinación e identificación de tendencias y redes delictivas. La Secretaría General será la encargada de elaborar los instrumentos pertinentes para que se garantice en todo momento la finalidad de la actividad, de igual manera; las OCN y las entidades nacionales e internacionales, deben de seguir la finalidad marcada para poder tener acceso a la información otorgada por la Interpol. Aunque, más adelante, veremos cómo pueden usarse estos datos con otros fines legítimos a los que establece la organización.

Artículo 11: licitud. El tratamiento de los datos en el Sistema de Información de la Interpol debe realizarse bajo un marco legal aplicable a todas las entidades participantes. La Interpol deberá asegurarse que la información recogida e introducida en este sistema, sea completamente lícita, cumpliendo con la Declaración Universal de Derechos Humanos.

Artículo 12: calidad. Para que los datos sean de calidad, deben ser precisos y pertinentes con respecto a la finalidad que se pretende buscar. Para ello, las Oficinas Centrales Nacionales y las entidades nacionales e internacionales deberán verificar la calidad de los datos con arreglo a lo dispuesto en el artículo 63 del presente reglamento.

Artículo 13: transparencia. En toda actividad de consulta por las Oficinas Centrales Nacionales y entidades nacionales e internacionales, se debe garantizar la transparencia en el proceso de tratamiento de datos. Esto quiere decir, que, toda

información y movimiento realizado u autorizado, será puesto en conocimiento, por parte de la Secretaría General, de todas las entidades que formen parte de la organización. Además, se mantendrá una lista actualizada de todos los plazos disponibles sobre el tiempo de almacenamiento y mantenimiento de los datos registrados.

Artículo 14: confidencialidad. Los datos sólo serán accesibles para aquellas entidades habilitadas a conocer esa información. Para ello todas las entidades deben de establecer unos niveles de confidencialidad a sus respectivos datos. Además, se tomarán todas las medidas que sean necesarias para cumplir con esta condición y evitar el acceso de información a personas no autorizadas.

Artículo 15: seguridad. Los datos registrados en el Sistema de Información de Interpol deben estar protegidos contra cualquier peligro que pueda vulnerar la confidencialidad e integridad de los datos. La Secretaría General será la encargada de gestionar la seguridad de la información, que, de acuerdo con las Oficinas Centrales Nacionales y las entidades nacionales e internacionales, se elaborará una política en materia de seguridad destinada a este fin.

Artículo 16: tratamiento externo con fines policiales. Con arreglo al artículo 114 (4) y 116 del presente reglamento, los datos del Sistema de Información podrán ser utilizados fuera de dicho sistema siempre y cuando sea para fines de investigación policial. Para ello, las Oficinas Centrales Nacionales y las entidades nacionales e internacionales, deberán de tener una operativa de tratamiento de datos y unos procedimientos administrativos muy similares a los de la organización para mantener el grado de confidencialidad. Además, el nivel de seguridad adoptado por estos debe ser igual o parecido al fijado por la Secretaría General.

Artículo 17: aplicación efectiva. Durante todas las actividades de la Interpol, debe de garantizarse el cumplimiento de la normativa. Para ello, las Oficinas Centrales Nacionales y las entidades nacionales e internacionales, deberán adoptar e implementar todas las medidas pertinentes para cumplir con el reglamento establecido. Se evaluará periódicamente que el ejercicio de este reglamento se cumpla en todas las actividades realizadas por las instituciones.

Artículo 18. Derecho de acceso, rectificación y eliminación de datos. Toda persona o entidad, tiene derecho a presentar una solicitud, a la Comisión de Control, de acceso, rectificación o eliminación de cualquier dato almacenado en el Sistema de Información de la Interpol

2. Sobre el acceso a la información

En el **artículo 54** del presente reglamento, se establece que todas las bases de datos de la Interpol podrán ser consultadas **directamente** por las Oficinas Centrales Nacionales y las entidades nacionales e internacionales, siempre y cuando se respeten las restricciones y normas de confidencialidad establecidas por el marco legislativo de la Interpol. Además, en el **artículo 57**, se establece que toda aquella organización que no tenga acceso directo a las bases de datos será informada de los derechos de acceso y

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

restricciones por parte de la Secretaría General, que será quién establezca las modalidades de la consulta que se vaya a realizar y se informará a las Oficinas Centrales Nacionales de ese acceso

Por otro lado, en el **artículo 60** se regula el acceso de terceros, como pueden ser organizaciones privadas, a toda la información expuesta en las bases de datos de la Interpol. Para ello, la institución que quiera consultar la información deberá presentar una solicitud de acceso a la Secretaría General quién resolverá la petición a favor, siempre y cuando las Oficinas Centrales Nacionales, den permiso para poder consultar sus datos que fueron almacenados en el Sistema de Información de la Interpol.

3. Sobre el tiempo de permanencia de los datos.

En conforme con el artículo 13. 2 f), los datos se mantendrán en las bases de datos por un límite de tiempo. En el caso del SAID de la Interpol, se establece 5 años como norma general para aquellas personas que ya figuran en la base de datos y 15 años para; aquellos obtenidos en el lugar de los hechos, de personas que no habían sido previamente registras y de cadáveres. Sin embargo, este periodo de tiempo puede ser más corto en caso de que las leyes nacionales del país que registró los datos, así lo exijan o se haya alcanzado la finalidad por la que se introdujeron en el sistema (INTERPOL s.f.).

COMPRESIÓN DE UNA HUELLA DACTILAR.

1. Compresión de una huella dactilar con el algoritmo WSQ.

Se puede resumir que, la Transformada *Wavelet*, recoge todas las convoluciones realizadas entre la señal original y la familia de wavelets escogida para su descomposición en partes más específicas.

Como se ha mencionado previamente, estos resultados se almacenan en una matriz, ordenándose de mayor a menor valor dentro de esta. Debe observarse que, hasta aquí, realmente no se ha realizado ninguna compresión, es decir, solo se ha realizado una búsqueda y descomposición de una señal original en sus bloques primarios. Esos datos almacenados, son precisamente los **coeficientes** de las convoluciones efectuadas, y al conjunto completo de esos números es a lo que denominamos como “Transformada *Wavelet*” de la señal o función original. Algo parecido a lo que sucede con la descomposición en colores del rayo de luz que comentamos antes, pero aquí además hay un número (el **coeficiente** de cada color) que nos indica si hay más “de un color” que “de otro”, por ejemplo, más “rojo” que “azul”. Si resulta que en uno de los colores hay “cero”, entonces es que ese color no contribuye al rayo de luz que se está estudiando.

Si se tienen en cuenta absolutamente todos los coeficientes calculados, al realizar la transformación inversa, se recuperará exactamente la imagen original en un archivo del mismo peso y sin ningún tipo de compresión. Es ahora cuando, si se desea, **se eliminan de la mencionada matriz un tanto por ciento de los coeficientes de menor valor (más cercanos al cero)**, de forma que se obtiene una nueva matriz, más pequeña que la anterior, donde solo permanece un tanto por ciento de los coeficientes de mayor valor. Al “tanto por uno” de la cantidad de coeficientes que se han eliminado en la matriz ordenada, se le denomina “umbral” de la compresión, o “*threshold*”, en inglés (en este trabajo se le denominará con la letra griega delta minúscula = δ)

Así, un *threshold* = $\delta = 0.02$, significa que se han eliminado un 2% de los coeficientes más cercanos a cero de la matriz resultante de la transformada wavelet (observar que esto corresponde con muy poca compresión). Un *threshold* = $\delta = 0.8$, significa que se han eliminado un 80% de los coeficientes más cercanos a cero de la matriz resultante de la Transformada *Wavelet*, lo que conduce a una compresión mucho mayor, y probablemente a una pérdida de calidad significativa de la imagen reconstruida.

A continuación, se expondrá un ejemplo de compresión de huellas con un programa tomado de la página web: <https://blog.wolfram.com/2011/10/26/wavelets-and-their-application-in-mathematica/> donde está público el código de un programa que ejecuta, en la aplicación *Wolfram Mathematica*, la Transformada *Wavelet* de una imagen cualquiera, empleando para ello la familia de *wavelets* Daubechies. Vamos a ejecutar la transformada wavelet sobre la siguiente imagen de una huella digital que es de dominio público (licencia cc *Creative Commons*) y que puede obtenerse de forma gratuita de la web *pxhere*: <https://pxhere.com/es/photo/1333689>

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN
LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y
EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.



Se va a efectuar varias transformadas wavelets de la huella anterior, empleando para ello 6 umbrales diferentes, de forma que se obtengan diversos ratios de compresión. Para ello, se tomará el recuadro rojo de la imagen a continuación y se analizará en forma de espejo la imagen original y la comprimida, pudiendo ver así la diferencia entre una y otra. El recuadro rojo correspondiente a la huella original estará en la mitad superior y, en la mitad inferior, se verá la imagen comprimida con su ratio de compresión correspondiente.





En esta primera imagen hay un umbral de compresión de 0.02 y una ratio de 2.2:1. Esto significa que se ha eliminado tan solo un 2% de los coeficientes más cercanos a cero y la foto se ha reducido en tamaño 2.2 veces en comparación con la imagen original. Se puede observar que no hay ninguna diferencia en comparación con la imagen original. La imagen ha reducido en tamaño pero sigue manteniendo una buena calidad. Esto se debe a que la ratio de compresión es muy bajo.



Para esta segunda imagen se ha utilizado un umbral de compresión de 0.05 y una ratio de 3.4:1. Esto quiere decir que se han eliminado un 5% de los coeficientes de la matriz y la foto ha reducido su tamaño 3.4 veces con respecto a la original. Al realizar la compresión se siguen sin observar signos de pérdida significativa de calidad en la imagen reconstruida. Se consigue reducir su tamaño y mantener la buena calidad de la imagen.

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.



En la tercera imagen se utiliza un umbral de compresión de 0.2 y una ratio de 11.9:1. Se han eliminado el 20% de los coeficientes almacenados en la matriz, reduciendo la imagen su tamaño 11.9 veces en comparación con la original. A este umbral de compresión todavía no se podría observar una pérdida de calidad significativa en la imagen, quizá algo más difuminado, pero nada que pueda perjudicar el cotejo entre una huella y otra.



En esta cuarta imagen se utiliza un umbral de compresión de 0.5 y una ratio de 30.7:1. Esto implica que se han eliminado la mitad de los coeficientes de la matriz, reduciendo su tamaño 30.7 veces en comparación con la imagen original. Ya se comienzan a ver signos de pérdida en la resolución de la imagen, viendo se la parte inferior derecha más difuminada y contaminada en comparación con la original. Con este umbral de compresión, la imagen no sería válida para una investigación, ya que no puede

identificarse con certeza ciertos puntos característicos a la hora de cotejar ambas imágenes.

La quinta imagen presenta un umbral de compresión del 0.8 y una ratio de 47.0:1. Al eliminarse un 80% de los coeficientes de la matriz, se hace evidente que se están eliminando componentes que aportan gran valor a la reconstrucción de la imagen original, por lo que no se da una correcta resolución del archivo, perdiendo información esencial.

Por último, se ha aplicado un umbral de compresión de 0.95 y una ratio de 53.6:1. Esta última prueba se presenta tan solo a modo de ejemplo para que se compruebe lo que ocurre con el 95% de los coeficientes eliminados. La reconstrucción de la huella mantiene la forma original, pero ya no contiene prácticamente ningún detalle de forma correcta, por lo que, al igual que las dos últimas mencionadas, no podría ser utilizada para su almacenaje o cotejo en el SAID.

2. Conclusiones de los resultados.

Con esto se observa que, a medida que se va aumentando el umbral de compresión y se eliminan elementos de gran valor para la reconstrucción de la imagen, más calidad se pierde y, por lo tanto, más difícil será poder identificar a quién pertenece esa huella dactilar. Es importante que el peso en kb de una imagen no sea excesivamente alto, de forma que ésta pueda ser procesada por una computadora de forma rápida y eficaz, pero, también es importante mantener la calidad de la imagen para así poder identificar con claridad las minucias que distinguen unas huellas de otras, si no, la imagen no serviría



para la labor de identificación policial.

En este ejemplo, la imagen original contaba con un tamaño de 2568 Kb (2.51 Mb) y una resolución de 300ppp. A medida que se ha ido aplicado un umbral de compresión mayor, la cuantía de esa cifra se ha visto reducida considerablemente, siendo que, cuando se aplica un *threshold* de $\delta=0.95$, el peso de la imagen pasa a ser de 48 Kb. Como se puede observar, en comparación con la imagen original, la última imagen comprimida sería por

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

peso mucho mejor a la hora de buscarla o transferirla en base de datos, sin embargo, como se ha comentado anteriormente, esta no sería posible para tareas identificativas debido a que la imagen ha perdido mucho detalle, asemejándose mucho menos a la original.

Por lo tanto, se debe buscar un umbral de compresión que, a la hora de comprimir la imagen, se pueda obtener una versión lo más fiel posible a original. En este caso se podría debatir entre la tercera o cuarta imagen comprimida. A la tercera se le aplicó un *threshold* de $\delta=0.2$ y pasó a pesar 215 Kb (0.21 Mb), mientras que a la cuarta, se le aplicó *threshold* de $\delta=0.5$, pasando a ser su peso 84 Kb (0.08 Mb). Como se puede observar, hay una gran diferencia de peso entre las dos, siendo esta de unos 130 Kb, por lo tanto, para determinar que foto es la más válida, habrá que fijarse en la calidad de esta.



En la parte izquierda se encuentra la imagen con un *threshold* de $\delta=0.2$ y, en la parte derecha, la imagen con un *threshold* de $\delta=0.5$. Si bien es cierto que no se aprecia un cambio muy significativo entre una imagen y otra, es apreciable, en cierto modo, que la imagen de la derecha está perdiendo calidad al eliminar un 50% de la información almacenada en la matriz de los coeficientes de la transformada. Visualmente, se divide como la imagen empieza a pixelarse debido a una pérdida de información abundante y, como consecuencia, el detalle del propio píxel. Por lo tanto, para alcanzar una mayor precisión a la hora de cotejar la imagen en base de datos, es preferible almacenar aquella imagen a la que no se la pueda apreciar una pixelación destacable. En definitiva, se escogería la imagen con un *threshold* de $\delta=0.2$, ya que es el máximo rango de compresión alcanzado sin perder calidad en la imagen.

CONCLUSIONES

En conclusión, se ha observado a lo largo de este trabajo la relevancia de saber manejar la información sobre huellas dactilares, ya que, gracias a su unicidad, estas se consideran determinantes para identificar a un individuo implicado en un hecho delictivo.

En cuanto a qué conocimientos se deben tener para el correcto tratamiento de huellas dactilares, se sabe que el formato estándar para intercambiar información con la Interpol y almacenar los datos en su sistema AFIS, el SAID, todos los archivos de imagen deben de cumplir el formato estándar ANSI/NIST ITL 2011: Update 2015, elaborado originalmente por el NIST, pero que está especialmente modificado por el grupo IAEG de la Interpol (INT-I). Este formato permitirá a todos los sistemas operativos leer e interpretar la información de un archivo en concreto. Por otro lado, se busca mediante los algoritmos WSQ y JPEG 2000, comprimir la imagen para reducir su tamaño y hacerla más manejable a la hora de cotejarla, buscarla y transferirla en diferentes bases de datos.

Actualmente, estos algoritmos, se consideran los más eficientes para la compresión de huellas dactilares y son utilizados por diversas entidades policiales. En este proyecto se explicó su funcionamiento mediante la Transformada Wavelet, puesto que es la principal técnica matemática en la que se basa la descomposición, en elementos más sencillos, de la imagen original. En un ejemplo práctico se observa que, a medida que se eliminan, en mayor cantidad, elementos de información de esa transformada, menor tamaño tendrá el archivo final, pero, sin embargo, más nivel de detalle se perderá en la imagen. De esta manera, no se cumplirían los requisitos establecidos para el intercambio de información y, por lo tanto, la imagen quedaría invalidada.

Al tenerse en cuenta esta relación calidad-tamaño, se podrían lanzar, en un futuro, nuevas líneas de investigación en las que se creen algoritmos de compresión mucho más eficaces a la hora de comprimir una imagen, desarrollando aquellos que no conlleven una pérdida de información y mantener lo más fiel posible la calidad de la imagen comprimida a la de la original, pudiendo reducir su tamaño más de lo que estos algoritmos permiten actualmente.

BIBLIOGRAFÍA

- Adobe. (2022). *What Does Resolution Mean? Image Resolution Guide* . Obtenido de Adobe: <https://www.adobe.com/uk/creativecloud/photography/discover/image-resolution.html>
- Adobe. (2023). *Formatos de archivo*. Obtenido de Adobe: guía del usuario: <https://helpx.adobe.com/es/photoshop/using/file-formats.html>
- Adobe. (s.f.). *Archivo XML: todo lo que necesitas saber*. Obtenido de Adobe: <https://www.adobe.com/es/acrobat/resources/document-files/text-files/xml-file.html#qu%C3%A9-es-un-archivo-xml>
- Alguacil, P. S. (s.f.). *JPEG2000. Técnicas informáticas de Imagen y Sonido*. Obtenido de Universidad de Almería: http://www.hpca.ual.es/~vruiz/docencia/imagen_y_sonido/proyectos/2007_JPEG_2000/JPEG2000.pdf
- Allison, N. (2015). Fingerprint Compression. En S. Z. Li, & A. K. Jain, *Encyclopedia of Biometrics* (págs. 592-598). New York: Springer New York. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7488-4>
- Asencio, G. G. (2017). El derecho penal de la modernidad y los inicios de los sistemas de identificación criminal en México. *Revista Alegatos*(97), 479-502.
- Ashbaugh, D. (1999). *Quantitative-Qualitative Friction Ridge Analysis: An Introduction to Basic and Advanced Ridgeology*. Boca Raton: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9781420048810>
- Barberá, F. A. (2011). Reflexión acerca de las minutiae vs. puntos característicos e incidencia en su aplicación lofoscópica práctica. *Gaceta Iternacional de Ciencias Forenses*(1), 1-34.
- Barberá, F. A. (2017). Reminiscencias lofoscópicas, con especial alusión al correcto uso del lenguaje técnico. *Gaceta internacional de ciencias forenses*(24), 34-64.
- Barnes, J. G. (2002). Capítulo I. Historia. En E. H. Holder, L. O. Robinson, & J. H. Laub, *El Libro de Referencia de las Huellas Dactilares* (págs. 1-19). Washington: Alan McRoberts.
- Bernabeu, A. J. (2018). *El proceso integral de la huella dactilar: desde la búsqueda del vestigio hasta la plena identificación*. Estados Unidos: Smashwords. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=739900>
- Bohórquez, F. J. (2012). Análisis del proceso de reconocimiento de una huella dactilar. *Revista Semilletes de Investigación*(3), 85-91. doi:<https://doi.org/10.19053/22158391.1788>
- Camacho, I. E. (2015). Huella genética vs. Huella dactilar. *Archivos de Criminología, Seguridad Privada y Criminalística*, 4(2), 89-112.

- Christensen, O., & Christensen, K. (2005). *Approximation Theory from Taylor Polynomials to Wavelets*. Birkhäuser Boston, MA: Advisory Board. doi:<https://doi.org/10.1007/978-0-8176-4448-2>
- Clínica Universidad de Navarra. (s.f.). *Clínica Universidad de Navarra*. Obtenido de Diccionario médico: corificación: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/corificacion#:~:text=f,tiene%20por%20carencia%20de%20ox%C3%ADgeno>.
- Criminal Justice Information Services (CJIS). (2010). *WSQ Gray-Scale Fingerprint Image Compression Specification*. Clarksburg: Federal Bureau Services Division.
- Faulds, H. (1912). *Dactylography or the Study of Finger-Prints*. Londres: Milner and Company.
- Fernández, M. (7 de abril de 2023). *¿Qué es la compresión de archivos y cómo funciona?* Obtenido de Softonic: <https://www.softonic.com/articulos/que-es-compresion-archivos>
- Galton, F. (1892). *Finguer Prints*. Nueva York: MacMillan.
- Gonzalez de León, M. (2004). *Introducción a la Dactiloscopia como Método de Identificación de Personas*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/205178885/Introduccion-a-La-Dactiloscopia-Como-Metodo-de-Identificacion-de-Personas>
- Guízar Sahagún, G., Grijalva Otero, I., & Madrazo Navarro, I. (2021). Huellas dactilares: origen, usos y desafíos que genera la incapacidad para su registro. *Reista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 59(6), 568-573. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4577/457769655019/457769655019.pdf>
- Herschel, S. W. (1916). *The Origin of Finger-Printing*. London: Oxford University Press.
- Hutchins, L. A. (2017). Capítulo 5. Sistemas de clasificación de crestas de fricción. En E. Holder, L. Robinson, & J. Laub, *El Libro de Referencia de las Huellas Dactilares* (págs. 93-117). Washington: Alan McRoberts.
- Hutchins, L., & May, R. (2017). Capítulo 8. La preservación de las crestas de fricción. En E. Holder, L. Robinson, & J. Laub, *El libro de referencia de las huellas dactilares* (págs. 225-245). Washington: Alan McRoberts.
- IAEG. (2020). *INTERPOL Implementation for Data Format for the Interchange of Fingerprint, Facial and Biometric Information. XML format, version 06.00.01 Based on ANSI/NIST ITL 2011 Upd 2015*. Obtenido de INTERPOL: <https://www.interpol.int/content/download/file>
- International Association for Identification (IAI). (1999). *AFIS Directory of Users*. Minnesota: Mendota Heights.
- INTERPOL. (1997). *RESOLUCION N° AGN/66/RES/8: Normas de Interpol para el intercambio de imágenes de huellas dactilares por los países que utilizan SAID*. Nueva Delhi: INTERPOL.

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

- INTERPOL. (2012). *Directrices para la Transmisión de huellas dactilares recogidas en lugares donde se han cometido delitos*. Obtenido de INTERPOL: <https://www.interpol.int/content>
- INTERPOL. (2020). *Huellas Dactilares*. Obtenido de INTERPOL: <https://www.interpol.int/es/Como-trabajamos/Policia-cientifica/Huellas-dactilares>
- INTERPOL. (2020). *Huellas dactilares (COM/FS/2020-03/FS-03)*. Obtenido de Interpol. Temás de interés.: <https://www.interpol.int/es/Como-trabajamos/Policia-cientifica/Huellas-dactilares>
- INTERPOL. (s.f.). *Lista de plazos de conservación de los datos con arreglo al artículo 13.2 f) del Reglamento de Interpol sobre el Tratamiento de Datos*. Obtenido de INTERPOL: [https://www.google.com/search?q=Lista+de+plazos+de+conservaci%C3%B3n+de+los+datos+con+arreglo+al+art%C3%ADculo+13.2+f\)+del+Reglamento+de+Interpol+sobre+el+Tratamiento+de+Datos&rlz=1C1YTUH_esES1001ES1001&oq=Lista+de+plazos+de+conservaci%C3%B3n+de+los+datos](https://www.google.com/search?q=Lista+de+plazos+de+conservaci%C3%B3n+de+los+datos+con+arreglo+al+art%C3%ADculo+13.2+f)+del+Reglamento+de+Interpol+sobre+el+Tratamiento+de+Datos&rlz=1C1YTUH_esES1001ES1001&oq=Lista+de+plazos+de+conservaci%C3%B3n+de+los+datos)
- INTERPOL. (s.f.). *Sobre las salvaguardias del sistema de información de la Interpol para el tratamiento de datos personales*. Obtenido de Interpol: <https://www.interpol.int/es/Pagina-de-busqueda?&type=document&category=0&year=0&limit=12&search=Sobre%20las%20salvaguardias%20del%20sistema%20de%20informaci%C3%B3n%20de%20la%20Interpol%20para%20el%20tratamiento%20de%20datos%20personal>
- Ionos. (2020). *Los formatos de imagen más importantes en Internet*. Obtenido de Digital Guide Ionos: <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/disenio-web/cuales-son-los-formatos-de-imagen-mas-importantes/>
- Jain, A. K., & Feng, J. (2009). Latent Palmprint Matching. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(6), 1032-1047.
- Kumar Samal, D., & Ray, S. (2024). *Wavelet entropy-based damage characterization and material phase differentiation in concrete using acoustic emissions*. Uttarakhand, India: Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee.
- Lambourne, G. (1984). *The Fingerprint Story*. Virginia: Harrap.
- Lazoñ, S. (2017). *Pure Java WSQ Encoder*. Masaryk: Facultad de Informática de la Universidad de Masaryk.
- Lenovo. (2024). *What is file size and how does it affect data transfer speed?* Obtenido de Lenovo: <https://www.lenovo.com/us/en/glossary/what-is-file-size/?orgRef=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F>
- Libert, J. M., Orandi, S., & Grantham, J. D. (2012). *Comparison of the WSQ and JPEG 2000 Image Compression Algorithms On 500 ppi Fingerprint Imagery*. NIST

- Interagency Report 7781*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology (NIST). doi:<https://doi.org/10.6028/NIST.IR.7781>
- Martínez Acevedo, L. (2009). *Computación Paralela de la Transformada Wavelet. Aplicaciones de la Transformada Wavelet al álgebra lineal numérica*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://www.dsic.upv.es/docs/bib-dig/tesis/etd-05152009-123504/phd.pdf>
- Mata, P. P. (2010). Orígenes históricos de la Dactiloscopia. Los inicios de la Dactiloscopia en la Guardia Civil española. El estuche dactiloscópico en el Museo de la Guardia Civil, Madrid. *Cuadernos de la Guardia Civil: Revista de Seguridad Pública*(42), 117-130.
- Microsoft. (2023). *Compresión y descompresión de archivos*. Obtenido de Microsoft Learn: <https://learn.microsoft.com/es-es/windows/win32/fileio/file-compression-and-decompression>
- Microsoft. (2024). *Más información sobre los formatos de archivo*. Obtenido de Support Microsoft: <https://support.microsoft.com/es-es/office/m%C3%A1s-informaci%C3%B3n-sobre-los-formatos-de-archivo-56dc3b55-7681-402e-a727-c59fa0884b30>
- Miner, N. E. (1998). *An Introduction to Wavelet Theory and Analysis*. Albuquerque y Livermore, Estados Unidos: Sandia National Laboratories (SNL). doi:<https://doi.org/10.2172/1896>
- Moses, K. R. (2017). Capítulo 6. Sistema Automatizado de Identificación de Huellas Dactilares. En E. H. Holder, L. O. Robinson, & J. H. Laub, *El Libro de Referencia de las Huellas Dactilares* (págs. 6/1-6/38). Washington: Alan McRoberts.
- New Scotland Yard. (1990). *Fingerprint History: A Synopsis of the Development of the System of Fingerprint Identification with Particular Reference to New Scotland Yard*. Londres: New Scotland Yard.
- Newman, M. (2022). *Convolution and the Fourier Transform explained visually [Video]*. Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=9i6aDdQ9FTQ&ab_channel=MarkNewman
- NIST. (2021). *ANSI/NIST-ITL1-2000: Data Format for the Interchange of Fingerprint, Facial, Scar Mark and Tattoo (SMT) Information. Interpol Implementation (INT-I)*. Obtenido de National Institute Of Standards and Technology: https://www.nist.gov/system/files/documents/2021/03/03/ansi-nist_2007_hardt-interpol-i.pdf
- Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL) (2023). Reglamento Interno de la Asamblea General
- Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL) (2011). *Resolución AG-2011-RES-07*. Asamblea General de Interpol.

TÉCNICAS WAVELET EN EL INTERCAMBIO INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN LOFOSCÓPICA: UN ENFOQUE EN LA COMPRESIÓN DE HUELLAS DACTILARES Y EL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DEL SAID.

- Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL) (1997). *Resolución N. AGN/66/RES/8*.
- Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL) (2023). Estatuto de la OIPC-INTERPOL.
- Organización Internacional de Policía Criminal. (s.f.). *¿Quiénes somos?* Obtenido de INTERPOL: <https://www.interpol.int/es/Quienes-somos/Que-es-INTERPOL>
- Orozco, F. L. (2004). *Algoritmos de Compresión y Descompresión de Imágenes Digitales en Dispositivos Móviles*. Obtenido de Sección de Computación. Departamento de Ingeniería Eléctrica: <https://delta.cs.cinvestav.mx/~francisco/semtesis/proyectos/franciscol/presentacion1.pdf>
- Portilla, A. R., & Suárez Rueda, J. (2018). La huella dactilar como mecanismo de identificación biométrica para la no portabilidad de documentos de identidad. *Revista de Tecnología, Investigación y Academia*, 6(2), 38-45. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/12761/14691>
- Ramos, G. A. (1997). *La compresión de impresiones dactilares mediante wavelets*. Buenos Aires: Departamento de Computación. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Rodas Alejos, J. I., & Arreaga Quan, J. A. (2018). Las huellas dactilares como herramienta esencial para la investigación criminal. *Gaceta Internacional de Ciencias Forenses*(26), 22-32.
- Rojarkar, D., Borkar, N., Naik, B., & Peddiwar, R. (2015). Image Compression Techniques: Lossy and Lossless. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(2), 912-917. Obtenido de <https://pnrsolution.org/Datacenter/Vol3/Issue2/129.pdf>
- Rojas, M., & Stefanelli, M. C. (2008). Compresión de huellas dactilares empleando la Transformada Ondícula. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 1(11), 88-104. doi:<https://doi.org/10.62876/tekhn.v1i11.2636>
- Sánchez, J. R. (2018). Proteger al bueno, perseguir al malo: Federico Olóriz (1885-1912) y la dactiloscopia en España. *Ayer*(111), 195-223.
- Theory Of Control. (2021). *Fourier Transforms || Theoretical Interpretations, Complex Exponentials and Window Effect [video]*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=3qnFjeqPFX4>
- Vucetich, J. (1904). *Dactiloscopia comparada: el nuevo sistema argentino: trabajo hecho expresamente para el 2º Congreso Médico Latino-Americano, Buenos Aires, 3-10 de abril de 1904*. Buenos Aires: Jacobo Peuser.

Wilson, T. F., & Woodard, P. L. (1987). *Automated Fingerprint Identification Systems: Technology and Policy Issues*. California: U.S. Department of Justice, Bureau of Justice Statistics.