

HUELLAS DACTILARES: EL RECONOCIMIENTO DE 75 BILLONES DE PATRONES

Anil K. Jain

Michigan State University (USA)¹

Durante mi infancia en India, nunca pensé en ser investigador o científico. Solo sabía que sería ingeniero como lo hablan sido mi padre, mi abuelo y mis tíos. Al terminar los estudios de grado en ingeniería eléctrica en el Instituto de Tecnología de India (IIT) en Kanpur en 1969, tenía dos opciones: buscar trabajo o continuar con estudios de posgrado. Al final, mi instinto me hizo seguir el consejo de mi futura hija, que por aquel entonces aun no había nacido: *cuando te halles ante dos buenas ofertas, opta por ambas!* De modo que seguí a mi director de tesis universitaria, Prof. Jack Bacon, a la Universidad del Estado de Ohio donde además obtuve un trabajo a tiempo parcial en el Centro de Informática. En 1969, una de las máquinas más potentes era la IBM 360. Yo escribía programas de ordenador en lenguaje *Fortran*, transfería los códigos a *tarjetas perforadas*, entregaba aquellos *mazos de tarjetas* al operador de la máquina y me ponía a esperar, conteniendo la respiración y con los dedos cruzados. Al cabo de unas horas, volvía al operador a recoger el resultado, en forma de un montón de papel impreso; y sonreía (si la tarea había sido un éxito) o maldecía. Era frustrante.

Mi fortuna dio un giro a mejor cuando asistí a un curso sobre *Reconocimiento de Patrones* durante el trimestre de primavera del año 1970. Como parte del curso, generalice los resultados de un artículo publicado recientemente y presente mis conclusiones en el prestigioso *Simposio sobre la Teoría de la Información de la IEEE, 1972*. Así comenzó mi carrera como investigador.

A lo largo de los últimos 50 años o así, me he centrado en el reconocimiento de patrones²: *concretamente, en el diseño de máquinas que reconocen patrones automáticamente*. Los patrones pueden ser obra del hombre (por ejemplo, edificios) o abstractos (¡como los cuadros de Pablo Picasso!). Los patrones pueden estar presentes en el espacio físico que nos rodea (una *constelación de estrellas*) o incorporadas en imágenes o vídeos. Según en qué época hayamos crecido, el reconocimiento de patrones se llama *inteligencia artificial (IA)*, *aprendizaje automatizado*, o *visión artificial*; o sea, la misma enchilada con distintos envoltorios. Hoy en día, el reconocimiento de patrones sigue siendo uno de los puntos más calientes en la ciencia informática. Entre sus principales aplicaciones se incluyen el reconocimiento de tumores en imágenes médicas, los caracteres en páginas impresas, la cubierta terrestre en imágenes de satélite, o los peatones desde vehículos autónomos, por nombrar solo algunas.

En 1990, mi fortuna tomó un nuevo rumbo afortunado cuando una beca de investigación otorgada por una agencia estatal estadounidense (NSA-Agencia Nacional de Seguridad) me brindó la oportunidad de trabajar en el reconocimiento de huellas dactilares. Esta oportunidad resultó ser una mina de oro para mi trabajo de investigación, y desde entonces ¡hemos extraído suficiente metal precioso para llenar un Galeón español!

Si se miran detenidamente las yemas de los dedos, las palmas de las manos o la planta de los pies, verán que aunque la piel es lisa está cubierta de finas crestas y valles. Este dibujo de crestas y valles se conoce como el patrón de *crestas de fricción*. El estudio de estos patrones se denomina asimismo *lofoscopia*, que proviene del griego *fofos*, que significa cresta o relieve, y *skopein*, que quiere decir observar.

¹ Del discurso pronunciado en el Acto de su investidura como Doctor Honoris Causa por la Universidad Autónoma de Madrid (20 de septiembre de 2018).

² A. Jain, R. Duin and J. Mao: "Statistical Pattern Recognition: A Review", IEEE T-PAMI, 22:4 37, 2000.

A menudo me he preguntado por qué nacemos con estos dibujos especiales en nuestras manos y pies. Una posible explicación es que nos proporcionan la suficiente fricción como para sujetar un botellín bien frío de San Miguel en un día caluroso de verano...

Sir Francis Galton, uno de los pioneros del reconocimiento de huellas dactilares hacia finales del siglo XIX comentó:

Tal vez la más bella y característica de todas las marcas superficiales (en el cuerpo humano) sean los leves surcos con sus correspondientes crestas papilares y sus poros organizados de forma singularmente compleja pero a la vez ordenada en las palmas de las manos y las plantas de los pies. (Nature, 28 de junio, 1888).

Las huellas dactilares tienen una larga historia, en particular en lo que respecta al reconocimiento o individualización de las personas. Se han hallado numerosas huellas dactilares en artefactos antiguos de cerámica, lo que sugiere que los artesanos deseaban dejar constancia de *su marca*. Sin embargo, fue la labor de Sir William Herschel (que empleó las huellas dactilares en contratos legales en Bengala, India Británica), Henry Faulds (que sugirió la *identificación científica de criminales* mediante el uso de las huellas dactilares), Juan Vucetich (el primero en usar impresiones en tinta de huellas dactilares, en un juicio en Argentina), Sir Edward Henry (inventor del sistema Henry de clasificación de huellas dactilares: bucles, remolinos y arcos), y Sir Francis Galton (el inventor de las *minucias* en las huellas dactilares), todos ellos a finales del siglo XIX, lo que finalmente convenció a Scotland Yard para que adoptara el reconocimiento de huellas dactilares para la identificación de criminales en 1905. En el año 1924, el FBI siguió sus pasos y estableció su propia unidad de reconocimiento de huellas dactilares con una base de datos de 810.000 huellas.

Tras el acelerado desarrollo de la automatización y los algoritmos, el FBI instaló el primer Sistema Automatizado de Identificación de Huellas Dactilares (AFIS - *Automated Fingerprint Identification System*) en 1979, que más tarde se incrementó hasta constituir el Sistema Automatizado de Identificación de Huellas Dactilares Integrado (IAFIS - *Integrated Automated Fingerprint Identification System*)³ en 1999. La base de datos del FBI en 1999 con 47 millones de huellas *decadactilares* (que comprenden los diez dedos de la mano de cada persona), ya ha sobrepasado los 100 millones de huellas *decadactilares* y sigue creciendo a diario. El último avance del FBI, el sistema de Identificación de Próxima Generación (NGI)⁴ ya tiene capacidad para reconocer la huella de la mano, el rostro y el iris, además del reconocimiento de las huellas dactilares.

Es asombroso que nuestros pulpejos, que no son mayores que un sello de correos, basten para identificarnos. Claro que a lo largo de los años se ha rodeado de cierto misterio el asunto del reconocimiento de las huellas dactilares. El titular publicado en Harper's en 1910 aseguraba que "*Solo una vez en la existencia de nuestro sistema solar podrían nacer dos seres humanos con marcas dactilares similares*". En Scientific American se informaba en 1911 que "*Dos huellas dactilares iguales solo podrán darse una vez cada 1048 años*". Parecería que estas respetadas revistas se sacaban las estadísticas de la chistera. Además, se han dado casos de individuos falsamente condenados sobre la base de huellas dactilares. El atentado terrorista con bombas en varios trenes de Madrid en la mañana del 11 de marzo de 2004 (*el 11-M*) mató a 192 personas e hirió a otras 2.000. La única evidencia forense de la que dispuso la Guardia Civil era una huella dactilar incompleta y borrosa, lo que se conoce como *marca dactilar*. Sobre la base de esta prueba, el FBI detuvo a Brendan Mayfield⁵, capitán retirado del ejército de los EE. UU., quien declaró que estaba en su casa en Oregón cuando se produjeron los hechos en Madrid. Dos semanas más tarde, fue hallado y

³ file:///C:/Users/jain/AppData/Local/Temp/IAFIS_0808_One-Pager825.pdf

⁴ <https://www.fbi.gov/file-repository/ffigi-monthly-fact-sheetiview>

⁵ <https://oigjustice.gov/special/s0601/exec.pdf>

detenido el terrorista buscado. A pesar de errores como este, a los ciudadanos se les asegura repetidamente que *la prueba de las huellas dactilares es infalible*.

A continuación mencionaré algunos de los *hitos* que cambiaron el rumbo del reconocimiento de las huellas dactilares, salvando muchos obstáculos y retos hasta llegar a las transacciones que efectuamos hoy en día, unas veces por elección propia y otras sin elección. He tenido la suerte de haber podido hacer pequeñas contribuciones a este esfuerzo.

- **Paso de Fronteras:** El *atentado terrorista* del 9/11 en Estados Unidos se llevó la vida de cerca de 3.000 individuos. Resultó que los 19 terroristas que participaron en los ataques poseían 63 permisos de conducir diferentes expedidos en Florida, Virginia, California y Nueva Jersey, que usaban para embarcar en vuelos. Esto hizo necesario el uso de huellas dactilares para emitir permisos de conducción y pasaportes, dado que los hechos demostraron que las credenciales emitidas por el gobierno no siempre eran fiables. Posteriormente, en 2005, el Departamento de Seguridad Nacional de los EE.UU. lanzó el programa US-VISIT⁶ para tomar las huellas dactilares de todos los visitantes que accedieran al país por cualquier punto de entrada a EE.UU. Un gran número de países, entre los que se incluye España⁷, tienen ahora programas similares.
- **Programas Nacionales de ID:** Es frecuente que los ciudadanos de muchos países en vías de desarrollo carezcan de cualquier tipo de prueba de identidad. Para garantizar que todos los ciudadanos, especialmente aquellos cuyo status económico es menor, tengan los mismos derechos, privilegios y prestaciones, India lanzó *Aadhaars*⁸ en 2009 con el fin de asignar a cada residente un *número intransferible de ID de 12 dígitos, relacionado con sus huellas dactilares o iris*. Actualmente, Aadhaar es el sistema biométrico⁹ más grande del mundo con una base de datos de más de 1,2 billones de individuos. Esta iniciativa ha mejorado la vida de los marginados, eliminado el fraude e incrementado la eficacia de numerosos servicios gubernamentales y bancarios. Con la implementación de sistemas de fichaje basados en huellas dactilares los funcionarios se presentan al lugar de trabajo, lo que ha ocasionado una escasez de mesas y sillas en las oficinas!
- **Seguridad en Teléfonos Inteligentes:** Pasamos más tiempo usando nuestros teléfonos móviles que cualquier otro dispositivo para comunicarnos y efectuar transacciones. Sin embargo, los valiosos datos personales almacenados en nuestros teléfonos inteligentes no están suficientemente seguros (en el mejor de los casos con un PIN, entre los cuales el PIN más común es 123456). El uso de las huellas dactilares integradas en los 'smartphones', introducido como *Touch ID* por Apple en 2013 y más tarde *Apple Pay* en 2014, permite mecanismos de desbloqueo y sistemas de pago seguros en el móvil.
- **Huellas dactilares para ID de niños:** Existen en el mundo aproximadamente 600 millones de niños entre los 0 y los 5 años de edad. De media, *se suman unos 350.000 recién nacidos a esta cifra cada día*. La mayoría nace en un país en vías de desarrollo (solo en India, nacen unos 25 millones de niños cada año). Las huellas dactilares proporcionan una solución de bajos costes para el seguimiento de vacunaciones, la provisión de alimentos y la prevención de la abducción de niños no inscritos en registros electrónicos o en papel. Con el apoyo de la Fundación Bill and Melinda Gates y el Programa Mundial de Alimentos, hemos llevado a cabo estudios longitudinales sobre huellas dactilares en bebés y niños de corta edad en Agra, India y varias ciudades en Somalia. Nuestro

⁶ <https://www.dhs.gov/obim>

⁷ <https://findbiometrics.com/spanish-airports-install-multi-biometric-security-systems/>

⁸ <https://www.uidai.gov.in/>

⁹ Reconocimiento automatizado de una persona por medio de sus rasgos anatómicos y de comportamiento distintivos (por ejemplo, huellas dactilares y rostro).

trabajo estudia, por primera vez, la constancia del reconocimiento de huellas dactilares en la identificación de cada niño a medida que madura a lo largo de la infancia.

- **El Valor de las Huellas Dactilares:** El reconocimiento de las huellas dactilares se basa en dos premisas fundamentales: *Unicidad* (el patrón de crestas y valles de cada dedo es diferente) y *Constancia* (la estructura cresta-valle no cambia significativamente con el tiempo). Un gran número de individuos han sido o permanecen encarcelados a cadena perpetua, en incluso en el corredor de la muerte, por culpa de evidencia errónea basada en huellas dactilares, además de otras pruebas forense¹⁰. Para sentar las huellas dactilares sobre una base más firme, mis alumnos han desarrollado modelos estadísticos para la unicidad¹¹ y la constancia¹² de las huellas dactilares. Nuestro trabajo permite tanto a fiscales como a abogados defensores la oportunidad de dar un valor numérico de confianza a las pruebas referidas a cada uno de sus juicios.

El éxito que ha tenido el reconocimiento de las huellas dactilares a lo largo de los años ha despertado gran interés por la *exploración de otros rasgos del cuerpo* para su uso en reconocimiento, como son el rostro, el iris, la voz, la firma, la forma de caminar, etc. Así, se ha abierto todo un campo nuevo de investigación, llamado *biometría*: en pocas palabras, ésta se define como *el reconocimiento automático de personas por sus atributos anatómicos o de comportamiento*. El término biometría se compone de dos palabras griegas: *bios* –cuerpo- y *metron*, que significa medida. Los sistemas biométricos utilizan o bien una sola medida del cuerpo (rasgo) o varios rasgos corporales (multi-biometría) para el reconocimiento de una persona. El programa indio Aadhaar, el más extenso que se haya llevado a cabo en el mundo, es un ejemplo del uso acertado de la multi-biometría. Para distinguir entre más de 1,2 billones de habitantes en India, Aadhaar utiliza para cada individuo las huellas de los diez dedos, ambos iris y el rostro; los tres rasgos biométricos más poderosos.

El Profesor Javier Ortega-García de la UAM dirige uno de los grupos de investigación más pujantes y distinguidos, no solo de España si no en el mundo. Los trabajos que se llevan a cabo en su laboratorio están a la vanguardia del campo de la voz, la firma, y la multi-biométrica.

Entre los rasgos biométricos que se prestan a la autenticación, es natural que nos preguntemos *cuál será el mejor*. Desde luego, no es *el rasgo biométrico basado en la lengua*, que se presentó en la Conferencia Internacional de Biométrica en Seúl, 2011. Bromas aparte, no tenemos una respuesta firme sobre el asunto de cuál será *el mejor rasgo biométrico*; ésta depende de la aplicación de autenticación y sus necesidades en cuanto a precisión en el reconocimiento, rapidez de procesamiento, coste, usabilidad y un sinfín de factores más. Dado que el coste, rapidez y precisión de reconocimiento de los sistemas biométricos ya cumplen, hoy en día, los requisitos para numerosas aplicaciones de seguridad, son la aceptabilidad por el usuario y la sencillez en el uso los que destacan actualmente como factores clave.

El nuevo rasgo biométrico dominante es el rostro, debido al tremendo auge en el número de cámaras de vigilancia (CCTV). Los rasgos faciales pueden ser captados de forma encubierta (es decir, la persona grabada no es consciente de ello), y los sistemas más avanzados de reconocimiento facial pueden reconocer a *personas de interés* de manera instantánea. En la actualidad, China opera una red de aproximadamente 200 millones de cámaras de vigilancia que se estima llegará a 600 millones en el año 2020¹³.

Con los recursos suficientes, todo mecanismo de seguridad puede verse comprometido o “hackeado”. El reconocimiento biométrico no es ninguna excepción. Los dos tipos de ataque más

¹⁰ <https://www.innocenceproject.org/>

¹¹ Pankanti, Prabhakar and Jain: "On the individuality of fingerprints", IEEE Trans. PAMI, 2002.

¹² Yoon and Jain: "Longitudinal study of fingerprints", PNAS 2015.

¹³ <https://www.huffingtonDost.conilentrivichina-surveillance-camera-big-brother-us-5a2ff4d-fe4b01598ac484acc>

frecuentes son: (i) la presentación de una huella falsa, ya sea dactilar, del iris o del rostro, ante el sensor, y (ii) comprometer la base de datos que almacena los parámetros de las huellas dactilares, el iris y los rasgos faciales de los usuarios. Ya ha habido películas de Hollywood que nos han permitido vislumbrar los efectos de los rasgos biométricos. En *Diamonds Are Forever* (1971), James Bond, encarnado por Sean Connery, consigue engañar al escáner de huellas dactilares de la chica Bond, Tiffany Case, empleando una huella falsa. Del mismo modo, en *Demolition Man* (1993), un jefe de banda criminal se evade de la cárcel usando el ojo eviscerado (extraído quirúrgicamente) del vigilante. ¡Todavía estamos buscando maneras de distinguir entre rasgos biométricos reales y falsos!

Mientras que las huellas dactilares, o cualquier otro rasgo, robado de una base de datos gubernamental podría permitir a los “hackers” construir réplicas para acceder a nuestras cuentas bancarias, hace poco utilizamos datos biométricos falsos con fines positivos al ayudar a la policía de nuestra ciudad a desbloquear el móvil de una víctima de homicidio. Reconstruimos una réplica de las huellas dactilares del pulgar derecho de la víctima que constaban en los archivos policiales y conseguimos desbloquear el teléfono, para regocijo de los detectives de policía¹⁴.

Por último, la tecnología biométrica ha suscitado cierta fundada preocupación acerca de nuestra privacidad¹⁵. Las principales inquietudes son: ¿A quién pertenecen nuestros datos biométricos? Supongamos que nuestro banco recoge nuestras huellas dactilares para que podamos usar un lector de huellas dactilares para acceder a nuestra cuenta en el cajero automático. ¿Pondrán estas huellas a disposición de la policía? ¿Podremos ser monitoreados por una multitud de cámaras en red dentro de una gran ciudad? Necesitamos una legislación por parte de nuestro gobierno sobre cuándo, cómo y para qué se usan nuestros datos biométricos. Los ciudadanos también necesitamos garantías de que nuestras libertades civiles están siendo protegidas y que *el gran hermano no nos vigila*.

En resumen, el reconocimiento biométrico nos ha ayudado a resolver muchos problemas en diferentes ámbitos en los últimos años, desde la seguridad (por ejemplo, el paso de fronteras) hasta la comodidad (desbloqueo del teléfono móvil, pagos a través del móvil). Por mucho que haya avanzado la biométrica, aún quedan retos muy difíciles que superar. Ha sido mi privilegio trabajar en muchos de estos problemas y sigo afrontando con ilusión los desafíos que trae el futuro.

La investigación es un camino que exige paciencia, persistencia, y búsqueda. Me viene a la mente los enormes retos a los que se enfrentaba el explorador *Fernando de Magallanes* al dirigir la expedición española en busca de las Indias en el siglo XV, que dio lugar a la primera circunnavegación de la Tierra. Asimismo, los investigadores también necesitan descubrir *tierras ignotas*, izar su bandera y continuar viaje, para establecerse quizás en alguna tierra fértil y disfrutar del fruto de su labor. Dejan los terrenos menos fértiles a otros, y así se perpetúa su legado; en academia, a esto llamamos *¡la tasa de citación!*

Hace muchos años, escuchaba a un predicador que daba un discurso motivador a nuestros alumnos. Dijo:

La tortuga solo avanza si saca la cabeza y expone el cuello.

Algunas personas creen que *es importante tener suerte*. Richard Hamming, el inventor del código Hamming, la distancia Hamming, y la ventana Hamming, dijo:

¹⁴ https://www.youtube.com/watch?v=6vJ_o1H_wkC8

¹⁵ El derecho de una persona de controlar su acceso a sus datos personales.

La suerte favorece a la mente preparada.

También creo firmemente en lo que expresó el famoso músico de la década de los 1970, Frank Zappa:

Sin desviación de la norma, no es posible el progreso. Esto ahora se llama pensamiento "fuera de la caja".

He aprendido mucho y recibido el apoyo de mi familia, mis alumnos, y de mis colaboradores en todo el mundo, incluidos el Vice-Rector, Javier Ortega-García y el Profesor Julián Fierrez de *La Autónoma*. Su respaldo me ha dado fuerzas durante mi exploración que aún sigue su curso.

En mi opinión, no existe ningún problema que presente un reto mayor en cuanto al reconocimiento de patrones (inteligencia artificial o aprendizaje automatizado) que el reconocimiento de las huellas dactilares. Si la población mundial hoy se sitúa en unos 7,5 billones de habitantes, y si asumimos que cada persona tiene 10 dedos, tenemos un total de 75 billones de huellas dactilares que son, se supone, distintas. Por consiguiente, se trata de ¡la cuestión de los 75 billones! No solo esto, sino que con 15.000 niños nacidos cada hora, el problema de clasificación acaba de hacerse más complicado que cuando comenzamos esta ceremonia por la mañana.