

## ESTADO DEL ARTE: RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DEL IRIS HUMANO

### RESUMEN

Este artículo presenta una revisión de los desarrollos más notables en la tecnología de reconocimiento del iris humano, así como nuevas aproximaciones que buscan una mayor robustez del proceso con diferentes optimizaciones a través de técnicas computacionales y/o matemáticas. Se pretende brindar una visión completa pero sucinta de los avances logrados, así como futuros desarrollos que pueden aportar a la consolidación de esta tecnología biométrica.

**PALABRAS CLAVES:** clasificación, biometría, textura, imágenes digitales.

### ABSTRACT

*This article presents a review of the most remarkable developments in the human iris recognition technology, as well as new approaches intended to improve the process robustness using different optimizations through computational or mathematical techniques. It is sought to offer a complete and concise insight of the recent advances, as well as future developments that can contribute to the consolidation of this biometric technology.*

**KEYWORDS:** classification, biometrics, texture, digital images.

### 1. INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo reciente de la tecnología de la información y la necesidad por mayores estándares de seguridad, los sistemas inteligentes para la identificación y verificación de personas se han convertido en una herramienta muy útil y un campo de investigación muy interesante. Los métodos tradicionales (tarjetas, claves, etc.) han cedido espacio a la tecnología biométrica, que utiliza características fisiológicas para distinguir las personas. Una de ellas es la biometría basada en el patrón del iris, caracterizada por tener una alta estabilidad y poder de discriminación. [12].

Un atributo como la textura del iris es de gran utilidad debido a su carácter permanente e inalterable, presentando una alta variación entre clases y baja variación intraclase, lo cual le ha dado el estatus de uno de los métodos biométricos más confiables, porque se estima que la probabilidad de encontrar dos personas con un patrón de iris idéntico es casi nula [15].

### 2. ANTECEDENTES

#### 2.1. Desarrollo histórico

La primera utilización del iris se presentó en París, donde los criminales eran clasificados de acuerdo al color de sus ojos siguiendo la propuesta del oftalmólogo francés Alphonse Bertillon [14]. Después de investigar y documentar el uso potencial del iris como instrumento para identificar personas, los oftalmólogos Flom y Safir [10] patentaron su idea en 1987; y posteriormente, en 1989, patentaron los algoritmos respectivos junto con el

### JAIME LOPEZ CARVAJAL

Ingeniero Forestal, MSc Sistemas  
Profesor Cátedra  
Ingeniería Informática  
Politécnico Colombiano  
jaimelopez@elpoli.edu.co

### JAVIER GONZALEZ PATIÑO

Ingeniero Forestal, MSc.  
Geomorfología y Suelos  
Investigador Asociado  
Laboratorio de Sistemas Complejos  
Universidad Nacional de Colombia  
edgar12@epm.net.co

matemático John Daugman. A partir de allí, otros autores desarrollaron aproximaciones similares, tales como los trabajos de [15], [1] y [14] cuyos aportes se enuncian en la sección 3.

#### 2.2. Propiedades del iris

El iris es un órgano interno del ojo, localizado detrás de la córnea y el humor acuoso, que consiste de un tramado de tejidos conectivos, fibras, anillos y coloraciones que constituyen una huella distintiva de las personas al observarse a corta distancia (Figura 1). La textura del iris no tiene expresión genética y su morfogénesis es completamente aleatoria [13].

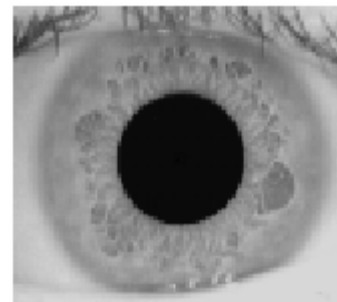


Figura 1. Iris humano (Tomado de [12])

Las propiedades del iris que potencian su utilización para la identificación de personas incluyen: a) irrepitibilidad en dos individuos, b) imposibilidad de modificarlo sin riesgo de perder la visión, c) es un patrón con alta aleatoriedad, y d) su facilidad de registro a corta distancia.

Pero también presenta algunas desventajas como son: a) su tamaño pequeño dificulta la adquisición a ciertas distancias, b) es un objetivo móvil, c) está ubicado en una superficie curva, húmeda y reflexiva, d) su imagen suele estar afectada por pestañas, párpados y reflejos de luz, y e) sus deformaciones no son elásticas cuando la pupila cambia de tamaño [13].

### 3. ETAPAS

Todas las propuestas existentes en la actualidad contienen cuatro etapas fundamentales a saber: a) captura de la imagen del iris, b) procesamiento de la imagen, c) extracción del patrón numérico identificador y d) discriminación y reconocimiento de patrones. En este sentido, la literatura es variada en relación a los métodos de localización del iris, las técnicas para la extracción de los patrones, la robustez frente a patrones borrosos (ruido) y la duración del procesamiento computacional, entre otros.

A continuación se describen las principales técnicas aplicadas en cada fase del proceso del reconocimiento del iris, resaltando los aportes más significativos y efectivos, así como las necesidades en futuros trabajos.

#### 3.1. Captura de las imágenes

La imagen del iris puede capturarse usando cámaras convencionales con luz dentro del rango visible e infrarrojo, y pueden ser de tipo manual o con procedimientos automáticos [10].

Algunos consideran que para capturar los patrones complejos del iris, las imágenes requieren un mínimo de 70 píxeles para un radio del iris de 11 mm, aunque generalmente se usan entre 100 y 140 píxeles, a una distancia de 15-46 cm por medio de cámaras CCD (480 x 640) con lentes de 330 mm. Daugman [4] propuso usar una cámara de video para guiar al usuario en la ubicación de los ojos dentro de un campo de visión determinado. A cada imagen se le tomó su componente de alta frecuencia en el espectro bidimensional de Fourier, para determinar cuáles superan un criterio de enfoque mínimo. Este requisito aseguraba imágenes de buena calidad, pero requería una mayor colaboración del usuario, y aumentaba el tiempo de captura.

En [15] se emplearon imágenes de 256 píxeles para el diámetro del iris, a una distancia de 20 cm, con lentes de 80 mm. Su sistema también utilizó una cámara de video, que capturaba varias imágenes, de las cuales se seleccionaba la que arrojaba el mayor contraste en el límite entre el iris y la esclerótica.

Se propuso un sistema en [1] que no requería que los iris estuvieran en una misma ubicación, con la finalidad de hacer más robusto el proceso frente a los ruidos causados por los destellos producidos por la iluminación.

En [9] también capturaron las imágenes con cámaras CCD, bajo diferentes condiciones de iluminación y niveles de ruido para cada persona, para cuantificar la influencia de estos factores en el proceso.

Por su parte, en [11] se reporta un sistema de captura de imágenes convencional, con miras a desarrollar un método robusto ante los ruidos, que permitiera procesar imágenes del iris que no fueran de excelente calidad.

Para esta fase de proceso, en el futuro se prevé la implementación de sistemas capaces de reconocer el rostro humano, localizar automáticamente el ojo y capturar la imagen del iris sin participación activa del usuario, lo cual permitirá una obtención más confiable de imágenes, al obtenerse mayor uniformidad en la distancia entre el ojo y la cara, así como para el brillo del iris; esto se debería dar para diferentes entornos sin incurrir en una duración mucho mayor del proceso [15].

#### 3.2. Localización del iris

Para la localización del iris se han propuesto diferentes aproximaciones, unas con mayor fundamento teórico y otras más empíricas, pero ambas con resultados muy satisfactorios.

Se aplicaron en [5] operadores integro-diferenciales para identificar bordes circulares en las imágenes, los cuales resultaron útiles para detectar los límites internos y externos del iris. Este método tuvo en cuenta la geometría del iris (forma circular) para encontrar su correcta ubicación, acompañado de una maximización de la derivada parcial con respecto al radio  $r$  que se incrementó progresivamente. Luego, se hizo una búsqueda más fina para localizar el borde de la pupila. Este método se aprovechó de las ventajas de las diferencias en el tono entre las partes involucradas.

En [15] se localizó el iris a través de operaciones de filtrado e histogramas simples. Primero se aisló el iris usando filtros Gaussianos de paso bajo seguidos de un submuestreo espacial. Posteriormente, la segmentación se ejecutó utilizando un procedimiento muy simple parecido a la transformada generalizada de Hough. En [1] utilizaron un filtrado de tipo diferencial (paso alto) con convoluciones Laplacianas o Gaussianas, que brindaba información de la variación fina de la intensidad en la imagen.

Se utilizó en [9] un método similar al [4] pero más eficiente, usando una estrategia de identificación del paso de una textura gruesa a fina en los bordes, para su proceso de búsqueda del contorno. Para hacer eso se aplicó reescalado de la imagen, filtrado y extracción del borde con un operador Canny, hasta conformar una imagen binaria; luego, se localizaron los bordes usando un operador integrodiferencial sobre los bordes gruesos hallados previamente. En [12] emplearon un método basado en un filtrado simple de detección de bordes y

transformada de Hough, que reportan como muy eficiente y confiable.

Otras aproximaciones interesantes para la localización del iris son las de [11] y [2]. Los primeros segmentaron todos los componentes del ojo (pupila, párpados, ojo) usando un método de estimación paramétrico, detectando los límites del iris con los valores de la distribución de intensidad de la imagen, la cual aparece como una mezcla de tres distribuciones Gaussianas (oscuro, intermedio y brillante), cuyos parámetros se estiman usando el algoritmo EM [11]. Por su parte, [2], utilizaron un algoritmo basado en la apariencia para la detección del iris, detectando primero la pupila, la cual se asume como más oscura que el iris (particularmente en ojos claros) y luego utilizando la SVM (Máquina de Soporte de Vectores) con 12 vectores que irradiaban desde el centro de la pupila, los cuales se ingresaban a una red RBF (Función de Base Radial), para aprobar o no la existencia del iris en la imagen. Posiblemente, este método podría no funcionar bien en ojos oscuros, donde la pupila no se diferencia mucho del iris.

### 3.3. Representación del patrón textural del iris

Para la codificación del patrón del iris, usualmente se realiza una conversión de la imagen del iris de coordenadas cartesianas a polares para facilitar la extracción de información, al pasar de una forma circular a una rectangular, tal como se observa en la Figura 2. A la nueva representación, la mayoría de los autores, aplican filtros multicanal de Gabor, Fourier o Wavelet, para extraer los coeficientes que finalmente conformaran el código del iris.

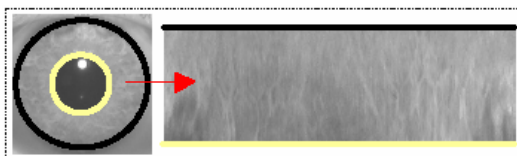


Figura 2. Transformación del iris a coordenadas cartesianas (Tomada de [14]).

Se codificaron las imágenes transformadas del iris en [4], después de la aplicación de los filtros bidimensionales de wavelets tipo Gabor y la posterior compactación de los coeficientes, donde los bits más significativos conformaron el código denominado IrisCode, con un tamaño de 256 bytes. Estos brindaron información de alta resolución sobre la orientación y frecuencia espacial de la estructura del iris.

Se consideró en [15] que la información distintiva se encuentra tanto en el área completa del iris, como en las áreas pequeñas, por lo cual se propuso una descomposición multiescala piramidal Laplaciana para representar las características distintivas espaciales del iris humano. En [1], por su parte, escogieron el centro de

la pupila como punto de referencia, y a partir de allí construyeron círculos concéntricos para extraer la información de cada franja circular del iris, utilizando los niveles de gris de las imágenes para obtener señales unidimensionales (1D) que se convirtieron en la firma del iris. Luego, calcularon la representación de cruces de ceros con base en la transformada Wavelet, cuyos coeficientes resultantes conformaron el patrón en el proceso de emparejamiento. De esta forma, el autor expone que su método está libre de la influencia de ruidos, debido a que los cruces de ceros no son afectados por estos. Por otro lado, las transformaciones unidimensionales arrojan un menor número de cruces, lo cual podría acelerar la velocidad del proceso. Un aspecto interesante de esta propuesta fue la habilidad de la transformada Wavelet para eliminar el efecto de los destellos producidos por la reflexión de la fuente de luz sobre la superficie del iris, aspecto que no había sido resuelto por anteriores propuestas.

Se usó una FFT (Transformada de Fourier) en [8] para la extracción de la información, aunque consideraron que la transformada Wavelet podría arrojar mejores resultados. Este utilizó una conversión en espiral logarítmica a intervalos de 50 píxeles, donde los picos que se observaron en las bandas más externas fueron producidos por los párpados (Figura 3).

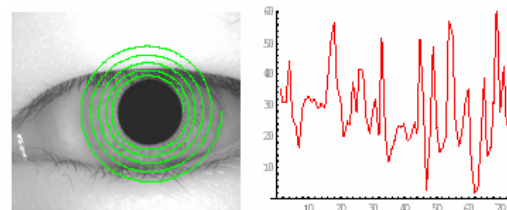


Figura 3. Método espiral-logarítmico para la conversión del sistema de referencia (Tomada de [8])

En [11], los autores consideraron que la información de alta frecuencia del iris era sensible a los ruidos, por lo cual usaron los componentes de baja frecuencia en dirección radial y los de frecuencia baja a media en dirección angular, permitiendo mayor robustez frente al ruido. En [9] utilizaron un método basado en ACI (Análisis de Componentes Independientes). Primero calcularon los componentes independientes para cada ventana de tamaño  $N$  en la representación rectangular del iris, luego estimaron los coeficientes para cada ventana, los cuantizaron y finalmente construyeron el código del iris con todos los coeficientes de cada ventana. También utilizaron un mecanismo de aprendizaje competitivo para determinar el centro de cada clase que puede almacenarse.

En [12] se reporta la utilización de un sistema de filtros bidimensionales de Gabor para representar la imagen del iris, con un total de 20 filtros localizados a diferentes frecuencias y direcciones, lo que produjo un total de 160

imágenes; a partir de éstas se extrajeron los atributos para conformar los vectores que representaban los respectivos iris, aplicando un método llamado ADD (desviación absoluta promedio).

### 3.4. Reconocimiento del iris

Para la fase del reconocimiento, frecuentemente dividida en identificación y/o autenticación del iris, se han propuesto diversas estrategias, que se describirán a continuación.

En [4] se convirtió la etapa de reconocimiento de patrones en una simple prueba estadística de independencia de muestras. Su método calculó la distancia Hamming de cada vector (IrisCode) con todos los demás, aplicando una operación XOR (es decir, concordancia bit a bit) entre dos códigos diferentes, indicando si son el mismo patrón o son diferentes. Su contribución final fue una prueba matemática que indicaba que el patrón del iris tenía suficientes grados de libertad, o formas de variación entre los iris de diferentes individuos, para asignarles la misma singularidad de una huella digital.

Mientras en [15] se utilizó una técnica de registro de imágenes para verificar la correspondencia entre ellas, buscando maximizar la similaridad de los valores de píxeles de la imagen de entrada y los datos, y también compensar la variabilidad producida por la escala, la rotación y los saltos en la imagen. Esta calculó el nivel de emparejamiento obtenido de la integración de las diferencias de píxel en todas las bandas de frecuencia disponibles, utilizando un discriminante lineal de Fischer.

Se elaboraron modelos del iris en [1] usando las mismas constantes de normalización, y con el número y localización de puntos de los cruces por cero, obteniendo de esta forma una medida de disimilaridad, escogiendo el iris que arrojase el valor mínimo como el patrón correcto.

Por su parte, en [12] se implementó un método de emparejamiento basado en el cálculo de la distancia Euclídea ponderada (DEP) entre los vectores correspondientes, utilizando un clasificador k-NN (k vecino más cercano), donde el patrón k que arrojase la mínima DEP, y que fuese menor que un umbral mínimo definido empíricamente, era el mejor. En [9] también usaron un método similar al de [12], sólo diferenciándose en la utilización de una distancia promedia.

En [11] utilizaron una medida de similaridad basada en los coeficientes de correlación cruzada normalizada entre las dos curvas simplificadas, reconstruidas a través de la interpolación entre un conjunto de puntos, utilizando un clasificador k-NN para llevar a cabo el reconocimiento. Se reportan en [14], [8], [10] y otros autores, la utilización del método de reconocimiento propuesto por Daugman basado en la prueba estadística sobre las

distancias de Hamming, por sus cualidades de precisión, rapidez y robustez. Aunque superar los resultados de Daugman es una tarea ardua, existen distintas aproximaciones cuyas prestaciones permiten vislumbrar desarrollos algorítmicos que podrían competir con este método, como son la combinación de clasificadores basados en redes neuronales, SVM y lógica difusa, entre otros.

### 4. COMPARACION

Las propuestas presentadas anteriormente poseen algunas similitudes y diferencias que cabe resaltar.

La propuesta [3], por ejemplo, ha reportado resultados muy concluyentes, tanto en precisión como en velocidad del proceso completo, lo que condujo a la implementación comercial del sistema; y al mismo tiempo, dio una idea de que el problema del reconocimiento de iris ya estaba totalmente resuelto, lo que presumiblemente ha desmotivado la investigación en su optimización. Sus resultados demostraron una excelente tasa de falsos rechazos (FR), y ninguna falsa aceptación (FA) de los patrones ensayados. Sin embargo, su aplicación práctica ha permitido conocer algunas debilidades, como son la sensibilidad de algunas personas ante la iluminación de ojo, y su respuesta ante imágenes de menor calidad.

Por su parte, la propuesta [15] no brindó resultados tan contundentes como los de [3], debido al tamaño pequeño de muestra empleado, lo cual dificultó su extrapolación. Además, el proceso completo tomó aproximadamente 10 segundos, lo cual es una desventaja grande frente a los 1.5 segundos de la propuesta [3] y lo convierte en poco viable para sistemas en tiempo real. En cuanto a la propuesta expuesta en [1], este buscó retomar las cualidades de ambos métodos, y mejorar el rendimiento del sistema completo. Para ello, intentó evitar que los iris no estuvieran forzados a estar en la misma ubicación en una imagen libre de destellos bajo condiciones fijas. También evaluó la tolerancia de su sistema a diferentes niveles de ruido, aunque no es concluyente, porque utilizó un número limitado de imágenes. Uno de los aportes más interesantes, fue su afirmación de que los niveles intermedios de los filtros de la transformada Wavelet contenían la mayor cantidad de energía.

Por su parte, en [12] obtuvieron resultados bastante alentadores, superiores al 86%, aunque su rendimiento dependió en gran medida del número de muestras de entrenamiento del sistema. Los resultados experimentales de [11] arrojaron un éxito del 100%, superando a otros métodos parecidos a los [15] y [3], pero que habría que corroborar en ambientes reales, y aspectos relacionados con la velocidad del proceso. En [15] obtuvieron tiempos de procesamiento comparables a los reportados en [5], y rendimientos del 97% en el proceso de reconocimiento.

Método	Fiabilidad %	Tiempo seg.	Desventajas
Daugman [5]	100	1.5	Requiere una imagen de alta calidad.
Boles <i>et al</i> [1]	99.4	-	Verificado sobre pocas imágenes
Kim <i>et al.</i> [11]	100	-	Requiere mejorar su velocidad de procesamiento
Ma <i>et al.</i> [12]	86	-	Requiere una fase de entrenamiento intensa
Tisse <i>et al</i> [14]	97	0.5	Muy sensible a las condiciones de la imagen
Wildes [15]	97	10	Su evaluación no ha sido muy extensa

Tabla 1. Características cuantitativas de los principales métodos propuestos en la literatura en identificación de iris humanos.

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La identificación del iris se ha catalogado como uno de los métodos más robustos para la identificación de humanos, dado su carácter único, su estructura física altamente diversa, su imposibilidad de modificación, su estabilidad en el tiempo y facilidad de registro; las cuales brindan suficientes grados de libertad para la obtención de un sistema de reconocimiento eficaz y preciso.

Todas estas propiedades han motivado diferentes implementaciones a nivel comercial, las cuales han logrado alta aceptación, por su rapidez, consistencia y efectividad.

Es importante resaltar el surgimiento de bases de imágenes de iris [7], porque permitirá la investigación y comparación de distintas técnicas y aproximaciones, dado que anteriormente la posibilidad de contar con un suficiente número de imágenes limitaba el desarrollo de estas. También, permitirá el intercambio de información sobre la biometría del iris, entre los diferentes grupos de investigación que existen en el mundo.

Aunque los resultados reportados por algunos autores son bastante concluyentes, queda lugar para la investigación de ciertos aspectos que se requieren mejorar u optimizar con miras a la masificación de su utilización, como son el alto costo del diseño y manufactura de tales sistemas, pero con el avance de la tecnología de la computación y la óptica, se prevé su consolidación como uno de los métodos biométricos más confiables.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] BOLES, W. y B. BOASHASH. A human identification technique using images of the iris and wavelet transform. IEEE Trans. Signal Proc. 4:1185-1188, 1998.

- [2] CUI, J.; Y. WANG, T. TAN y S. SUN. An appearance-based method for iris detection. National Laboratory of Pattern Recognition. Chinese Academy of Sciences. 2003
- [3] DAUGMAN, J.G. High confidence visual recognition of person by a test of statistical independence. IEEE TPAMI 15, 1148-1161 1993.
- [4] DAUGMAN, J.G. The importance of being random: statistical principles of iris recognition. Pattern Recognition 36,279-291 2003.
- [5] DAUGMAN, J.G. How iris recognition works. IEEE Trans. Circ. Syst. Video Tech. 14(1), 21-30 2004.
- [6] DAOUK, C.H.; L.A. EL-ESBER, F.D. Kommoun y M.A. Al-Alaoui. Iris recognition. IEEE ISSPIT. Marrakesh. 2002
- [7] CHINA ACADEMY OF SCIENCES. Iris Image Database. Institute of Automation (CASIA). <http://www.sinobiometrics.com/resources/>
- [8] GRECO, J.; KALLENBORN, D. y M. ENCHIVA. Statistical pattern recognition of the iris. 2003
- [9] HUANG, Y; LUO, S y E. CHEN. An efficient iris recognition system. Proceedings of the First International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Beijing, 4-5 Noviembre, 2002.
- [10] KHAW, P. Iris recognition technology for improved authentication. SANS Institute. 2002
- [11] KIM, J.; CHO, S.; CHOI, J. y R. MARKS. Iris recognition using Wavelets features. Journal of VLSI Signal Processing 38: 147-157. 2004
- [12] MA, L.; WANG y T. TAN. Iris recognition based on multichannel Gabor filtering. ACCV2002. 5th Asian Conference on Computer Vision, Enero 23-25, Melbourne, Australia. 2002.
- [13] MURON, A y J. POSPISIL. 2000. The human iris structure and its usages. Physica 39:89-95. Czech Republic
- [14] TISSE, C. ; MARTIN, L.; TORRES, L. y M. ROBERT. Person identification technique using human iris recognition. Universite de Montpellier. 2000.
- [15] WILDES, R.P. Automated iris recognition: An emerging biometric technology. Proceedings of the IEEE 85 1348-1363 1997.