

# Avances en el reconocimiento del iris: perspectivas y oportunidades en la investigación de algoritmos biométricos

Mireya Sarai García-Vázquez<sup>1</sup> y Alejandro Álvaro Ramírez-Acosta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN),  
Avenida del Parque No.1310, Tijuana, B.C. 22510  
México

<sup>2</sup> MIRAL. R&D, 1047 Palm Garden, Imperial Beach, 91932  
USA

mgarciav@citedi.mx, ramacos10@hotmail.com

**Resumen.** Los últimos seis años han sido testigos de importantes avances en la aplicación de sistemas biométricos usando el iris en los sistemas de seguridad civiles y militares. Lo fundamental de este progreso ha sido el desarrollo de nuevos algoritmos biométricos, capaces de producir una autenticación muy confiable de individuos sin tener interacción con éste. La mayoría de estos algoritmos biométricos incorporan el video-iris para representar mejor las propiedades espaciales y frecuenciales de la textura del iris, optimizando el desempeño de reconocimiento del iris. El objetivo de este artículo es proporcionar una visión general de las metodologías de reconocimiento del iris, haciendo énfasis en los algoritmos que forman parte de las recientes aplicaciones de reconocimiento del iris a distancia y en ambientes no controlados. Aunque el énfasis está en las nuevas tendencias, también se cubren las metodologías tradicionales de reconocimiento del iris. Finalmente se presenta una discusión de las oportunidades para la investigación futura.

**Palabras clave.** Reconocimiento del iris, biometría, video-iris, algoritmos de reconocimiento, reconocimiento a distancia, ambientes no controlados.

## Advances in Iris Recognition: Perspectives and Opportunities of Research in Biometric Algorithms

**Abstract.** The last six years witnessed important advances in applying iris based biometric systems

for military and civil security purposes. The fundamental aspect of this progress is the development of biometric algorithms able to produce high confidence personal identification without human interaction. The majority of such biometric algorithms use iris video as a better representation of special properties and features of the iris texture thus optimizing its recognition process. The goal of this paper is to present a general overview of iris recognition methods with particular emphasis on the algorithms used in recent applications for distant iris recognition as well as iris recognition in uncontrolled environments. Though special attention is given to the latest tendencies, traditional iris recognition methods are also described. Finally, some future research opportunities are discussed.

**Keywords.** Iris recognition, biometrics, iris video, recognition algorithms, distant recognition, uncontrolled environments.

## 1 Introducción

La idea de utilizar al iris como una medida biométrica no es reciente, nace hace más de un siglo con Alphonse Bertillon (1885) [1], quien establece un método de clasificación racional de datos recogidos de una persona para poder ser identificada, ya que las medidas humanas obedecen a una ley natural de distribución estadística. Dentro del esquema de la descripción morfológica de la persona, Bertillon observa para el ojo su aspecto y la información del color del

iris; las informaciones tomadas son codificadas según sus escalas. Sin embargo, los primeros en obtener una patente por trabajos sobre estudios del iris como medida potencial de identidad, fueron los oftalmólogos Leonard Flom y Aran Safir en 1987 [2]. Posteriormente, el Dr. John Daugman [3] desarrolla en 1993 los métodos matemáticos y las técnicas necesarias para codificar e identificar el iris humano de manera eficiente y finalmente, patentar dichos trabajos en 1994 [4].

Actualmente y después de 25 años del desarrollo de la primera patente, el reconocimiento de individuos a través del iris es considerado el proceso más fiable y efectivo; dado que muestra las tasas más altas de precisión en comparación con otros métodos biométricos conocidos, como el reconocimiento de huellas dactilares, del rostro y de manos [5, 6, 7]. Esta característica de gran fiabilidad se debe principalmente al carácter único del iris, su rica textura (única para cada persona), la dificultad a ser modificado, su estabilidad en el tiempo y facilidad de registro. Es por ello que a medida que pasa el tiempo, cada vez más empresas/industrias, academia, gobierno y personas interesadas en protegerse o proteger sus pertenencias, utilizan la seguridad a través del reconocimiento del iris. Aún más, de acuerdo a las predicciones presentadas por la compañía *Acuity Market Intelligence* en el informe de investigación sobre la industria de la biometría, sus previsiones, su dinámica del mercado y sus tecnologías asociadas [8], se considera que dentro de los siguientes 5 años, esta modalidad biométrica será la más importante.

Efectivamente, el reconocimiento del iris tiene un futuro brillante, por esta razón, existe una gran variedad de trabajos y productos comerciales que se basan en el reconocimiento del iris. Dentro de este contexto, es importante señalar que la mayoría de los productos actuales se han desarrollado en base a la patente del algoritmo de reconocimiento implementado por el Dr. John Daugman [4] en 1994. Estos productos se han adaptado a las demandas del mercado actual principalmente en sistemas de control de acceso; gracias a las investigaciones desarrolladas por los grupos de investigación quienes han agregado etapas, modificaciones y

optimizaciones al sistema inicial del Dr. John Daugman.

Si bien es cierto que el reconocimiento del iris representa una tecnología con un gran potencial, también es cierto que para consolidar dicha tecnología biométrica a nivel mundial, se requieren grandes esfuerzos. Éstos deben ser dirigidos hacia dos vertientes, una hacia el desarrollo de sistemas inteligentes de adquisición del iris que permitan una menor interacción con el usuario y la otra, hacia el desarrollo de algoritmos de reconocimiento, que mejoren las técnicas computacionales y/o matemáticas.

Dentro del marco de las necesidades expuestas en el párrafo anterior, el objetivo de este artículo se divide en dos partes. Por una parte exponer el estado actual y las tendencias de vanguardia en el proceso de adquisición del iris, así como presentar los algoritmos de reconocimiento del iris, entendidos como dos etapas fundamentales de un sistema de reconocimiento del iris. Por otra parte, abordar la temática de los estándares específicos para esta medida biométrica, como una herramienta estratégica para el desarrollo comercial y empresarial que permite la comparación y evaluación eficaz en diversas tecnologías. Bajo esta perspectiva, este artículo está dividido de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta un panorama del sistema de reconocimiento del iris. En la sección 3, se expone el tema sobre la tendencia actual en lo referente a las investigaciones sobre la adquisición del iris a distancia; en la sección 4 se describen las tecnologías de vanguardia del reconocimiento del iris utilizando el video-iris. Posteriormente, en la sección 5 se comenta la importancia de los estándares dentro del marco del reconocimiento del iris. Finalmente en la sección 6 se presentan las conclusiones y una discusión de las oportunidades para la investigación futura.

## 2 Estado actual del sistema de reconocimiento del iris

Durante un periodo aproximado de casi 25 años, un vasto número de algoritmos de reconocimiento del iris han sido desarrollados [9,10, 11, 12,13]. No obstante, el enfoque teórico

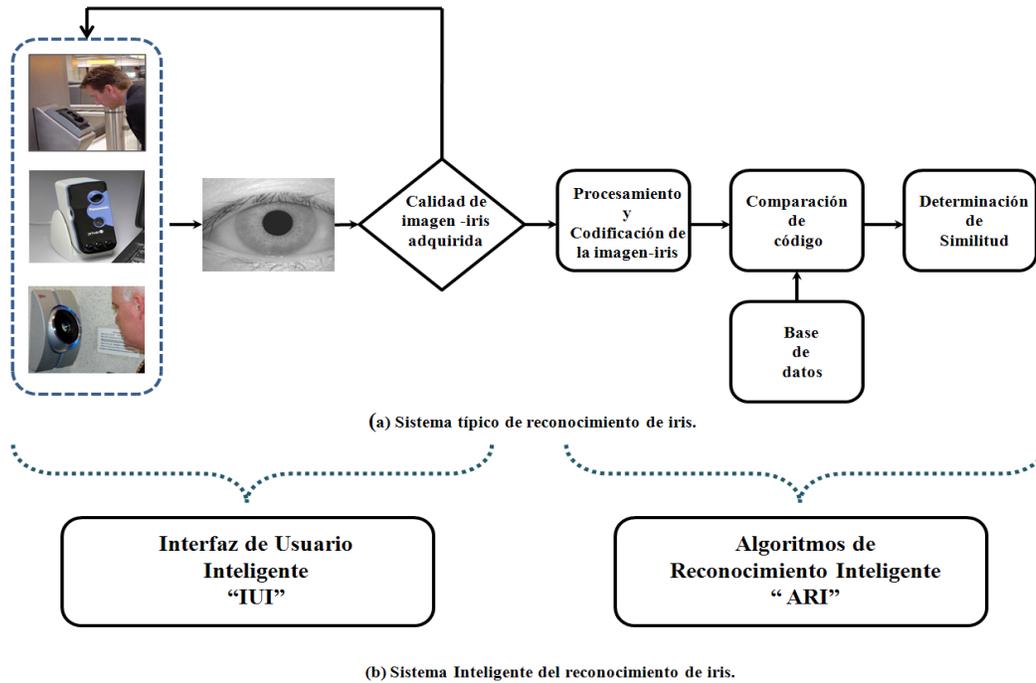


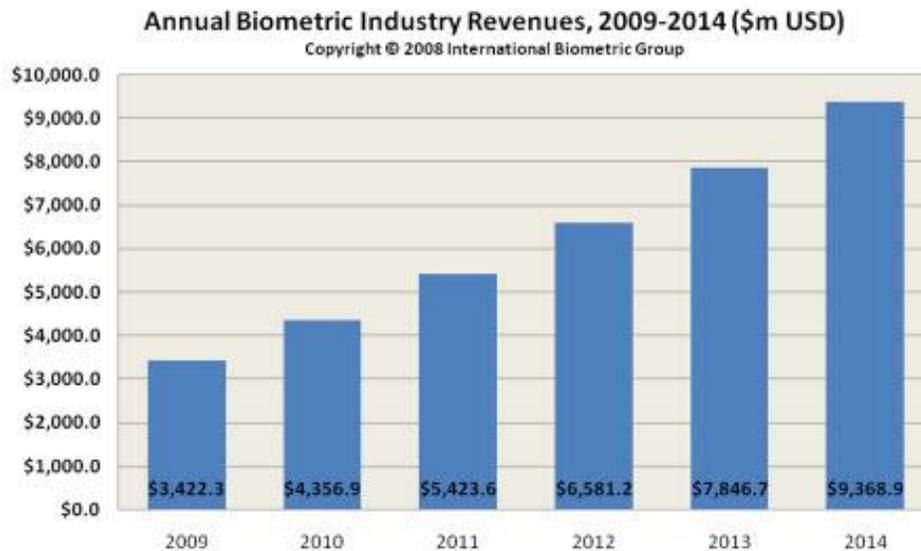
Fig. 1 .a) Sistema típico de reconocimiento del iris b) Sistema Inteligente del reconocimiento del iris

más reconocido hasta el momento, como se mencionó en la sección de introducción, ha sido el propuesto por el Dr. John Daugman (1993) [3], donde el autor reportó tasas de error cercanas a cero en el reconocimiento del iris.

El sistema típico de reconocimiento del iris (ver figura 1a), que agrupa las diferentes investigaciones en torno a esta medida biométrica, que tanto el Dr. John Daugman y otros investigadores emplean, se basa fundamentalmente en la adquisición y el procesamiento de una sola imagen para realizar el reconocimiento del iris; a este tipo de sistemas bajo esta forma de operación se les etiqueta como sistemas de reconocimiento del iris con imagen fija. Tales sistemas operan de la siguiente manera: Primeramente, la utilización de cámaras tipo infrarrojo para obtener imágenes fijas del ojo con alta resolución; para esto los sistemas requieren de ambientes extremadamente controlados tales como: poca distancia entre el usuario-cámara (aprox. 5-20cm), buena iluminación, usuario fijo (sin movimiento), cooperación del usuario e indicadores que

orientan la posición del usuario. Después, con el apoyo de operadores humanos y/o algoritmos de procesamiento de imágenes, se verifica la calidad de la imagen del iris. Si la calidad es inaceptable, la imagen es rechazada y la adquisición es repetida. La imagen es procesada para eliminar las regiones de ruido (ej. reflexiones, oclusiones, desenfoco, etc.), conservando el área que tiene la información útil para el sistema. La información más discriminadora se extrae y se codifica para construir la plantilla biométrica digital del iris que contiene la información biométrica del individuo para su identificación. Finalmente, la plantilla biométrica digital de la base de datos es comparada con otra plantilla biométrica digital de entrada para calcular la diferencia entre ellas. Basado en el grado de diferencia, la identificación de la persona es aceptada o rechazada.

En el reporte realizado por el Dr. John Daugman [14] se señala que, desde el año 2002 se han estado utilizando en entornos que requieren alta seguridad, los sistemas convencionales de reconocimiento biométrico basados en el iris con ambientes muy



**Fig. 2.** Ingresos globales reportados y estimados por empresas involucradas en el desarrollo de sistemas biométricos

controlados; específicamente en aeropuertos internacionales. Así, el interés tan marcado en los sistemas de reconocimiento biométrico se refleja en el incremento que han experimentado las ganancias reportadas por empresas involucradas en el desarrollo de este tipo de sistemas como se muestra en la figura 2.

Con su atractiva fuerza económica, los sistemas de reconocimiento biométrico basados en el iris experimentan un fuerte crecimiento dinámico, al punto de estar ahora confrontados al problema de ser empleados en ambientes no controlados. Sabemos que, el llevar a cabo un reconocimiento óptimo con sistemas de reconocimiento biométrico basados en el iris para ambientes controlados se requiere, además de las especificaciones para el ambiente controlado, de operadores capacitados y de la disponibilidad de la persona. Por lo anterior, algunos países han llevado a cabo estudios y encuestas para ver el nivel de aceptación y manejo de los sistemas de reconocimiento biométrico por los ciudadanos, para poder establecer la estrategia y el tipo de sistema biométrico a usar para su seguridad nacional. México, ha reformado sus leyes para incluir una cedula de identificación personal que contenga la información biométrica del iris. Se ha

comenzado desde el año 2011 el proceso del registro de menores de edad y se continuará en años posteriores con los adultos. El periódico inglés *The Telegraph* [15], menciona que el costo de este proceso será de aproximadamente \$25 millones de dólares y se activará para los adultos mexicanos a partir del año 2013.

El esquema presentado y que se describe también en la literatura [11, 12, 13, 16,17, 18 ], se puede asociar en dos etapas (ver figura 1b). La primera etapa que denominaremos “interfaz de usuario inteligente” (IUI), ésta considera la adquisición de imágenes del iris de manera inteligente. La segunda etapa que denominaremos “algoritmos de reconocimiento inteligente” (ARI), ésta agrupa los algoritmos necesarios que permiten realizar el reconocimiento del iris de manera efectiva.

En cada una de estas etapas, existen nichos de investigación que permiten de manera importante, hacer al sistema de reconocimiento del iris más fiable y verdaderamente inteligente y automatizado. Por ejemplo, en la etapa IUI, el capturar las imágenes del iris con menos condiciones controladas, es un problema abierto y diferentes investigaciones están dando respuesta a éste, permitiendo tener sistemas más

flexibles, eficientes, adaptativos e inteligentes. Es por ello que en la sección 3 se expone el tema sobre la tendencia actual en lo referente a las investigaciones sobre el reconocimiento del iris a distancia.

En la etapa ARI, la utilización del video (secuencia de imágenes) del iris, podría ayudar a mejorar la información necesaria para realizar el reconocimiento del iris. La sección 4 describe las tecnologías de vanguardia del reconocimiento del iris utilizando la información del video-iris.

### 3 Reconocimiento del iris a distancia

En la etapa IUI, varios temas de investigación que se encuentran activos, se relacionan con el deseo de hacer sistemas de reconocimiento del iris con menos condiciones controladas. Es decir, el sistema de adquisición de la imagen del iris debe eliminar las limitaciones sobre la distancia, la iluminación, la posición y el movimiento de los usuarios; ya que si bien es cierto, la mayoría de los sistemas actuales [19, 20,21,22] no requieren contacto con el usuario y adquieren las imágenes del iris a cierta distancia (26-36cm), estos sistemas sí solicitan a la persona que coopere activamente con ellos, como por ejemplo permanecer inmóvil, posicionarse a una distancia para que la cámara pueda capturar de manera óptima la imagen del ojo (algunas decenas de centímetros), seguir instrucciones de indicadores de sonido o indicadores de luz para guiar sus movimientos, etc. Estas restricciones son vividas por los usuarios como situaciones incómodas o invasivas, generando un rechazo a la puesta en operación de sistemas de este tipo, limitando o poniendo en desventaja a la tecnología del reconocimiento del iris para su masificación. Así pues, y con el objetivo de eliminar este tipo de problemas, recientemente ha habido un avance importante en sistemas que adquieren la imagen del iris de manera automatizada y a una distancia entre los 75cm a los 3mts. Como referencia de estos casos, podemos citar los sistemas de AOptix [23], de Sarnoff [24], de Mitsubishi [25] y de la Universidad de Yonsei Seoul Korea [26, 27] que utilizan una o dos cámaras de gran ángulo para tomar el rostro del sujeto y otra cámara de ángulo estrecho de alta resolución (más de 4

mega píxeles) para capturar la imagen del iris. La cámara del iris se fija a una unidad de control de "tilt-pan" (barrido plano vertical-barrido plano horizontal) que permite girar e inclinarse de tal manera que pueda capturar la región de los ojos. Además de esta configuración de cámaras, existe otro planteamiento propuesto por la Corporación Sarnoff quien ha desarrollado el sistema "Iris on the move" (IOM) o "Iris en movimiento" [28]. En esta configuración se utiliza una matriz formada por cámaras de alta resolución (2048x2048 píxeles, 15 cuadros por segundo) en lugar de cámaras móviles. Así, cuando las personas caminen a través de un pórtico, el cual está equipado con lámparas de iluminación, los ojos de la persona, serán adquiridos por una de las cámaras de inmediato. Este sistema puede reconocer a un individuo a una distancia de 1.5 metros, que camina a una velocidad normal (1 mts/s), resolviendo problemas que los otros sistemas evitan generalmente: el movimiento del ojo, los lentes ó lentes de contacto, la actitud no cooperativa. El sistema también debe tomar en cuenta, otras variaciones, como lo es la velocidad al caminar, o el tamaño de los individuos. Por último, el algoritmo de reconocimiento opera sobre imágenes de calidad menor a las obtenidas sobre una adquisición restringida (ambiente muy controlado). Los primeros resultados publicados en 2006 de este sistema muestran una tasa de falsa identificación del 22% sobre una base de 119 personas [28]. Un estudio más detallado sobre las causas de los errores, ha mostrado que las falsas identificaciones son debidas al hecho de que las personas fijan su vista hacia abajo o cerraban los ojos con el objetivo de que el sistema errara. El portar lentes parece ser un reto importante dentro del estudio [28]. En este sistema, la única restricción proviene de pasar por un pórtico tipo detección de objetos metálicos dentro de condiciones similares a las de un aeropuerto. Este producto se desarrolló para aplicaciones de identificación en entradas sensibles (aeropuertos, etc.) y no para aplicaciones de tipo video-vigilancia donde la adquisición es hecha sin el conocimiento de la persona. La versión mejorada del sistema IOM ahora puede reconocer a un individuo a una distancia de 3 metros [29].

Como se ha comentado en esta sección, la etapa IUI ha logrado ciertos avances para lograr efectividad, eficiencia e inteligencia. La utilización de cámaras ha evolucionado de ser fijas a incorporarles una unidad de control de movimiento, de tener una óptica de corto rango a largo alcance. La posición y restricciones de movimiento del usuario empiezan a reducirse. Sin embargo, es importante señalar que al día de hoy, solo algunos sistemas como los mencionados, presentan algunas de estas características; permaneciendo aún en el mercado los sistemas de adquisición del iris restringido (ambiente muy controlado).

Así pues, partiendo de la necesidad que reviste el masificar el sistema de reconocimiento del iris, la tendencia tecnológica en la etapa IUI se vislumbra como una etapa de grandes retos. El sistema de adquisición debe adquirir no solamente a una persona sino a un grupo de sujetos sin ninguna restricción en cuanto a localización, orientación y movimiento en un ambiente abierto.

Además, las cámaras utilizadas en la adquisición deben trabajar en red de manera colaborativa e inteligente. El futuro del sistema de reconocimiento del iris no solamente se seguirá centrando en la identificación personal con el consentimiento legal del usuario, sino que se pretende que sea líder en sistemas de video-vigilancia de seguridad nacional, donde los sujetos se localizan en diferentes ambientes (avenidas, metros, plazas comerciales, etc) y no se les obliga a alinearse para pasar por un pórtico de reconocimiento de uno en uno.

#### **4 Reconocimiento del iris utilizando video-iris**

Como se ha expuesto en la introducción, el campo de reconocimiento del iris es un área de investigación muy activa y de rápida expansión. Actualmente, en la etapa de ARI (algoritmos de reconocimiento inteligente), se estudian los principales aspectos:

- Lograr una mayor robustez en la localización de la región del iris, la normalización y la función de representación [16, 30, 31, 32, 33].

- Mejorar el reconocimiento para personas que llevan gafas o lentes de contacto [28, 34].
- Combinar varias imágenes [35, 36, 37].
- Usar múltiples datos biométricos (por ejemplo, la cara y el reconocimiento del iris) para mejorar el desempeño [38, 39, 40].
- Hacer más eficiente los algoritmos de comparación; ya que éstos se vuelven cada vez más importantes en tanto que los datos biométricos del iris se utilicen como sistema de reconocimiento y se distribuyan en grandes poblaciones [41].

Naturalmente, todos los puntos anteriormente expuestos y analizados por los investigadores, tienen como objetivo hacer del reconocimiento del iris un sistema más flexible, más rápido y más fiable. El aspecto que se está explotando actualmente con mayor interés por los investigadores, es el tema relacionado a cómo utilizar la información disponible en videos del iris (video-iris) para cada una de las etapas del sistema de reconocimiento, de tal manera que se involucren los aspectos principales.

La base de inspiración para involucrar la información del video-iris en el sistema de reconocimiento del iris, viene de los trabajos relacionados con el reconocimiento de rostros; donde se ha constatado que tomar en cuenta varias imágenes mejora el rendimiento de dicho proceso [35-38]. Por lo que bajo esta premisa, se intuye que el emplear técnicas similares para el reconocimiento del iris, podría producir de manera semejante, un mejor rendimiento. Por ejemplo, si se tiene una sola imagen de mala calidad, entonces no se puede tener un alto grado de confianza en el resultado de verificación, de identificación o de decisión. En cambio, si se cuenta con un video del iris, un brillo especular en un marco, es muy probable que no esté presente en el próximo marco del video. Además, la oclusión debida al pestañeo en el ojo, no es constante a lo largo de todos los marcos de la secuencia del video-iris; por lo que indudablemente, es posible obtener una mejor imagen mediante el uso de varios marcos de un video para crear una sola imagen del iris que tenga el menos ruido posible (pestañas, reflexiones, pupilas, párpados) y por lo tanto, una

imagen con mayor información de contenido de la región del iris.

Las investigaciones alrededor del manejo de la información del video-iris en los sistemas de reconocimiento, las podemos dividir en dos grandes líneas: fusión de promedios y fusión de señal. La fusión de promedios, se refiere a realizar para cada imagen del video el procesamiento de reconocimiento y a los valores obtenidos de similitud (etapa de comparación) fusionarlos y promediarlos. Esta manera de usar la información ha generado diferentes propuestas por los grupos de investigación, algunos de estos trabajan la fusión de promedios en la etapa de calidad de imagen, otros en la etapa de procesamiento y otros en la etapa de codificación. La fusión de señal, se refiere a realizar para cada imagen del video un análisis de la información relevante de la región del iris y explotarla para producir una mejor imagen. Esta manera de usar la información también ha generado diferentes propuestas por los grupos de investigación, algunos de estos trabajan la fusión de señal en la etapa de calidad de imagen, otros en la etapa de procesamiento y otros en la etapa de codificación.

Así pues, y como se manifiesta en la sección dos, el futuro del sistema del reconocimiento del iris se centrará en la identificación personal así como en sistemas de video-vigilancia; por lo que el emplear el video-iris puede proporcionar información conveniente sobre la textura del iris y una eficiencia en el tiempo tanto en la adquisición de diferentes imágenes del iris en un instante, como en el manejo de grupo de personas dentro de ambientes menos restringidos.

## 5 Perspectiva de los estándares en el marco del reconocimiento del iris

La aparición de un número importante de estándares en la biometría, es el reflejo del creciente interés industrial por este ámbito tecnológico. Estas normas persiguen entre sus objetivos, garantizar el marco imprescindible de uniformidad para el análisis comparativo de los nuevos productos que desarrollen las diferentes empresas y/o centros de investigación. Además, es de gran interés industrial y normativo, el

proporcionar una interfaz de software común que permita la comunicación y el intercambio de plantillas biométricas digitales de múltiples fuentes.

De manera específica, los estándares que rigen actualmente el área de reconocimiento del iris existen por una parte, en Estados Unidos a través del ANSI/INCITS (*American National Standards Institute/International Committee for Information Technology*) [42] y por otra, a escala internacional por medio de ISO/IEC (*International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission*) [43]. Por la parte americana, el estándar permite un formato de intercambio de datos del iris (ANSI/INCITS 379-2004). Referente al estándar internacional, éste admite la permuta de datos biométricos (ISO/IEC 19794-6: 2005) siendo la parte 6, el intercambio de datos de la imagen del iris. Ambos estándares indican a los fabricantes de esta tecnología biométrica cómo dar formato a los datos de sus sistemas o cómo interpretar los datos que entran a sus sistemas. También definen, en el caso del iris, dos formatos de datos para representar una imagen del iris. El primero utiliza un formato rectilíneo en donde la imagen puede ser, de acuerdo a lo estipulado en el estándar del Sistema de Codificación de Imagen "ISO/IEC 15444: JPEG 2000" [44], cruda o comprimida. Por su parte, el segundo formato utiliza una especificación polar de la imagen indicando los pasos previos específicos a realizarse (pre-procesamiento y de segmentación de la imagen) para obtener solamente la información de la región del iris. Este segundo formato, es pues, mucho más compacto que el primer formato.

Estos estándares también definen las estructuras y los encabezados de datos para apoyar en el almacenaje de la información y en el intercambio de la información, proporcionando interoperabilidad entre proveedores.

El estado actual de la tecnología permite solamente interoperabilidad a través de la transmisión de la imagen del iris completo; por lo que requiere un almacenaje con exceso de datos y un ancho de banda importante, introduciendo fuentes de errores adicionales a través de procesos de transmisión de datos muy grandes. Las organizaciones nacionales e internacionales de estándares están trabajando para continuar la

progresión de los estándares en una dirección, para facilitar el crecimiento y la interoperabilidad.

## 6 Conclusiones

En este artículo se ha mostrado y analizado el estado actual, así como las tendencias, en la tecnología de reconocimiento del iris humano, que hoy en día están permitiendo su consolidación y confluyendo en áreas de investigación. Esta reseña evidencia la necesidad de realizar esfuerzos importantes en cuanto a investigación e implementación para desarrollar sistemas de reconocimiento del iris más fiables, verdaderamente inteligentes, automatizados y que operen en ambientes no controlados. La explotación de información con el video-iris es un tema activo de investigación que pretende mejorar la calidad de los sistemas de reconocimiento del iris. Los sistemas de adquisición deberán adquirir no solamente a una persona sino a un grupo de sujetos, sin ninguna restricción en cuanto a localización, orientación y movimiento en un ambiente abierto. Además, las cámaras utilizadas en la adquisición deben trabajar en red de manera colaborativa e inteligente. El futuro del sistema de reconocimiento del iris no solamente se seguirá centrando en la identificación personal con el consentimiento legal del usuario, sino que se pretende que sea líder en sistemas de video-vigilancia de seguridad nacional, donde los sujetos se localizan en diferentes ambientes y no se les obliga a alinearse para pasar por un pórtico de reconocimiento de uno en uno. Finalmente, la masificación del sistema de reconocimiento del iris, no se puede dar sin la herramienta estratégica que permite la interoperabilidad de sistemas, los estándares, es por ello que en esta reseña se mencionaron las principales organizaciones que trabajan en la evolución de dichos estándares.

## Agradecimiento

Esta investigación fue auspiciada por el proyecto SIP2012 del IPN.

## Referencias

1. **Bertillon, M.A. (1885).** Anthropologie, La couleur de l'iris. *Revue scientifique*, (SER3,A22,T10), 65–73.
2. **Flom L., Safir A.** Iris Recognitions System. U.S. Patent, No. 4,641,349, 1987. <http://www.google.com/patents/US4641349>
3. **Daugman, J.G. (1993).** High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(11), 1148–1161.
4. *Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis.* United States Patent 5291560, 1994.
5. **International Biometric Group (2008).** The Biometrics Market and Industry Report 2009-2014.
6. **Yun, Y.W. (s.f.).** The '123' of Biometric Technology. Retrieved from <http://www.cp.su.ac.th/~rawitat/teaching/forensicit06/coursefiles/files/biometric.pdf>
7. **Xueyan, L. & Shuxu, G. (2008).** The Fourth Biometric - Vein Recognition. In Peng-Yeng Yin (Ed.), *Pattern Recognition Techniques, Technology and Applications*, (537–546), InTech.
8. **Acuity Market Intelligence. (2009).** The Future of Biometrics Market Analysis, Segmentation & Forecasts.
9. **Luis-García, R., Alberola-López, C., Aghzout, O., & Ruiz-Alzola, J. (2003).** Biometric identification systems. *Signal Processing*, 83(12), 2539–2557.
10. **Tisse, C.-L. (2003).** *Contribution à la vérification biométrique de personnes par reconnaissance de l'iris.* Thèse doctorat, Université des sciences et techniques de Montpellier 2, Montpellier, France.
11. **Daugman, J. (2004).** How iris recognition works. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 21–30.
12. **Wildes, R. (2004).** Iris recognition. In James L. Wayman, Anil K. Jain, Davide Maltoni, Dario Maio (Eds.), *Biometric Systems: Technology, Design and Performance Evaluation* (63–95), London: Springer-Verlag.
13. **Bowyer, K.W., Hollingsworth, K., & Flynn, P.J. (2008).** Image Understanding for Iris Biometrics: A Survey. *Computer Vision and Image Understanding*, 110(2), 281–307.
14. **Daugman, J. (2009).** Iris Recognition at Airports and Border-Crossings. *Encyclopedia of Biometrics* (819–825), USA: Springer.
15. **The Telegraph. (2011, 21 January).** Mexico to become first country to use iris scans on ID cards. Retrieved from <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/centralamericaandthecaribbean/mexico/8275086/Mexico-to->

- become-first-country-to-use-iris-scans-on-ID-cards.html
16. **Ganeshan, B., Theckedath, D., Young, R., & Chatwin, C. (2006).** Biometric iris recognition system using a fast and robust iris localization and alignment procedure. *Optics and Lasers in Engineering*, 44(1), 1–24.
  17. **Zhu, Y., Tan, T., & Wang, Y. (2000).** Biometric Personal Identification Based on Iris Patterns. *15th International Conference on Pattern Recognition*, Barcelona, Spain, 801–804.
  18. **Vartiainen, J. (2009).** Iris Recognition Systems and methods. Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finland.
  19. **Iris ID Systems, Inc. (2012).** IrisAccess7000, systems. Retrieved from <http://www.irisid.com/irisaccess7000>.
  20. **MorphoTrust USA (s.f.).** Iris Solutions. Retrieved from <http://www.morphotrust.com/pages/118-iris>.
  21. **Oki Electric Industry Co., Ltd. (2012).** IRISPASS. Retrieved from <http://www.oki.com/en/iris/>
  22. **Smart Sensors Ltd. (s.f.).** Iris Station 2000. Retrieved from <http://www.smartsensors.co.uk/information/iris-station%C2%AE-2000/>
  23. **AOptix Technologies, Inc. (2012).** The Aoptix InSight System. Retrieved from <http://www.aoptix.com/identity/insight-product-family>
  24. **Fully automated iris recognition system utilizing wide and narrow field of view.** US patent 6,714,665 B1, 2004.
  25. **Guo, G., Jones, M., Beardsley, P. (2005).** A System for Automatic Iris Capturing. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.60.7271&rep=rep1&type=pdf>
  26. **Yoon, S., Jung, H.G., Suhr, J.K., & Kim, J. (2007).** Non-intrusive Iris Image Capturing System Using Light Stripe Projection and Pan-Tilt-Zoom Camera. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'07)*, Minneapolis, MN, USA, 1–7.
  27. **Yoon, S., Jung, H.G., Park, K.R., & Kim, J. (2009).** Nonintrusive Iris Image Acquisition System Based on a Pan-Tilt-Zoom Camera and Light Stripe Projection. *Optical Engineering*, 48(3), 037202-037202-15.
  28. **Matey, J.R., Naroditsky, O., Hanna, K., Kolczynski, R., Lolocono, D.J., Mangru, S., Tinker, M., Zappia, T.M., & Zhao, W.Y. (2006).** Iris on the Move: Acquisition of Images for Iris Recognition in Less Constrained Environments. *Proceedings of the IEEE*, 94(11), 1936–1947. (2006).
  29. **SRI International. (2012).** Iris on the Move Biometric Identification Systems. Retrieved from <http://www.sri.com/engage/products-solutions/iris-move-biometric-identification-systems>
  30. **Fancourt, C., Bogoni, L., Hanna, K., Guo, Y., Wildes, R., Takahashi, N., & Jain, U. (2005).** Iris recognition at a distance. *Audio and Video-Based Biometric Person Authentication. Lecture Notes in Computer Science*, 3546, 187–200.
  31. **Matey, J., Ackerman, D., Bergen, J., & Tinker, M. (2008).** Images for Iris Recognition in Less Constrained Environments, *Advances in Biometrics*, 1, 107-131,
  32. **Daugman, J. (2007).** New Methods in Iris Recognition. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B: Cybernetics*, 37(5), 1167–1175.
  33. **Huang, Y.P., Luo, S.W., & Chen, E.Y. (2002).** An efficient iris recognition system. *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Beijing, China, 450–454.
  34. **Park, K.R. & Kim, J. (2005).** A real-time focusing algorithm for iris recognition camera. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 35(3), 441–444.
  35. **Ma, L., Tan, T., Wang, Y., & Zhang, D. (2004).** Efficient iris recognition by characterizing key local variations. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(6), 739–750.
  36. **Krichen, E., Allano, L., Garcia-Salicetti, S., & Dorizzi, B. (2005).** Specific texture analysis for iris recognition. *Audio and Video Based Biometric Person Authentication, Lecture Notes in Computer Science*, 3546, 23–30.
  37. **Schmid, N.A., Ketkar, M.V., Singh, H., & Cukic, B. (2006).** Performance analysis of iris-based identification system at the matching scores level. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 1(2), 154–168.
  38. **Bowyer, K.W., Chang, K.I., Yan, P., Flynn, P.J., Hansley, E., & Sarkar, S. (2006).** Multi-modal biometrics: an overview. *Second Workshop on Multi-Modal User Authentication*, Toulouse, France.
  39. **Chang, K.I., Bowyer, K.W., & Flynn, P.J. (2005).** An evaluation of multimodal 2D+3D faces biometrics. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(4), 619–624.
  40. **Phillips, P.J., Flynn, P.J., Scruggs, T., Bowyer, K.W., & Worek, W. (2006).** Preliminary Face Recognition Grand Challenge results. 7<sup>th</sup> *International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, Southampton, United Kingdom, 15–24.
  41. **Goldstein, J., Angeletti R., Holzbach, M., Konrad, D., & Snijder, M. (2008).** Large scale Biometrics Deployment in Europe: Identifying Challenges and Threats. JRC Scientific and Technical Reports
  42. **Iris Image Interchange Format.** ANSI INCITS 379-2004

43. *Information Technology - Biometric data interchange formats - Part 6: Iris Image Data*. ISO/IEC 19794-6:2005
44. **JPEG, JBIG. (2007)**. The official site of the Joint Photographic Experts Group (JPEG) and Joint Bi-level Image experts Group (JBIG). Retrieved from <http://www.jpeg.org/>



**Mireya Sarai García-Vázquez**, recibió el grado de Doctor en Señales y Telecomunicaciones en 2004 por la Universidad de Rennes I, en Francia. Ella realizó en 2005 un

postdoctorado en una empresa de base tecnológica en la incubadora de empresas de la ENST-Bretagne, en Brest, Francia. Ella es actualmente Directora e investigadora del Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI) perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, en Tijuana BC. Sus intereses de investigación son: técnicas de cancelamiento de error, reconocimiento biométrico del iris y procesamiento de video para comunicaciones.



**Alejandro Álvaro Ramírez-Acosta**, recibió el grado de Doctor en 2000 por la Escuela Nacional Superior de Telecomunicaciones de Bretagne (ENST Bretagne) y la Universidad de Bretagne Occidental (UBO) en Francia. Él realizó sus estudios de

postdoctorado en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de France Télécom en Lannion Francia en 2001. Actualmente, Alejandro es consultor independiente en el área de telecomunicaciones. Sus interés de investigación son: Procesamiento de imágenes, Visión por computadora; codificación de audio, voz y video; reconocimiento de patrones, en específico usando SVM para clasificación; desarrollo de software para aplicaciones embebidas; desarrollo de manejadores y desarrollo en plataformas OpenMAX para codecs de audio/video.

*Artículo recibido el 23/07/2012; aceptado el 29/08/2012.*