

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/276294508>

# Algoritmos de procesamiento del iris para un sistema de reconocimiento biométrico

Conference Paper · June 2012

CITATIONS

0

READS

1,217

3 authors, including:



**Ulises Orozco-Rosas**

Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS)

36 PUBLICATIONS 293 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Alejandro Ramirez**

28 PUBLICATIONS 122 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



AutoNOMOS - México (Instituto Politécnico Nacional, CITEDI) [View project](#)



Quantum Intelligent Systems [View project](#)

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/276294508>

# Algoritmos de procesamiento del iris para un sistema de reconocimiento biométrico

Conference Paper · June 2012

CITATIONS

0

READS

1,217

3 authors, including:



**Ulises Orozco-Rosas**

Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS)

36 PUBLICATIONS 293 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Alejandro Ramirez**

28 PUBLICATIONS 122 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



AutoNOMOS - México (Instituto Politécnico Nacional, CITEDI) [View project](#)



Quantum Intelligent Systems [View project](#)

# Algoritmos de procesamiento del iris para un sistema de reconocimiento biométrico

Ulises Orozco-Rosas<sup>1</sup>, Mireya S. García-Vazquez<sup>1</sup> y Alejandro A. Ramírez-Acosta<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> MIRAL. R&D, 1047 Palm Garden, Imperial Beach, 91932, USA  
{uorozco,mgarciav}@citedi.mx, ramacos10@hotmail.com

**Resumen** El reconocimiento biométrico se basa en la obtención de patrones digitales de uno o más rasgos físicos de la persona, para verificar identidades o identificar individuos mediante algoritmos de procesamiento matemáticos y estadísticos. Las nuevas aplicaciones han creado una demanda de alta confiabilidad en el reconocimiento de personas para ambientes no controlados. En respuesta a esta necesidad, las investigaciones se han dedicado al desarrollo de sistemas de reconocimiento del iris más flexibles, más fiables y sin interacción con los usuarios. Como resultado, muchos algoritmos han sido propuestos y varios se han convertido en partes fundamentales de productos comerciales. Este artículo presenta un análisis de los algoritmos de procesamiento del iris utilizados en cada etapa del sistema de reconocimiento biométrico aplicado al reconocimiento de personas: etapa adquisición de imagen, etapa pre-procesamiento, etapa codificación y etapa comparación de códigos. Este artículo se concluye con las tendencias tecnológicas de cada etapa del sistema.

**Palabras clave:** reconocimiento del iris, biometría, video-iris, codificación, reconocimiento a distancia.

## 1. Introducción

Uno de los rasgos biométricos que ha sido objeto de estudio para la autenticación y reconocimiento de personas en los últimos años es el iris, órgano interno del ojo. La autenticación y reconocimiento biométrico, explota el hecho de que ciertas características biológicas son singulares e inalterables. Una tarjeta de identificación o una contraseña escrita pueden ser interceptadas. Sin embargo, la huella digital, el iris, la geometría de la mano y la voz [1], son características imposibles de perder, transferir u olvidar. La idea central de la biometría, es el estudio de rasgos y características del ser humano que no varían con el tiempo para utilizarse como “identificador biométrico”. La aportación de este artículo recae en la revisión de las técnicas más notables en la tecnología del reconocimiento basado en el iris humano. Se pretende brindar una visión completa pero breve de los avances logrados en las diferentes etapas del sistema de reconocimiento del iris, así como futuros desarrollos que pueden aportar a la consolidación de esta tecnología biométrica.

Después de haber descrito el concepto de biometría y la aportación de este artículo,

se examinará el sistema de reconocimiento basado en iris, analizando en la sección 2, las características importantes que ofrece el iris para utilizarlo como identificador biométrico. En la sección 3, se detalla las etapas del sistema de reconocimiento basado en iris. En la sección 4, se presenta una comparación entre las bases de datos existentes las cuales se utilizan para la validación de sistemas de reconocimiento basado en iris. Posteriormente en la sección 5, se describe la importancia del rendimiento en cada una de las etapas del sistema de reconocimiento basado en iris. Finalmente, en la sección 4, se exponen las conclusiones.

## 2. Iris como identificador biométrico

El iris se localiza detrás de la cornea y del humor acuoso frente del lente. Este consiste en un tramado de tejidos conectivos, fibras, anillos y coloraciones, que al observarse a corta distancia constituyen una huella distintiva de las personas (figura 1). La textura del iris no tiene expresión genética y su morfogénesis es completamente aleatoria [2].

El iris tiene ventajas prácticas adicionales sobre otros identificadores biométricos como son:

- Escaneo, facilidad de registrar la imagen a cierta distancia sin necesidad de contacto físico.
- Codificación, su estructura permite codificar con una densidad de información de 3.4 bits por  $\text{mm}^2$  de tejido.
- Permanencia, el iris comienza a formarse en el tercer mes de la gestación y sus estructuras son completamente creadas en el octavo mes, después de los 2 o 3 años no presenta cambios.
- Unicidad, probabilidad de que dos personas tengan el mismo patrón es cero.
- Fiabilidad, imposibilidad de modificarlo sin riesgo de perder la visión.
- Cuantificación, su facilidad de registro a corta distancia.
- Aceptabilidad, el reconocimiento del iris según los estudios realizados no causa daño al identificado, por lo tiene un buen porcentaje de aceptación.



Fig. 1. Ubicación del iris, pupila y esclera [3],

Sin embargo, el iris presenta algunas desventajas que dificultan su utilización como identificador biométrico [2]:

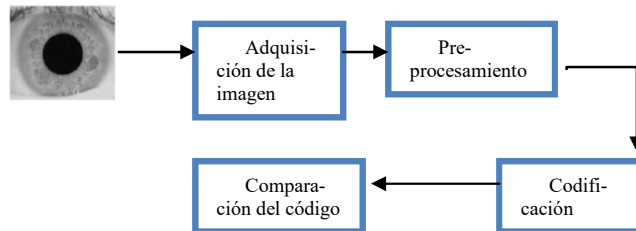
- Su tamaño pequeño dificulta la adquisición a ciertas distancias.
- Es un objetivo móvil, el movimiento del ojo podría dificultar su captura.
- Está ubicado en una superficie curva, húmeda y reflexiva.
- Su imagen suele estar afectada por pestañas, párpados y reflejos de luz, limitando el área de interés en la cual contiene las características biométricas.

Aunque el iris señale algunas desventajas, en la tabla 1 se muestra un comparativo de los diferentes identificadores biométricos que se pueden utilizar resaltando al iris por su alta fiabilidad, estabilidad y la prevención de ataques. Por ejemplo, una firma la pueden copiar, por lo que su fiabilidad es baja.

**Tabla 1.** Comparación entre los diferentes Identificadores Biométricos [1].

	Fiabilidad	Facilidad de uso	Prevención de ataques	Aceptación	Estabilidad
Ojo (Iris)	Muy alta	Media	Muy alta	Media	Alta
Ojo (Retina)	Muy alta	Baja	Muy alta	Baja	Alta
Huellas dactilares	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Geometría mano	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Escritura y firma	Media	Alta	Media	Muy Alta	Baja
Voz	Alta	Alta	Media	Alta	Media
Rostro	Alta	Alta	Media	Muy alta	Media

Por lo mencionado anteriormente, se considera al patrón del iris como un identificador biométrico de los más convenientes. Es por ello el gran interés en el área de investigación para que en un futuro se pueda utilizar en entornos de alta seguridad.



**Fig. 2.** Sistema de reconocimiento del iris [4].

### 3. Sistema de reconocimiento basado en iris

Un sistema de reconocimiento del iris consta de cuatro etapas principales:

1. Adquisición de la imagen.

2. Pre-procesamiento de los datos capturados (excluye la información innecesaria y preserva aquella que contenga información útil del iris).
3. Codificación (Extracción de características propias del iris).
4. Comparación de las características extraídas, con el patrón iris previamente almacenado. *Comparar con BD*

Estas cuatro etapas fundamentales se muestran en la figura 2.

### 3.1. Adquisición de la imagen

La adquisición de la imagen es una etapa trascendental en el reconocimiento; ya que se desea utilizar una imagen con buena calidad dado que puede afectar el rendimiento e interoperabilidad del sistema [5]. La adquisición puede realizarse de forma manual o automática utilizando cámaras convencionales de luz visible o infrarroja [6]. En la forma manual, el usuario debe tener un entrenamiento adecuado, ajustando la cámara para tener el iris enfocado. No obstante en la forma automática se tiene un grupo de cámaras que localizan la cara y el iris haciendo la captura más sencilla. Daugman [7] propuso un sistema de forma manual, donde las imágenes fueron tomadas sin cámaras activas, utilizando espejos y video para ayudar a los usuarios a posicionar sus ojos dentro del campo visual de la cámara. Por otra parte, Wildes et al [8,9] en su sistema utiliza una cámara, para capturar varias imágenes, de las cuales se seleccionaba la de mayor contraste en el límite entre el iris y la esclera.

Entre los sistemas para la adquisición de la imagen de forma automática más sobresalientes esta el sistema auto adaptivo [10] que utiliza una cámara de ángulo amplio (W-Cam), y una de ángulo estrecho (N-Cam). La W-Cam captura la cara y la N-Cam los ojos. Cuando la imagen del ojo aparece en el punto de referencia en la vista de W-Cam la imagen del ojo aparecerá en la vista de N-Cam. Como iluminación se utiliza un arreglo de leds infrarrojos con una emisión de 20 grados que se mueve junto con las cámaras de baja resolución.

Otro sistema automático utiliza un sistema doble de ojo, un espejo integrado con dos cámaras y una pantalla LCD. En este sistema el usuario puede ver sus ojos en el LCD de la misma manera que se ve en el espejo, pero las cámaras reales están debajo del LCD siendo invisible. Para facilitar la captura al usuario hay una luz que se pone verde o roja. Así mismo Wenbo et al [11] propuso un sistema de captura automática de larga distancia. En la cual el usuario pasa por una puerta y se detiene entre 2~3 segundos para ser identificado. Las cámaras tienen alta resolución ( $2352 \times 1728$  pixeles), una velocidad de transferencia de 14 cuadros por segundo y un lente de 300 mm. Permitiendo capturar el iris en un rango de 16mm x 12mm en tiempo real a 3 metros de distancia.

La adquisición de la imagen es una etapa clave del sistema, donde se requiere capturar una imagen de alta calidad, ya que en caso contrario puede afectar al rendimiento del sistema. Por ello se requiere de varios factores de ayuda que guíen a los usuarios a posicionarse correctamente para la adquisición. Sin embargo, estos factores pueden disminuir si se utilizan más cámaras de apoyo o técnicas auto adaptivas para encontrar los rasgos faciales buscando minimizar la interacción del usuario con el sistema.

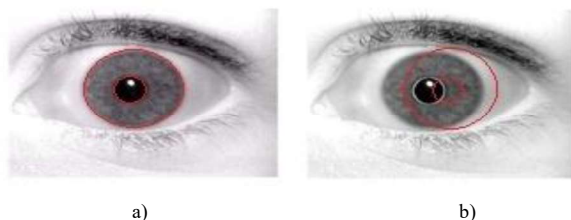
### 3.2. Pre-procesamiento

Todas las imágenes obtenidas en la etapa de adquisición contienen además de la información del iris, la región que lo rodea como párpados, pestañas y áreas que forman parte del rostro. Por ello, es necesario realizar un pre-procesamiento de la imagen antes de extraer las características biométricas de la región del iris.

Este pre-procesamiento consta de dos sub-etapas: **La Segmentación y la normalización.**

#### 3.2.1. Segmentación

En la etapa de segmentación se requiere aislar la región del iris y excluir al resto de la imagen, **primero se localizan los bordes entre iris-pupila e iris-esclera**, obteniendo dos círculos donde los parámetros del radio y centro son parámetros importantes a obtener. Una mala segmentación trae consigo la disminución del rendimiento del sistema completo. En la figura 3 se muestra la diferencia entre una segmentación adecuada y una errónea. Para realizar la segmentación de la región del iris, existen varias técnicas como la ecuación integro-diferencial de Daugman [12]. Esta ecuación se utilizaba para buscar el borde iris-esclera, de tal modo que detecte los cambios más abruptos iris (oscuro) y esclera (blanco). Después se continúa para obtener el borde entre el iris-pupila.



**Fig. 3.** Segmentación de la región del iris. a) Correcta. b) Incorrecta.

El sistema desarrollado por Wildes et al [8] propone una alternativa para localizar los parámetros de los bordes. En su trabajo realiza una transformación de la imagen a un mapa binario de contornos, fijando un umbral en la magnitud de los gradientes de la imagen y obteniendo su dirección. La información resultante permite considerar sólo los bordes verticales, evitando con esto, que los párpados, pestañas pudieran influenciar en la detección de los bordes.

S. Lim, K. Lee y J. Kim [13] propusieron un modelo de contornos activos para la detección de la pupila y párpados. Éste toma en consideración los límites de la pupila siendo un contorno cercano-circular. Además, utiliza un algoritmo para mejorar la detección del párpado excluyendo información relevante principalmente por encima y debajo del párpado permitiendo una mejor segmentación de la región del iris.

Kong y Zhang [14] proponen un nuevo modelo de detección del ruido para la segmentación exacta de la región del iris. Las pestañas, los párpados y la reflexión son tres ruidos principales. Existen otros métodos que han resuelto la eliminación del párpado. Sin embargo, este modelo detecta y elimina las pestañas así como las reflexiones obteniendo una mejor imagen del iris.

### 3.2.2 Normalización

En esta etapa se obtiene una nueva imagen de la región del iris. Una vez que el iris ha sido localizado, se genera la nueva imagen para cada iris con cierto tamaño estandarizado y así permitir comparaciones. Para esto, se utiliza el método propuesto por Daugman [12], en donde se mapea la región del iris a una imagen rectangular de dimensiones constantes.

La región anular del iris genera una región rectangular de dimensiones constantes, esto facilita la interpretación y la carga computacional.

En esta etapa de pre-procesamiento se requiere identificar la ubicación del iris para extraer su patrón y eliminar toda información que pudiera propiciar un mal reconocimiento afectando en el rendimiento del sistema. Daugman presenta una aproximación muy cercana de lo que se requiere haciendo sus operaciones en el centro del ojo. En cambio los otros métodos presentados, identifican la ubicación del iris así como la detección de pestañas, párpados y reflexiones para excluirlos de la codificación.

### 3.3. Codificación

Una vez que se tiene una imagen con información exclusiva de la región del iris, se debe de extraer la información más discriminativa, codificando las características más significativas. Muchos autores utilizan filtros multicanal de Gabor [12,15], Log-Gabor [16], Transformada rápida de Fourier [17] y la Transformada de Wavelet [18]. Los filtros multicanal consiguen extraer los coeficientes que finalmente conformaran la plantilla digital biométrica del iris.

**Los filtros de Gabor**, proporcionan la representación de una señal en espacio y frecuencia, se crean modulando una onda Gaussiana con una onda sinusoidal. La parte real es especificada por una función coseno modulado con la Gaussiana y la parte imaginaria es especificada por una función seno modulada por una Gaussiana. Daugman utilizó filtros de Gabor bidimensionales para la codificación de la región del iris especificando la posición de la imagen, el largo y ancho efectivo, haciendo una demodulación en la salida de los filtros para comprimir los datos cuantificando la fase para cada cuadrante en el plano complejo. Esto permite desechar la información redundante como la iluminación obteniendo por cada pixel de la imagen dos bits.

**Los filtros de Log-Gabor** permiten una representación más compacta de imágenes cuando el ancho de banda de las mismas es mayor a una octava. Este parece ser el caso de las imágenes del iris, donde la información de su textura tiene un ancho de banda superior a una octava. Sin embargo, esta componente puede ser eliminada para cualquier ancho de banda usando un filtro Gabor, donde la Gaussiana tenga una escala logarítmica. A esta clase de filtros se les conoce como filtros Log-Gabor.

**La transformada rápida de Fourier “FFT”** realiza 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.

Por su parte, **la transformada Wavelet** se utiliza para descomponer la información de la región del iris en sus componentes que aparecen para diferentes resoluciones. En comparación con la FFT tiene una mayor compresión. Además ésta detecta las características concretas de las imágenes o la eliminación de ruido asociado a las señales. Para obtener un vector característico se aplica el banco de filtros wavelet con una



dimensión de 87. Cada localidad en el vector tiene un valor entre -1 y 1 pero se cuantifica para que los valores positivos sean representados por “1” y los negativos por un “0”.

Estas técnicas presentan una interesante forma de extraer la información que es de utilidad, Log-Gabor es mejor filtro para codificar la imagen por el ancho de banda que requiere. Por su parte, la FFT presenta una forma sencilla de codificación, no obstante, la transformada wavelets comprime los datos en mayor proporción.

### 3.3. Comparación de códigos

Después de haber realizado todas las etapas anteriores, la plantilla digital biométrica del iris obtenida, se almacena en una base de datos (BD) para futuras comparaciones. Cuando una identificación o autenticación es requerida, se repite cada una de las etapas aunque en lugar de almacenar la plantilla digital biométrica del iris, ésta es comparada con todas o sólo una plantilla digital biométrica de la BD según sea el requerimiento de autenticación o identificación.

Para lograr una comparación exitosa es necesario definir una serie de métricas de distancias que permitan medir la diferencia, entre las plantillas digitales biométricas del usuario y las almacenadas en la base de datos del sistema. Estas distancias, permiten establecer una medida de desigualdad entre las plantillas digitales biométricas a ser comparadas. Aunque existen varias técnicas, las dos más representativas para obtener la distancia son: Euclidiana [18] y Hamming [7].

**La distancia Euclidiana** centra la clase en una plantilla digital biométrica de características de un número de muestras inicialmente tomadas. La determinación del umbral indicará la pertenencia a una clase o a otra. Esta medida está dada por el valor de la distancia que marca el límite entre estas clases.

La literatura reporta que **la distancia de Hamming** es comúnmente utilizada para el reconocimiento de patrones. Esta técnica es una medida de la variación entre el valor de la plantilla digital biométrica del iris actual y el valor de la plantilla digital biométrica que está almacenada en la base de datos.

Wildes en su trabajo [8] utilizó la distancia Hamming. Sin embargo, modificó las ecuaciones para compensar la variabilidad producida por la escala, la rotación y los saltos en la imagen. Wildes calculó el nivel de emparejamiento obtenido de la integración de las diferencias de pixel en todas las bandas de frecuencia disponibles.

Es importante determinar la mejor métrica de correlación para decidir si una plantilla digital biométrica corresponde o no a alguna plantilla digital biométrica almacenada en la base de datos. Dado que la comparación se debe realizar a toda la base de datos, esta métrica deberá presentar cálculos muy exactos. Por ello se debe tener un algoritmo eficiente para poder realizar dichas comparaciones de forma casi inmediata.

## 4. Base de datos

Para almacenar las plantillas digitales biométricas se utiliza una base de datos administrada por un sistema gestor de base de datos, el cual permita almacenar grandes cantidades de plantillas digitales biométricas y posteriormente acceder a ellas de forma rápida y estructurada sin que éste se sature o colapse. Sin embargo, durante el

proceso de prueba de los algoritmos desarrollados para cada una de las etapas del sistema de reconocimiento del iris, se han contrastado los resultados obtenidos en el uso de diferentes bases de datos de iris de carácter público [19]. La tabla 2 muestra un comparativo de las diferentes bases de datos que se utilizan como CASIA Iris Database [20] (China), Palack University Iris Database [21]. (República Checa), University of Bath Iris Image Database [22] (Inglaterra), GBTNI II [23] (Madrid).

Cada una de las bases de datos tiene alguna característica importante para ser utilizada pero en este artículo se remarca el uso de dos bases de datos. La base de datos de CASIA, es en su gran mayoría de personas asiáticas. Dado que la característica propia de esa población son los ojos rasgados, es un factor que influye de manera notable a la hora del pre-procesamiento de las imágenes del iris. Así mismo, la base de datos de la universidad de BATH maneja un número grande de muestras poniendo a prueba el rendimiento del sistema.

**Tabla 2.** Comparación de distintas Bases de Datos de Iris.

	CASIA	PALACKY	BATH	GBTNIv2
<b>Sesiones</b>	2	1	20	2
<b>personas</b>	80	64	200	--
<b>Ojos diferentes</b>	108	128	4000	
<b>Muestras</b>	756	584	8000	
<b>Formato</b>	BMP	PNG	J2C	BMP
<b>Resolución</b>	320x 280	576 x 768	1280x 960	1392x 1040
<b>Color</b>	Escala de Grises	Color	Escala de Grises	Escala de Grises
<b>Iluminación</b>	Infrarroja	--	Infrarroja	Infrarroja
<b>Máscara</b>	No	Si	No	No

## 5. Rendimiento del sistema

En un sistema de identificación de personas se requiere que el reconocimiento proporcione un resultado veraz y en el menor tiempo de ejecución posible. Cada etapa del sistema contribuye consumiendo un instante de tiempo. En la tabla 3 se muestran los tiempos de ejecución de cada etapa en el sistema de Daugman [7].

En el sistema de Daugman [7] se utiliza un procesador a 300-MHz RISC, realizando 100,000 comparaciones de diferente iris por segundo o un millón de comparaciones en un servidor de 1.7 a 2 GHz.

El número de comparaciones y la velocidad de ejecución de cada etapa del sistema son afectadas por las diferentes arquitecturas de hardware como el desarrollo de software. En la actualidad, el poder de cómputo ha incrementado y su precio de adquisición ha disminuido. Aunado a ello, las técnicas de programación han mejorado dando la oportunidad a utilizar computadoras personales como procesadores de uso específico disminuyendo tiempos de procesamiento. En el futuro se tiene previsto que los

identificadores biométricos sean clave en sistemas de acceso y de seguridad nacional, dado el incremento en las exigencias respecto a fiabilidad, alto rendimiento y eficacia.

**Tabla 3.** Tiempos de Ejecución de las Etapas del Reconocimiento del Iris en el Sistema de Daugman.

<b>Etapas</b>	<b>Tiem- po</b>
Calcular el foco de imagen	15 mseg
Quitar reflexiones espectaculares	56 mseg
Localizar ojo e iris	90 mseg
Límite de la pupila	12 mseg
Detectar y limitar los dos párpados	93 mseg
Remover pestañas y forma de lentes de contacto	78 mseg
Demodulación y creación del iriscode	78 mseg
Comparación XOR de los dos iriscode	12μseg

## 6. Conclusiones

En la actualidad se pueden utilizar diferentes formas de identificación, como claves, dispositivos electrónicos entre otras cosas. Sin embargo, es conveniente contar con un identificador único, inalterable, difícil de extraviar. Las propiedades físicas del iris tienen grandes ventajas para ser utilizado como método de identificación. Por ello, en este artículo se revisó todas las etapas del sistema de reconocimiento basado en iris. Se describió que para mejorar el rendimiento del sistema se requiere de la adquisición de una imagen de muy buena calidad. Con respecto a la etapa de Segmentación, la mayoría de los trabajos de investigación se basan en el trabajo de Daugman y de su ecuación integro-diferencial. Así mismo, para realizar la normalización de la imagen se emplea la técnica de Daugman, en donde se mapea la región del iris a una imagen rectangular de dimensiones constantes. Para extraer las características del iris se utiliza los filtros de Log-Gabor. En la etapa de comparación, se emplea la distancia de Hamming con mayor frecuencia. Dentro de las bases de datos públicas para analizar los sistemas, la base de datos de CASIA es una de las más referenciadas.

El reconocimiento del iris es un campo amplio de estudio donde la literatura indica que existen muchas técnicas para incrementar su eficiencia. Sin embargo, en la práctica todavía no se tiene la confianza plena de su uso; dado que varios factores pueden alterar las etapas del sistema reduciendo su rendimiento. Por ello se requiere continuar investigando para consolidar al sistema del reconocimiento basado en iris, como uno de los métodos biométricos más confiables para la autenticación e identificación de personas.

**Agradecimiento:** Esta investigación fue auspiciada por el proyecto SIP2012 del IPN.

## Referencias

1. Sanderson S., Erbetta J.: Authentication for secure environments based on iris scanning technology. IEE Colloquium on Visual Biometrics (2000)
2. Muron A., Pospisil J.: The human iris structure and its usages. *Physica*, 39:89-95. Czech. (2000)
3. Iris.: <http://www.cse.msu.edu/~chenyi1/Research/iris/segmentation/iris.jpg> (2012)
4. Terissi L.D., Cipollone L., Baldino P.: Sistema de reconocimiento de iris. FCEIA, Universidad Nacional de Rosario, Argentina (2000)
5. Kalka N.D., Dorairaj V., Shah Y.N., Schmid N.A., Cukic B.: Image Quality Assessment for Iris Biometric. Lane Department of Computer Science and Electrical Engineering West Virginia University, Morgantown, WV-26506, US (2009)
6. Khaw P.: Iris recognition technology for improved authentication. SANS Institute (2002)
7. Daugman J.: How iris recognition works. *IEEE Trans. Circ. Syst. Video Tech.* 14(1), 21-30 (2004)
8. Wildes R.P., Asmuth J.C., Green G.L.: A System for Automated Recognition, 0-8186-6410-X/94, IEEE (1994)
9. Wildes R.P.: Iris recognition: An Emerging Biometric Technology. *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, no. 9 (1997)
10. Dong W., Sun Z., Tan T., Qiu X.: Self-adaptive iris image acquisition system. National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Academy of Sciences, No.95 Zhongguancun East Road, Beijing, China (2008)
11. W. Dong., Z. Sun., T. Tan.: How to Make Iris Recognition Easier. *Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition*, pp. 1-4, (2008)
12. Daugman J.: High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *IEEE Transactions On Pattern analysis and Machine Intelligence*, vol.15, no 11 (1993)
13. Lim S., Lee K., Kim J.: Efficient iris recognition by characterizing key local variations. *IEEE Transactions On Image Processing*, vol. 13, no. 6 (2004)
14. Kong W., Zhang D.: Accurate iris segmentation based on novel reflection and eyelash detection model. *Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing*, Hong Kong (2001)
15. Cruzm L.F., Carranza F.: Reconocimiento del Iris. Universidad Nacional de Trujillo Perú (2006)
16. Field D.: Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells. *Journal of the Optical Society of America*, vol. 4, no. 12, pp. 2379–2394 (1987)
17. Greco J., Kallenborn D., Enchiva M.: Statistical pattern recognition of the iris (2003)
18. Boles W., Boashash B.: A human identification technique using images of the iris and wavelet transform. *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 45, no 4 (1998)
19. Coomonte R.: Sistema de reconocimiento de personas mediante su patrón de iris basado en la transformada wavelet. Proyecto Fin de Carrera publicado en Mayo (2006)
20. CASIA.: CASIA Iris Image Databases, Center for Biometrics and Security Research, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences. P.R. China (2012)
21. Michal Dobeš., Libor Machala.: Iris Database, Dept. Computer Science, Palacky University in Olomouc (2012)
22. University of Bath.: Iris Image Database. <http://www.smartsensors.co.uk/information/bath-iris-image-database/> (2012)
23. Grupo de Biometría, Bioseñales y Seguridad (GB2S): base de datos GBTNI II <http://sites.google.com/site/upmgb2s/bases-de-datos/iris-cara/caracteristicas> (2012)