



MEMORIA DEL PROYECTO

# Diagnóstico de la diabetes mediante el análisis del iris

**RAÚL ANDRÉS SANTAMARÍA / JANA BISABARROS OCHOA  
/ ESTRELLA HIGUERA MOSQUERA**

**TUTORES**

Luis Vidal de Benito Aparicio  
José Francisco Díez Pastor (UBU)  
Álvar Arnaiz González (UBU)

**2017/2018**

Bachillerato de Investigación y Excelencia  
I.E.S. Félix Rodríguez de la Fuente



## ÍNDICE

1. Abstract.
2. Resumen.
3. Introducción.
4. Objetivo.
5. Materiales y métodos.
  - 5.1. Método empleado para medir la glucemia.
  - 5.2. Método para evaluar la textura del iris.
6. Resultados.
  - 6.1. Resultado del método de análisis visual de las criptas presentes en el área de estudio de la fotografía de los ojos.
  - 6.2. Resultados de los análisis obtenidos mediante escáner.
7. Conclusión.
8. Agradecimientos.
9. Bibliografía.

## **Diagnóstico de la diabetes mediante el análisis del iris**

### **Resumen**

Desde tiempo inmemorial el estudio del iris ha servido para diagnosticar enfermedades. La iridología, que es así como se llama esta práctica médica, se ha movido siempre entre los campos de la superchería y la ciencia. Recientemente se han descubierto genes maestros que condicionan tanto el desarrollo del páncreas como del iris. Este trabajo versa sobre el reconocimiento de la diabetes en el iris de las personas que lo padecen. Para ello se contrastó estadísticamente con una Chi-cuadrado los síntomas que la iridología emplea en el reconocimiento de la enfermedad. También se desarrolló un escáner que comparaba y clasificaba la información acumulada en los píxeles de las imágenes del iris. Los resultados, tanto de la Chi-cuadrado como del escáner, muestran que ni la distribución de criptas en los ojos, ni el estudio completo del sector de iris estudiado valen para discriminar enfermos de personas sanas. Dado que la relación genética entre el desarrollo del páncreas y el iris está demostrada es cuestión de tiempo el perfeccionar las herramientas que utilizamos en la actualidad para diagnosticar la diabetes a través del iris.

### **Autores**

Raúl Andrés Santamaría, [raulansan2000@hotmail.com](mailto:raulansan2000@hotmail.com)

Jana Bisabarros Ochoa, [janabsch@gmail.com](mailto:janabsch@gmail.com)

Estrella Higuera Mosquera, [estrellareinosa@gmail.com](mailto:estrellareinosa@gmail.com)

IES Félix Rodríguez de la Fuente, C/ Pablo Casals 4, 09007 BURGOS

### **Tutores**

Luis de Benito Aparicio, [lvbenito@educa.jcyl.es](mailto:lvbenito@educa.jcyl.es)

Departamento de Biología y Geología.

IES Félix Rodríguez de la Fuente, C/ Pablo Casals 4, 09007 BURGOS

Álvar Arnaiz González, [alvarag@ubu.es](mailto:alvarag@ubu.es)

Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior, Área Lenguajes y Sistemas Informáticos, Dpo. Ingeniería Civil.

José Francisco Díez Pastor, [jfdpastor@ubu.es](mailto:jfdpastor@ubu.es)

Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior, Área Lenguajes y Sistemas Informáticos, Dpo. Ingeniería Civil.

### **Palabras Clave**

Iris, Diabetes, gen PAX6, Python, Chi-cuadrado, escaner, Iris, Diabetes, PAX6 gene, Python, Chi-square, scanner

## **Introducción**

El iris es probablemente el tejido más complejo que está visible en el exterior del cuerpo humano. Este tejido forma patrones complejos por la diferente combinación

de muchos rasgos distintivos, tales como: los surcos de contracción, las criptas, los puntos de pigmentos o los collarettes (figura 1). Todo ello hace que el iris de cada persona sea exclusivo de ella. A lo largo de la historia de la humanidad estas características del ojo no han pasado desapercibidas y se ha interpretado como una forma de conocer el estado de salud del cuerpo.

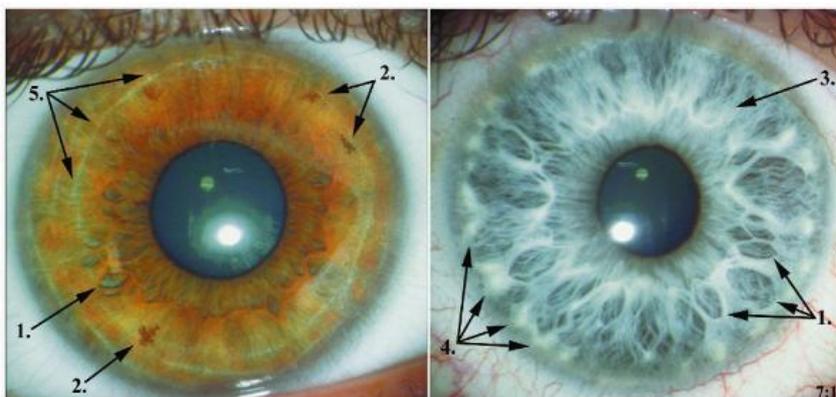


Figura 1. Las flechas con números indican las características de interés del iris: 1, criptas; 2, puntos de pigmentación; 3, color del iris; 4, collarettes (anillos de puntos blancos); 5, surcos de contracción (Larsson, 2007).

En la actualidad a este tipo de técnica se la llama iridología y a quien la practica iridiólogo. Los iridiólogos se mueven en un futuro incierto entre el “falso curandero” y quien considera esta disciplina como una ciencia que merece el respeto profesional por parte de la medicina oficial (Berdonces, 1990).

El presente trabajo versa sobre la diabetes y su posible manifestación en el iris como signo de diagnóstico que pueda ser usado en medicina.

La diabetes mellitus (DM) es un grupo de trastornos metabólicos caracterizados por la hiperglucemia debida a defectos en la secreción o acción de la insulina. Existen varios tipos de DM. Nosotros nos centraremos en la DM 1, la cual se caracteriza por una destrucción de las células beta del páncreas, que da lugar a un déficit absoluto de insulina. Tiene lugar en una época temprana de la vida, generalmente antes de los 30 años, por lo que es más frecuente en jóvenes y niños. Afecta al 5-10% de la población diabética. La DM 1 se encuentra en todos los grupos étnicos pero su mayor incidencia se encuentra entre las poblaciones del norte de Europa y en Cerdeña (Katzung, 2007).

Para los iridiólogos las patologías relacionadas con el páncreas se manifiestan en una región concreta del iris que recibe el nombre de Cruz de San Andrés (Fortes, 2015). La Cruz de San Andrés puede ser visualizada en ambos ojos en forma de cuatro criptas dispuestas a 10, 20, 40 y 50 minutos comparando el iris con un reloj (figura 2).

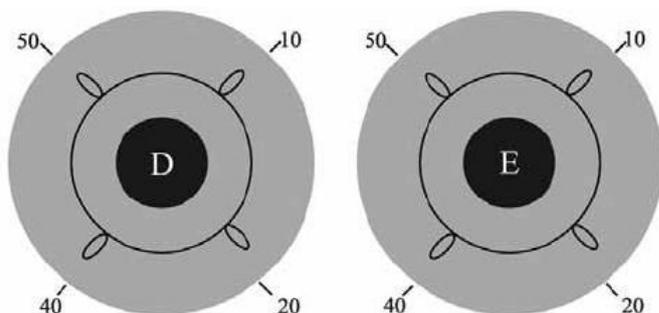


Figura 2. Cruz de San Andrés (Battello, 1996).

En 1997 Sander et al. demostraron que el gen maestro PAX6, es un factor de transcripción que regula la diferenciación del páncreas endocrino. La mutación del PAX6 en ratones causa una marcada reducción de los cuatro tipos de células endocrinas situadas en los islotes de Lagerhans o islotes pancreáticos que producen glucagón, insulina, somatostatina y polipéptido pancreático. De hecho, se valoró que este tipo de mutaciones producía un descenso en los niveles de insulina hasta de un 25%. Al contrario, una mutación que provoca una sobreexpresión del gen PAX6 induce una neogénesis de los islotes a partir de las células epiteliales de los conductos del páncreas.

Antes que el gen PAX6 fuera reconocido como un factor del desarrollo del páncreas, se sabía que este mismo gen era un regulador maestro de la formación del ojo. Su mutación provoca graves trastornos en el desarrollo del ojo de mamíferos, así como de la mosca *Drosophila* (Quiring, 1994). Una mutación en el PAX6, en roedores, causa un fenotipo llamado "ojo pequeño" y, en los humanos, típicamente causa aniridia (figura 3).

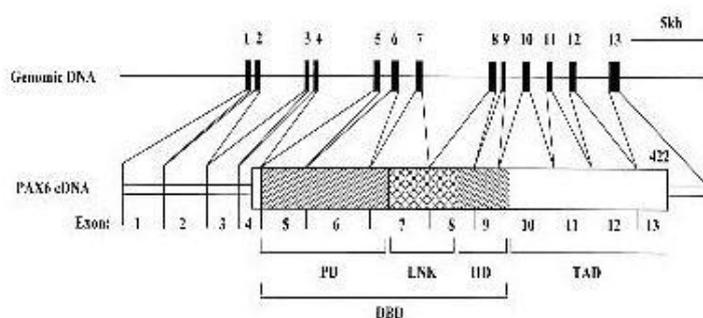


Figura 3. El ojo presenta aniridia tomado de <https://webeye.ophth.uiowa.edu>. La imagen de la derecha muestra el gen PAX6 en humanos, todos los exones del uno al trece están indicados (Yasuda, 2002)

A este mismo gen, así como a los genes blancos de él, como *COX-1*, *COX-2*, *VEGF*, *Ezrin*, *IR 185/OPTC*, *FKHL7/FOXC1*, *FOXC2*, *TIGR/GCL1A/ Myocilin*, *RIEG1/PITX2*, *Lmx1b*, *Hox-7.1*, *Hox-8.1*, el gen *P*, se les considera como los responsables de la variación en la textura del iris. Muchos de estos genes son pleiotrópicos lo que hace que influyan en más de una característica fenotípica de la textura del ojo (Larsson, 2007). Por ejemplo el gen PAX6 puede influir tanto en la frecuencia de las criptas en

la superficie del iris como en la extensión y relieve de los surcos de contracción. Uno por tanto podría imaginar que los diferentes alelos del *PAX6* podrían influir en características diferentes del iris en ojos normalmente desarrollados, pero este proceso al día se desconoce (figura 4).

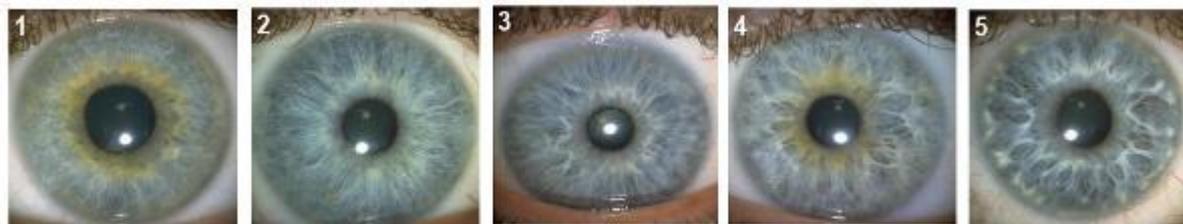


Figura 4. Frecuencia de Criptas de Fuchs. Las fotos que van del uno al cinco crean una escala en la frecuencia de criptas de Fuchs. En la foto 1 no hay criptas las fibras corren paralelas unas a otras formando una textura uniforme. En la foto dos la textura de las fibras es más abierta. En la foto tres hay un mínimo de cuatro criptas. En la foto cuatro las criptas aumentan de tamaño. En la foto cinco, las criptas de diferentes tamaños cubren toda la superficie del iris (Larsson, 2007).

### **Objetivo.**

En este trabajo ha sido planteada la idea de demostrar si algunos alelos del gen *PAX6* que producen diabetes mellitus de tipo I (DM I) generan un tipo de textura específica en el iris del ojo. De ser correcta esta afirmación, posibilitaría a los médicos utilizar esta textura como diagnóstico de la enfermedad.

### **Materiales y métodos.**

La metodología seguida en este trabajo se basaba en discriminar los voluntarios en diabéticos y no diabéticos según un test de glucemia. A continuación se tomaba una fotografía del iris. La foto del iris fue procesada de dos maneras diferentes con el fin de encontrar un tipo único de textura del iris para personas diabéticas.

#### **1.- Método empleado para medir la glucemia**

Para la realización de este trabajo se tomó una muestra de de 35 individuos entre 10 y 20 años de los cuales 10 tienen diabetes mellitus tipo I y 25 no presentan este trastorno metabólico. A cada uno de ellos se les realizó un test del nivel de glucemia en el momento de tomarles la fotografía y sin haberles requerido que estuvieran en ayunas las horas previas, mediante tiras reactivas y utilizando un glucómetro convencional (figura 5 y 6).



Tipo de muestra	Sangre completa (capilar, venosa, arterial).
Volumen de la muestra	0,6 µL de sangre completa.
Rango de medición	10 a 600 mg/dL de glucosa.
Tiempo de medición	8 segundos.

Figura 5. Glucómetro usado en el proyecto y características técnicas.



Figura 6. Toma de muestra de sangre.

Las tiras reactivas poseen una enzima la Glucosa Deshidrogenasa-Flavin Adenin Dinucleótido (GDH-FAD). La glucosa de la sangre absorbida por capilaridad en la punta de la tira reactiva reacciona con el complejo enzimático. En el desarrollo de la reacción química existe un intercambio de electrones entre los constituyentes de la reacción, lo que se traduce como una corriente eléctrica cuya intensidad es medida por el electrodo presente en la tira reactiva; la cantidad de corriente generada es directamente proporcional a la concentración de glucosa de la muestra (figura 6).

Parámetro	Ideal (sin diabetes)	ÓPTIMO	Subóptimo	Alto riesgo (acción requerida)
En ayunas y antes de las comidas	65-100	70-145	>145	>160
Después de comer	80-126	90-180	180-250	>250
Hora de dormir	80-100	120-180	<120 o 180-200	<80 o >200
Nocturnas	65-100	80-160	<75 o >160	<70 o 200

Figura 6. Recomendaciones de la International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes (ISPAD) medidas en mg/dl.

El valor de índice de glucemia fue incorporado a un test que contenía las siguientes preguntas.

- Nombre.....
- Apellidos.....
- Edad.....
- Nivel de glucemia registrado .....
- Antecedentes familiares de diabetes mellitus.....
- Descendientes familiares con diabetes mellitus.....
- Se declara diabético Si..... No.....
- ¿Cuánto tiempo lleva como diabético? .....

## 2.- Método para evaluar la textura del iris.

El proceso para el estudio de la textura del iris se inicia con la toma de una macrofotografía del ojo. Para ello se siguió una modificación del método Daugman (Wildes, 1997).

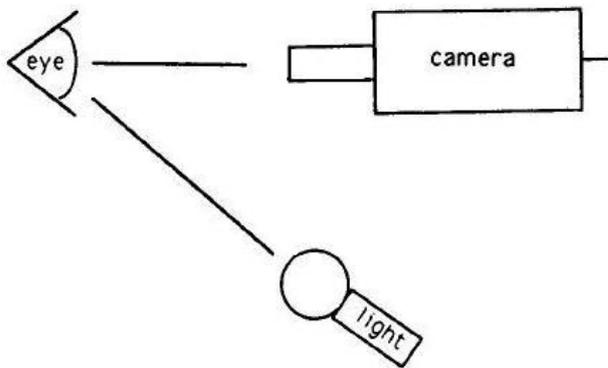


Figura 7. Método seguido para tomar una fotografía del ojo.

La fotografía fue realizada con una cámara Olympus E-500 y un objetivo macro de 33 mm al cual se incorporó un filtro polarizador para disminuir los reflejos. Se emplearon dos focos, uno dirigido desde el suelo hacia la cara de la persona que iba a ser fotografiada y otro de relleno, que se proyectaba sobre una pantalla reflectora. Dado que el ojo representa una semiesfera y la profundidad de campo del objetivo es muy reducida, nos resultó imposible sacar con claridad todo el Iris. Además había una parte del mismo que quedaba inutilizada al reflejar la luz del foco.

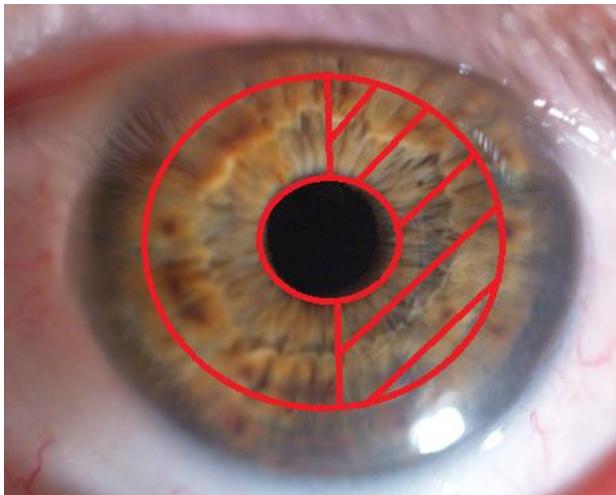


Figura 8. Fotografía de un ojo mostrando, en el semicírculo no rayado, el área de estudio.

Todo ello hizo que finalmente el estudio se limitó a una superficie comprendida en el

semicírculo derecho del ojo izquierdo tal como muestra la figura 8 para el análisis visual de las cripta y la mitad inferior del semicírculo derecho para el análisis con escáner de la imagen.

A partir de la fotografía se emplearon dos métodos de estudio:

**(a) Análisis visual de las criptas presentes en el área de estudio de la fotografía de los ojos.**

Esta técnica consiste en contabilizar las criptas del iris. Para ello sobre la fotografía tomada contabilizamos las criptas que hay en el límite entre la zona pupilar y la zona ciliar del iris. Además se indicó la posición en grados utilizando un transportador de ángulos que, situándose en el centro de la pupila tiene su valor de  $0^{\circ}$  a las seis y  $180^{\circ}$  a las 12 horas; si habláramos de un reloj las posiciones de las criptas se indican a intervalos de  $10^{\circ}$  (figura 9).

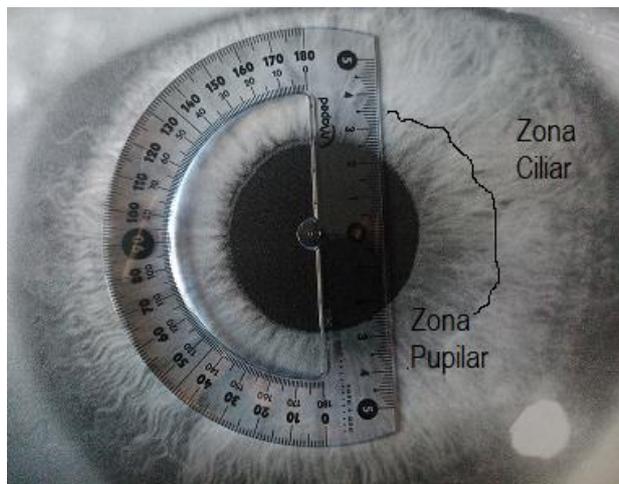


Figura 9. La fotografía muestra la zona ciliar y la zona pupilar del iris. Sobre el centro de la pupila se sitúa el transportador indicando en grados la posición de la cripta.

A continuación sobre los datos tomados se hizo una prueba estadística llamada Chi-cuadrado con el fin de averiguar si la distribución de criptas presentes en personas diabéticas es la misma que en una persona no diabéticas.

**(b) Análisis mediante scanner de los pixeles comprendidos en el área de estudio de la fotografía de los ojos.**

Para analizar la fotografía se utilizó un prototipo de scanner creado en lenguaje Python (Rossum, G. van (1995), es un lenguaje de programación de uso general, orientado a objetos e interpretado. Los conocimientos de este lenguaje fueron adquiridos a través de un curso online en CodeAcademy (<https://www.codecademy.com>).

Para desarrollar código en un lenguaje de programación se usa un IDE, que es un programa que nos permite escribir, depurar y ejecutar el código. En nuestro caso se

utilizó Jupyter Notebook, en el cual se puede combinar el código desarrollado con texto de las explicaciones y figuras.

La idea de utilizar un escáner para analizar el iris y diagnosticar la diabetes empezó a desarrollarse de forma experimental en trabajos previos como el de Panwar et al. (2014), Bathia (2015) en el que se desarrolla un tratamiento de imágenes.

### 2.b.1.- Tratamiento de la imagen.

Se utilizó Scikit-image, una biblioteca de Python cuya función es el procesamiento de imágenes. Las imágenes de Scikit-image son arrays de Numpy, una librería de Python para trabajar con matrices de números, en este caso los valores de los pixels. Hemos realizado varios pasos:

1. Localización de las coordenadas, así como del radio interior y exterior del iris.
2. "Aplanamiento" o cambio de coordenadas polares a cartesianas.
3. Extracción de atributos de la zona deseada.

Para el primer paso, se crea una función que recibe una fotografía y realiza las operaciones previamente explicadas para obtener las coordenadas  $(x, y)$  del centro de la pupila. Con ellas, se puede obtener el radio interno del ojo (radio del círculo que rodea a la pupila) y el radio externo (radio del círculo que rodea al iris del ojo) (Figura 10).

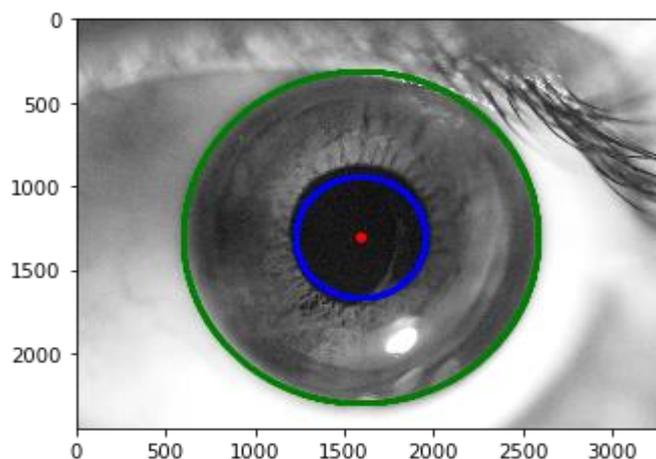


Figura 10. Radio interno y externo indicados en la imagen junto al centro de la pupila

Para ello es necesario binarizar la imagen (figura 11).



Figura 11. Ejemplo de cómo queda una imagen después de ser binarizada.

En el segundo paso, se aplanó el iris mediante la función “get polar”, desarrollada por uno de nuestros tutores, es decir, la parte que nos interesa analizar de los iris de nuestras imágenes (los datos se definen por coordenadas polares) se convierte en un rectángulo (Figura 12) donde los datos están definidos por coordenadas cartesianas donde son más fáciles de analizar.

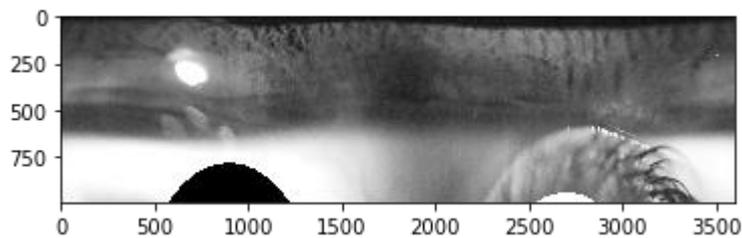


Figura 12. Resultado de pasar los datos de coordenadas polares a cartesianas

Por último, se parte el “rectángulo” horizontalmente y en nuestro caso, se escoge la mitad de arriba, ya que contiene la información que buscamos. (Figura 13)

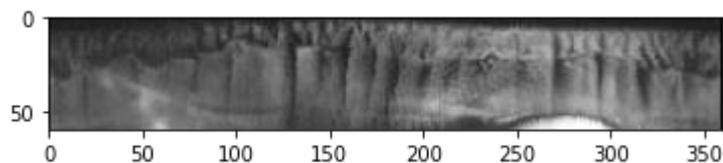


Figura 13. Resultado de la partición.

Se segmenta la imagen verticalmente y utilizamos la mitad izquierda, la parte del iris donde se encuentra una de las criptas que marcan la cruz de San Andrés. Se redimensiona la imagen y se parte en fragmentos de 30x30 (Figura 14) de los que se sacan medias y varianzas de los tonos de negros y grises. La combinación de todas las medias y varianzas de cada fragmento son los atributos con los que se caracterizan todas las imágenes y en los que se trata de buscar patrones que relacionan dicha imagen con el hecho de padecer o no diabetes.

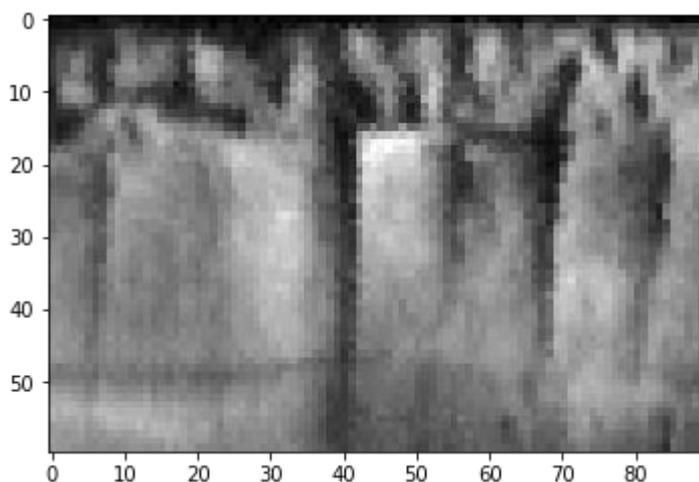


Figura 14. Ejemplo de fragmento 30x30.

### **2.b.2.- Tratamiento de datos estructurados mediante Pandas**

Pandas es una librería de Python para el análisis de datos que proporciona unas estructuras de datos flexibles y que permiten trabajar de forma muy eficiente. Esto va a permitir exportar o importar datos en multitud de formatos, limpiar datos confusos y preparar los datos para análisis posteriores y a nosotros sobretodo nos interesa para uniformizar formatos.

En Pandas se trabaja con un tipo de objeto que se denomina DataFrame (df).

Los DataFrames son datos en forma de tabla a los que se puede acceder a partir de filas o columnas, muy similar a una hoja de cálculo.

El primer paso fue crear dos hojas de cálculo, una con los datos de los alumnos a los que se les realizó la prueba de glucemia y otro con los datos de los radios del ojo.

El segundo paso fue crear dos DataFrames con los datos de las hojas de cálculo. Las dos tenían en común un nombre de columna (el número con el que asignamos previamente a los individuos) lo que será necesario más tarde para la creación del escáner.

A una columna en común, es posible crear un DataFrame con los atributos extraídos en el apartado anterior y los datos del alumno, en concreto si tiene o no diabetes.

### **2.b.3.- Entrenamiento de un clasificador.**

El entrenamiento se llevará a cabo mediante Scikit-learn, una biblioteca de Python para realizar aprendizaje automático (Bishop (2006)).

El aprendizaje automático necesita un conjunto de datos con el que entrenar un algoritmo o sistema, en nuestro caso un clasificador. El conjunto de entrenamiento de este trabajo es un conjunto de medias y varianzas de los iris de nuestras imágenes, y una clase que indica si el individuo es diabético o no. La clase es el atributo objetivo que se desea predecir, es decir, el que debería aprender el sistema y ser capaz de generar predicciones.

Para comprobar la precisión de nuestro clasificador se utilizó la validación cruzada, técnica utilizada para evaluar los resultados de un análisis estadístico y garantizar que son independientes de la partición entre datos de entrenamiento y prueba (Kohavi, R. (1995)).

### **2.b.4.- Creación del prototipo.**

Para la creación del prototipo de nuestro escáner se juntaron todos los pasos previos hechos en los diferentes jupyter notebooks.

En primer lugar se localizaron las coordenadas del ojo, éstas se pasaron de coordenadas de polares a cartesianas y se extrajeron los atributos.

Para cargar los datos fueron unidos los dos DataFrames mencionados antes por la columna llamada "número" que identifica a los individuos por un número aleatorio que les fue asignado y combina los datos de niveles de glucemia con los radios del ojo.

Concatenamos las medias y las varianzas que serán el conjunto de entrenamiento para poder entrenar nuestro clasificador (variable X). Después, se entrena un clasificador, se probaron varios: vecinos más cercanos (k-NN), árboles de decisión, ensembles... El mejor resultado se obtuvo con *ensembles* (combinaciones) de clasificadores, más concretamente Random Forest (Ho (1995)). Más tarde, se visualiza la clase de los mismos, de allí se determina qué tipo es el dato que estamos buscando.

## Resultados

### 1. Resultado del método de análisis visual de las criptas presentes en el área de estudio de la fotografía de los ojos

Una vez obtenida la tabla Excel, se procedió en intervalos de 10° en el conteo del número de criptas entre personas diabéticas y no diabéticas (figura 16).

Figura 16. Tabla Excel donde se muestra el conteo de criptas en los voluntarios. Las filas rojas corresponden a personas diabéticas y las amarillas a personas no diabéticas.

Sobre estos valores la Chi-cuadrado se planteó de la siguiente manera, por ejemplo entre 0° y 9° no había ninguna persona diabética con criptas y solo una persona no diabética con criptas por lo tanto la tabla de contingencia de los valores observados quedaba así:

	Diabéticos	No Diabéticos	Totales
Con Criptas	0	1	1
Sin Criptas	10	24	34
Totales	10	25	35

Si suponemos que el ser o no diabético no tiene relación con la presencia o ausencia de criptas es decir que son caracteres independientes, tendríamos que esperar las siguientes frecuencias:

	Diabéticos	No Diabéticos	Totales
Con Criptas	0,28	0,72	1
Sin Criptas	9,72	24,28	34
Totales	10	25	35

El método de Chi-cuadrado permite comparar las frecuencias observadas con las esperadas y mediante un método de inferencia estadística saber si la idea de partida en este caso que “el número de criptas no tiene que ver con que una persona sea diabética o no” es cierta o falsa. Chi-cuadrado responde a la siguiente fórmula.

$$\chi^2 = \sum \left[ \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \right]$$

Al aplicar la formula obtuvimos los siguientes resultados:

Campo	Valor de Chi-cuadrado	Campo	Valor de Chi-cuadrado
0°-9°	0,41	90°-99°	0,08
10°-19°	0,5	100°-119°	0,88
20°-29°	2,33	120°-129°	0,85
30°-39°	0,08	130°-139°	1,31
40°-49°	0,5	140°-149°	0,37
50°-59°	0,41	150°-159°	0,08
60°-69°	0,9	160°-169°	2,33
70°-79°	0,24	170°-180°	1,31
80-89°	0,08		

Como al consultar la tabla de Chi-cuadrado para un grado de libertad y un nivel de confianza del 95% no sale un valor crítico para rechazar la hipótesis de 3,84 (figura 17) y dado que los valores que hemos obtenido son inferiores a 3,84 llegamos a la conclusión de que la presencia o ausencia de criptas en los ojos no tiene relación con ser o no diabético.

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

Grados de libertad	Probabilidad										
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82
	No significativo								Significativo		

Figura 17. Tabla que representa la distribución de probabilidad de Chi-cuadrado

## 2. Resultados de los análisis obtenidos mediante escáner

Los resultados del aprendizaje automático con el clasificador Random Forest, mediante validación cruzada, nos reflejaron un porcentaje de acierto del 0.647. Es decir, un 64.7% de precisión (Powers, D. (2011)).

Puesto que se trata de un problema desequilibrado o desbalanceado (se disponen de más ejemplos de un tipo, no enfermos, que del otro, enfermos), medidas como la *F1 score* son más adecuadas. En este caso, el resultado del clasificador Random Forest ofreció un valor de la *F1 score*<sup>1</sup> de 0.6431.

## Conclusiones

Si se consideran los resultados obtenidos tanto por el sistema tradicional (conteo de criptas), como por los datos obtenidos por el escáner automático desarrollado por nosotros, se llegaría a la conclusión que el iris no sirve como método para diagnosticar la diabetes. Pero si nos fijamos en los datos estadísticos de la Chi-cuadrado se pueden hacer los siguientes comentarios: en primer lugar, aunque la posición de las criptas de la Cruz de San Andrés no se cumple, es curioso ver que en los sectores que van 20° a 50° y de 150° a 170° y que corresponde con la posición que debían tener dichas criptas los valores de la Chi-cuadrado se acercan más al valor crítico, es decir, indican una mayor relación entre la diabetes y la presencia/ausencia de criptas. Por otro lado, el estudio del escáner se vio limitado por el número de voluntarios diabéticos y sanos, solo 35, lo que no es suficiente para que el clasificador pueda aprender. Además de lo anterior, la calidad de las fotografías es otro punto a tener en cuenta, ya que el desenfoque y la posición de los párpados limitaron la superficie del iris a estudiar a un cuarto del ojo izquierdo. Aun con todos estos impedimentos el algoritmo clasificador alcanza un 64% de aciertos. Por todo lo expuesto, queda para el futuro un apasionante campo, nuestro escáner valora los pixeles pero es incapaz de reconocer formas concretas, como puntos de pigmentación o criptas. El desarrollo de programas más elaborados a sectores de población más amplios nos dará la respuesta a la pregunta ¿Puede el iris diagnosticar la diabetes?

## Agradecimientos

<sup>1</sup> El cálculo del F1 score queda fuera del alcance de este proyecto por extensión y complejidad, por este motivo, para su explicación se remite al lector a la cita [5].

Nos gustaría agradecer al IES Félix Rodríguez de la Fuente por brindarnos la oportunidad de iniciarnos en el campo de la investigación, así como a la Universidad de Burgos. Además, personalmente, damos las gracias Al Dr. Antonio Canepa por sus sugerencias a la hora de tratar estadísticamente los datos tomados y a La Asociación de Diabéticos de Burgos (ASDIBUR), a su presidenta, a su secretaria Patricia, por las facilidades que nos han dado para contactar con personas diabéticas que han querido participar en el proyecto, además de agradecer a todos los voluntarios, tanto a los que han podido aportar datos a nuestro proyecto como a los que no.

También agradecemos a nuestros tutores, Álar Arnaiz González y José Francisco Díez Pastor, por su tiempo y su ayuda durante estos meses en los que han estado a nuestra plena disposición en todo momento, a pesar de las dificultades que conlleva el año académico en la universidad.

Agradecemos igualmente a los profesores del instituto que se han ofrecido a colaborar con nosotros. En especial, a nuestro tutor, Luis Vidal de Benito Aparicio, del Departamento de Biología y Geología, por guiarnos y ayudarnos con su paciencia, constancia e imaginación. También a Jesús Pavón, del Departamento de Inglés, por la ayuda en la elaboración del abstract.

A todos ellos, gracias.

## **Bibliografía**

Batello, C.F. (1996) "Iridiología total" Sao Paulo. Ground.

Bhatia, S.K.; P. Atole; S. Kamble, P. Telang (2015) "Methodology for Detecting Diabetic Presence from Iris Image Analysis" International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Vol 4 Issue3.

Berdonces, Josep Lluís (1990) "El gran libro de la Iridiología" El iris de los ojos refleja la salud. Ed Integral.

Bishop, C. M. (2006) "Pattern Recognition and Machine Learning".

Fortes Salles, L. y Paes de Silva, M.J. (2015) "O sinal da Cruz de Andreás na íris o Diabetes Mellitus: um estudo longitudinal" Revista de Escola de Enfermagem da USP. Journal of School of Nursing. University of São Paulo.

González, M. "Reconocimiento de iris" Trabajo fin de Grado-Ingeniería Informática. Univeritat de Barcelona.

Ho, T. K. (1995) "Random Decision Forests (PDF)". Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC, 14-16 August 1995. pp. 278-282.

Jensen, Bernard (2009) "Iridiología simplificada" Editorial YUG.

Katzung, B.G. (2007) "Pancreatic Hormones & Antidiabetic Drugs" Chapter 41. Basic & Clinical Pharmacology. McGraw-Hill.

Kohavi, R. (1995) "A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection". Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann. 2 (12): 1137-1143.

Larsson, M. (2007) "Human Iris Characteristics as Biomarkers for Personality" Doctorial Dissertation. Örebro University.

Mendez, K.;Rodríguez, C.;Tinajero, A.A. (2015) "Identificación de personas mediante el reconocimiento del iris" Trabajo de Titulación. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Cómputo.

More, S.B. ; Pergad, N.D. (2015) "On a methodology for Detecting Diabetic Presence from Iris Image Analysis" International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering" Vol. 4.

Panwar, S. and Sharma, B. (2014) "Methodology of Iris Image Analysis for Clinical Diagnosis" International Conference on Medical Imaging, m-Health and Emerging Communication Systems (MedCom).

Powers, D. (2011). "Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation" (PDF). Journal of Machine Learning Technologies. 2 (1): 37-63.

Quiring R.; Walldorf, U.; Kloter, U.; Gehring, W.J. (1994) "Homology of the eyeless gene of Drosophila to the Small eye gene in mice and Aniridia in humans" Science 265: 785-789.

Rossum, G. van (1995) "Python tutorial", Technical Report CS-R9526, Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam.

Sander M., Neubuser A.; Kalamaras J.; Ee HC; Martin GR; German MS (1997) "Genetic analysis reveals that PAX6 is required for normal transcription of pancreatic hormone genes and islet development" Genes Dev 11:1662-1673.

Tome, P. (2008) "Reconocimiento automático de patrones de Iris" Proyecto Fin de Carrera. Universidad Autonoma de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Ingeniería de Telecomunicación.

Wildes, R. P. (1997) "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology"

Yasuda, T.; Kajimoyo, Y. ; Fujitani, Y. ; Watada, H. ;Yamamoyo, S. ;Watarai, T. ;Umayahara, Y. ; Matsuhisa, M. ; Gorogawa, S. ; Kuwayama, Y. ; Tano, Y. ; Yamasaki, Y. & Hori, M. (2002) "PAX6 Mutation as a Genetic Factor Common to Aniridia and Glucose Intolerance" Diabetes, Vol. 51.

**Internet**

<https://webeye.ophth.uiowa.edu/eyeforum/atlas/pages/congen-aniridia-2/index.htm>.

<http://www.ispad.org>.