



UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA



Trabajo fin de máster

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones

# Clasificación de lesiones pigmentadas basada en la lista de comprobación de los 7 puntos

**Titulación:** Máster en Electrónica, Tratamiento de señal y Comunicaciones

**Directoras:** Dra. Begoña Acha Piñero, Dra. Carmen Serrano Gotarredona

**Autor:** Raúl Arroyo Campaña

Sevilla, Octubre 2016







Doña Begoña Acha Piñero y Doña Carmen Serrano Gotarredona, profesoras del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad de Sevilla.

**HACEN CONSTAR:**

Que el presente Proyecto Fin de Máster titulado: “Clasificación de lesiones pigmentadas basada en la lista de comprobación de los 7 puntos”, ha sido realizado bajo nuestra dirección por D. Raúl Arroyo Campaña, habiéndose cumplido los objetivos previstos.

En Sevilla, Octubre de 2016.

**DIRECTORAS**

Fdo. Dra. Begoña Acha Piñero

Fdo. Dra. Carmen Serrano Gotarredona



# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO .....	3
3. ANTECEDENTES .....	5
3.1. Lesión melanocítica .....	5
3.2. Dermatoscopia .....	6
3.2.1. <i>Definición</i> .....	6
3.2.2. <i>Historia</i> .....	6
3.2.3. <i>Diagnóstico mediante dermatoscopia</i> .....	9
3.3. Lista de comprobación de los 7 puntos (7-points checklist) .....	9
3.3.1. <i>Red atípica pigmentada</i> .....	15
3.3.2. <i>Velo azul blanquecino</i> .....	15
3.3.3. <i>Patrón vascular atípico</i> .....	16
3.3.4. <i>Rayas irregulares</i> .....	16
3.3.5. <i>Pigmentación irregular</i> .....	16
3.3.6. <i>Puntos/glóbulos irregulares</i> .....	17
3.3.7. <i>Estructuras de regresión</i> .....	17
3.4. Análisis de patrones .....	17
3.5. Características globales .....	17
3.5.1. <i>Patrón reticular</i> .....	18
3.5.2. <i>Patrón globular</i> .....	18
3.5.3. <i>Patrón empedrado</i> .....	19
3.5.4. <i>Patrón homogéneo</i> .....	20
3.5.5. <i>Patrón estrellado</i> .....	21
3.5.6. <i>Patrón paralelo</i> .....	21
3.5.7. <i>Patrón multicomponente</i> .....	22
3.5.8. <i>Patrón lagunar</i> .....	22
3.5.9. <i>Patrón inespecífico</i> .....	23
3.6. Características locales.....	23
3.6.1. <i>Red pigmentada</i> .....	23
3.6.2. <i>Glóbulos y puntos</i> .....	24
3.6.3. <i>Rayas</i> .....	25
3.6.4. <i>Velo azul-blanquecino</i> .....	26
3.6.5. <i>Pigmentación</i> .....	26
3.6.6. <i>Hipopigmentación</i> .....	27

3.6.7. Estructuras de regresión .....	28
3.6.8. Estructuras vasculares .....	28
3.6.9. Otras .....	28
4. METODOLOGÍA .....	31
4.1. Segmentación de la lesión .....	31
4.2. Detección de la red pigmentada .....	33
4.3. Velo azul-blanquecino.....	39
4.4. Patrón vascular.....	44
4.5. Rayas irregulares.....	47
4.5.1. “Segmentación rayas” para rayas irregulares .....	52
5. RESULTADOS.....	55
5.1. Validez de una prueba diagnóstica .....	55
5.1.1. Sensibilidad.....	55
5.1.2. Especificidad.....	56
5.2. Red pigmentada.....	56
5.3. Velo azul-blanquecino.....	57
5.4. Patrón vascular.....	58
5.5. Rayas irregulares.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	63



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Capas de la piel. Fuente: [3].....	5
Ilustración 2. Microscopio Zeiss. Fuente: www.ranm.es .....	7
Ilustración 3. Dermatoscopio. Fuente: www.securlab.it .....	9
Ilustración 4. Lesión 1: Puntuación = 7 → Melanoma .....	14
Ilustración 5. Lesión 2: Puntuación = 3 → Melanoma .....	15
Ilustración 6. Lesión 3: Puntuación = 1 → No melanoma .....	15
Ilustración 7. Lesión 4: Patrón reticular típico .....	18
Ilustración 8. Lesión 5: Patrón reticular atípico.....	18
Ilustración 9. Lesión 6: Patrón globular típico .....	19
Ilustración 10. Lesión 7: Patrón globular atípico .....	19
Ilustración 11. Lesión 8: Patrón empedrado típico.....	19
Ilustración 12. Lesión 9: Patrón empedrado atípico .....	20
Ilustración 13. Lesión 10: Patrón homogéneo típico.....	20
Ilustración 14. Lesión 11: Patrón homogéneo atípico.....	20
Ilustración 15. Lesión 12: Patrón estrellado típico.....	21
Ilustración 16. Lesión 13: Patrón estrellado atípico.....	21
Ilustración 17. Lesión 14: Patrón paralelo.....	22
Ilustración 18. Lesión 15: Patrón multicomponente .....	22
Ilustración 19. Lesión 16: Patrón lagunar.....	23
Ilustración 20. Lesión 17: Patrón inespecífico.....	23
Ilustración 21. Lesión 18: Red pigmentada típica .....	24
Ilustración 22. Lesión 19: Red pigmentada atípica.....	24
Ilustración 23. Lesión 20: Glóbulos regulares .....	25
Ilustración 24. Lesión 21: Glóbulos irregulares.....	25
Ilustración 25. Lesión 22: Rayas regulares.....	25
Ilustración 26. Lesión 23: Rayas irregulares .....	26
Ilustración 27. Lesión 24: Velo azul-blanquecino .....	26
Ilustración 28. Lesión 25: Pigmentación regular .....	27
Ilustración 29. Lesión 26: Pigmentación irregular.....	27
Ilustración 30. Lesión 27: Hipopigmentación.....	27
Ilustración 31. Lesión 28: Estructuras de regresión.....	28
Ilustración 32. Lesión 29: Estructuras vasculares.....	28
Ilustración 33. Lesión 30: Quistes blanco-amarillos .....	29
Ilustración 34. Lesión 31: Lagunas azules .....	29
Ilustración 35. Lesión 32: Estructuras en hoja .....	29
Ilustración 36. Diagrama para el algoritmo "segmentación" .....	31
Ilustración 37. Bimodalidad del plano azul RGB.....	32
Ilustración 38. Máscara generada en la segmentación .....	32
Ilustración 39. Lesión 33. Red pigmentada típica. ....	33
Ilustración 40. Lesión 34: Red pigmentada atípica.....	34
Ilustración 41. Diagrama para el algoritmo "red pigmentada" .....	34
Ilustración 42. Histograma de una lesión en escala de grises .....	35

Ilustración 43. Aislamiento de tonos oscuros en lesión en escala de grises .....	36
Ilustración 44. Lesión 35: Velo azul-blanquecino .....	39
Ilustración 45. Diagrama para el algoritmo "velo azul-blanquecino" .....	39
Ilustración 46. Plano HSV. Fuente: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV#Matiz">https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV#Matiz</a> .....	40
Ilustración 47. Lesión 36: Patrón vascular atípico.....	44
Ilustración 48. Diagrama para el algoritmo "patrón vascular" .....	45
Ilustración 49. Lesión 37: Detalle de la presencia de rayas irregulares.....	48
Ilustración 50. Detalle del contorno de rayas irregulares .....	48
Ilustración 51. Diagrama para el algoritmo "rayas irregulares" .....	49
Ilustración 52. Detalle del contorno y las islas de una lesión .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros definidos en la Reunión de Consenso de Hamburgo y agrupados en la lista de los 7 puntos .....	11
Tabla 2. Detalle de las características de los 7 puntos .....	13
Tabla 3. Puntuación de cada uno de los criterios del método de los 7 puntos.....	14
Tabla 4: Relación entre el resultado de una prueba diagnóstica y la presencia o ausencia de enfermedad. ....	55
Tabla 5. Resultados para red pigmentada.....	56
Tabla 6. Resultados para velo azul-blanquecino.....	57
Tabla 7. Resultados para patrón vascular .....	58
Tabla 8. Resultados para rayas irregulares .....	59



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultados para red pigmentada .....	57
Gráfico 2. Resultados para velo azul-blanquecino .....	58
Gráfico 3. Resultados para patrón vascular .....	59
Gráfico 4. Resultados para rayas irregulares .....	60



## 1. INTRODUCCIÓN

La clasificación de lesiones pigmentadas es hoy en día uno de los temas más estudiados en cuanto a la prevención de cánceres cutáneos. La detección a tiempo de una lesión pigmentada de tipo melanoma puede evitar, con el tratamiento adecuado, la muerte del paciente en cuestión en el peor de los casos. Es por eso que este tipo de lesiones, cada vez más comunes con el paso de los años, son estudiadas en profundidad por expertos dermatólogos.

Con la llegada de las nuevas tecnologías y los sistemas CAD (Computer Aided Detection) se ha generado la necesidad de desarrollar sistemas que sean capaces de diagnosticar automáticamente una lesión pigmentada en función de sus características visuales. Estos sistemas suponen una ayuda para el médico no especialista en lesiones pigmentadas en cuanto a la detección y diagnóstico de cáncer sirviendo como un primer diagnóstico que deberá ser contrastado con el diagnóstico de un médico experto. Además este tipo de tecnologías permiten el entrenamiento a futuros dermatólogos.

No obstante los algoritmos desarrollados para la detección de las diferentes características que definen a una lesión pigmentada como maligna nunca tienen una sensibilidad del 100%, es decir, hay casos en los que siendo una lesión maligna se la diagnostica como benigna. Muchos investigadores han buscado métodos que permitan conseguir esa sensibilidad del 100% pero dada la complejidad de los casos y la infinidad de posibilidades que se pueden dar en una lesión, aún no ha sido conseguida dicha sensibilidad.

## Capítulo 1. Introducción



## 2. OBJETIVO

El objetivo del presente Trabajo Fin de Máster es desarrollar un algoritmo que sea capaz de identificar y clasificar una lesión pigmentada según sea maligna o benigna en función de sus características en color, textura, forma, etc. Este algoritmo se implementará en lenguaje Matlab

Para ello se va a implementar un algoritmo que detecta 4 de los patrones definidos en el método de la lista de los 7 puntos (7-point checklist). Ideado por Argenziano [1], este método de los 7 puntos se basa en la detección de 7 patrones cutáneos que pueden estar presentes en la lesión. Atendiendo a qué patrones se manifiestan y a un factor de ponderación previamente asignado a cada patrón, se puede deducir si una lesión es cancerígena cuando supera un determinado umbral de puntuación. Este método se explicará con más detalle en la sección “3.3” y, aunque se recurrirá a trabajos de investigación en el campo de la dermatoscopia que se pueden consultar en la bibliografía del presente trabajo, los métodos desarrollados son totalmente independientes y diferentes de los que se han consultado. Si bien pueden tener algo en común, el objetivo no es el de copiar el algoritmo desarrollado por otros investigadores, por ello se han realizado las modificaciones oportunas siempre con la meta de mejorar lo desarrollado por otros investigadores.

Para el desarrollo de estos algoritmos se dispone de un banco de imágenes preclasificadas por un grupo de expertos dermatólogos recogidas en el Atlas de la Dermatoscopia [2] en donde para cada característica presente en el método de los 7 puntos se tiene un banco de imágenes con lesión maligna y otro banco con lesión benigna. Dada la complejidad del desarrollo de estos algoritmos para cada una de las 7 características definidas en el método y para no excederse en el tiempo, sólo se van a desarrollar 4 de los 7 puntos. Estos son: red pigmentada atípica, velo azul-blanquecino, patrón vascular atípico y rayas irregulares. El porqué de elegir estos 4 puntos y no otros es que éstos son los más complejos de implementar y sobre los que más estudios se realizan, los otros 3 puntos ya alcanzan una alta sensibilidad en la clasificación en la literatura. Además de ser los más complejos de implementar por sus características, estos 4 puntos suponen la mayor probabilidad de que una lesión sea de tipo melanoma ya que como se verá a continuación, aumentan rápidamente la probabilidad de cáncer melanocítico. Los restantes 3 puntos aumentan la probabilidad de cáncer de forma lenta y tienen poco peso en la decisión final.

## Capítulo 2. Objetivo

Finalmente y como objetivo principal, es conseguir que los algoritmos desarrollados para la clasificación de la lesión tengan una buena sensibilidad y especificidad, términos que se explicarán más adelante y que básicamente definen la capacidad para detectar melanoma o no melanoma respectivamente. Estudios realizados por investigadores en este campo han conseguido desarrollar algoritmos con sensibilidad de entre 70%-90% e igual especificidad, resultados bastante buenos pero que no permiten tener “una fe ciega” en sus diagnósticos. Se buscará pues desarrollar un método que alcance estos valores como mínimo pero difiera de los ya publicados en la literatura.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. Lesión melanocítica

El cáncer se origina cuando las células comienzan a crecer de forma descontrolada, en cualquier parte del cuerpo y pudiendo extenderse a otras áreas del mismo. Un melanoma no es más que un cáncer que se origina en cierto tipo de células de la piel [3]

La piel se divide en tres capas: la epidermis, la dermis y la hipodermis, esta última también llamada subcutis. La “Ilustración 1” muestra la disposición de estas capas en la piel.

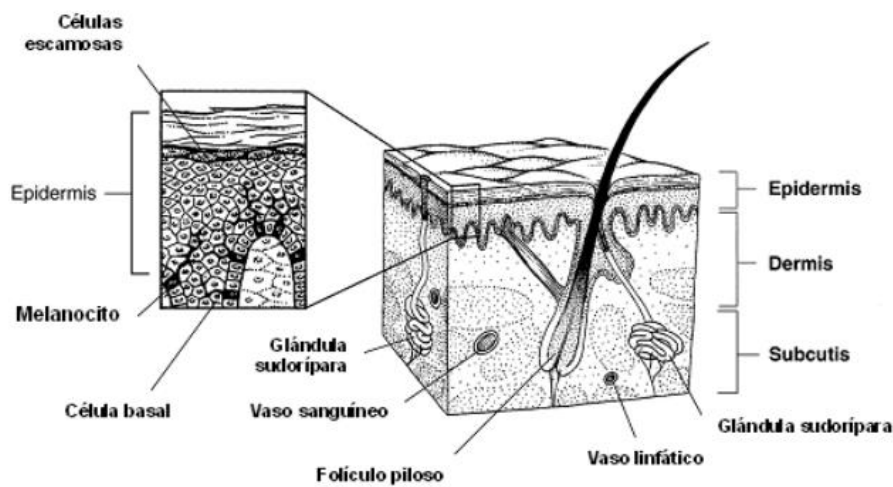


Ilustración 1. Capas de la piel. Fuente: [3]

La epidermis es la capa superior y más fina y su función es proteger a las capas inferiores. Las células que se encuentran en esta capa son: células escamosas que se encuentran más al exterior y se desprenden constantemente, las células basales en la parte inferior de la epidermis que se encargan de reemplazar las células escamosas y los melanocitos, células que se pueden convertir en melanoma y que dan color a la piel.

La dermis es la capa media de la piel y es más gruesa que la epidermis. Contiene folículos pilosos, glándulas sudoríparas, vasos sanguíneos y nervios.

La hipodermis es la capa más profunda y ayuda al cuerpo a conservar el calor y a amortiguar posibles choques contra los órganos.

Como se ha comentado, el cáncer de piel se origina en los melanocitos. El color marrón o negro de estos melanomas se debe a que los melanocitos siguen produciendo

## Capítulo 3. Antecedentes

melanina dándole color, no obstante existen casos en los que los melanocitos dejan de producir melanina creándose un melanoma de color blanco o rosado.

Existen otros tipos de cánceres de piel como el cáncer de células basales y el cáncer de células escamosas y son más comunes que los cánceres melanocíticos aunque debido a que no se propagan a otras partes del cuerpo raramente son de carácter preocupante.

Por otro lado, existen tumores no cancerosos o benignos de la piel. Un lunar o nevo es un tumor originado por los melanocitos y puede parecerse en forma, color y tamaño a un melanoma. Es, por tanto, necesario consultar a un especialista que diferencie entre estos dos tipos de lesiones a fin de descartar posibles cánceres de piel. Los tumores más típicos son: queratosis seborreicas o manchas con relieve de color marrón, hemangiomas o crecimiento benigno de los vasos sanguíneos, lipomas o crecimientos blandos de células adiposas y verrugas, crecimientos causados por el virus del papiloma humano (VPH).

### **3.2. Dermatoscopia**

#### **3.2.1. Definición**

La dermatoscopia o ELM por sus siglas en inglés (EpiLuminescence Microscopy) es una técnica de diagnóstico de lesiones pigmentadas de la piel no invasiva y en tiempo real que permite una buena visualización de las estructuras superficiales de la piel que el ojo humano no puede ver por sí solo [4].

La técnica de adquisición de una dermatoscopia consiste en la colocación de aceite mineral o alcohol en la lesión y la posterior visualización con un microscopio de mano (también llamado dermatoscopio), con un estereomicroscopio, una cámara o un sistema de imagen digital. El dermatoscopio proporciona un aumento de la imagen de hasta 10 veces permitiendo una visualización en detalle de la lesión. La colocación de alguno de estos fluidos elimina la reflexión de la superficie lo que permite una mejor visualización de las estructuras pigmentadas dentro de la epidermis.

#### **3.2.2. Historia**

La historia de la dermatoscopia [5] comienza en el siglo XVII con Pierre Borel (1620-1689), un médico, botánico y alquimista francés que se dedicó entre otras cosas a la óptica donde fue pionero en el uso del microscopio. Fue así como observó de forma pionera los vasos capilares del lecho ungueal, algo que hoy día se conoce como capilaroscopia.

Posteriormente, en 1879, el cirujano alemán Karl Hueter realizó un estudio sobre los vasos capilares de la mucosa oral con la ayuda de una lupa y luz artificial.

En 1878, Ernst Karl Abbe junto con Carl Zeiss, médico y fabricante de microscopios respectivamente, usaron aceite de cedro para incrementar la resolución de sus observaciones al microscopio mejorando la microscopia de inmersión.



Ilustración 2. Microscopio Zeiss. Fuente: [www.ranm.es](http://www.ranm.es)

Paul Gerson Unna, padre de la dermatopatología, reconoció en 1893 que las capas superiores de la epidermis bloqueaban la penetración de la luz por lo que basándose en los estudios de Abbe y Zeiss decidió aplicar aceites solubles sobre la piel para hacerla más translúcida estudiando así el lupus vulgar con una lente de vidrio, proceso que llamó diascopea.

Ya en el siglo XX, en 1911, Lombar fue el primero en utilizar glicerina en el pliegue ungueal para hacer visibles los vasos capilares. Posteriormente en 1922, Otfried Müller definió las pautas para la construcción de microscopios capilares.

En 1920, Johann Saphier sentó las bases de las aplicaciones de la microscopia e ideó el término “dermatoscopia”. Sus estudios se basaron en el uso de un microscopio con fuentes laterales de luz. También estableció criterios para diferenciar la tuberculosis cutánea, la sífilis y las bases morfológicas del color de la piel, estudió los nevos melanocíticos e ideó el concepto de “glóbulo de pigmento” que se usa aún hoy día.

Hans Hinselmann, 1930, utilizó los principios de la microscopia para el desarrollo de la colposcopia en la detección de enfermedades en el cuello uterino.

### Capítulo 3. Antecedentes

Leon Goldman describió en 1951 el uso de la microscopia en tumores e impulsó la creación de un microscopio portátil con fuente de luz endógena para mejorar la calidad de observación en la práctica diaria de los nevos melanocíticos y el melanoma.

### **3.2.3. Diagnóstico mediante dermatoscopia**

El motivo de la aparición y posterior desarrollo de la dermatoscopia como herramienta para el diagnóstico de lesiones pigmentadas es debido a que supone una mejora considerable en la precisión del diagnóstico de la lesión. Estudios recientes muestran que en torno al 65-80% de los melanomas estudiados por un grupo de expertos en dermatología son detectados positivamente [6]. Otro estudio centrado en dermatoscopia afirma que el uso de herramientas dermatoscópicas aumenta en un 10-27% la probabilidad de detección positiva de melanomas respecto al estudio anterior [7].



Ilustración 3. Dermatoscopio. Fuente: [www.securlab.it](http://www.securlab.it)

1981 fue la fecha clave en el estudio de las lesiones dermatológicas pues Fritsch y Pechlaner sentaron las bases para la diferenciación de lesiones melanocíticas benignas y malignas. 6 años después, en 1987, Pehamberger introdujo una serie de patrones para el diagnóstico de lesiones pigmentadas.

En 1989 tiene lugar la 1ª Reunión de Consenso en Hamburgo donde se definieron los criterios dermatoscópicos y se relacionaron con las estructuras histopatológicas. 5 años después, en 1994, Stolz idea y desarrolla el método de la regla ABCD [8], 2 años después, Menzies desarrolla un método que lleva su propio nombre [9] y 2 años después, en 1998, Argenziano desarrolla el método de la lista de los 7 puntos [1].

Dado que este trabajo se basa en la lista de comprobación de los 7 puntos, a continuación se explica en detalle dicha regla diagnóstica.

### **3.3. Lista de comprobación de los 7 puntos (7-points checklist)**

El método de los 7 puntos [1] se diseñó para simplificar el análisis de los patrones presentes en lesiones dermatológicas reduciendo el número de características a identificar y

### Capítulo 3. Antecedentes

dando a cada una de estas un valor de peso en función de su severidad o probabilidad de recurrencia en melanoma de tipo maligno. Así, el objetivo de este método fue conseguir que dermatólogos no expertos fueran capaces de clasificar un alto porcentaje de melanomas.

Estos patrones fueron definidos en la Reunión de Consenso de Hamburgo [10] y posteriormente agrupados en la lista de los 7 puntos. La agrupación realizada por Argenziano se muestra en la “Tabla 1”.



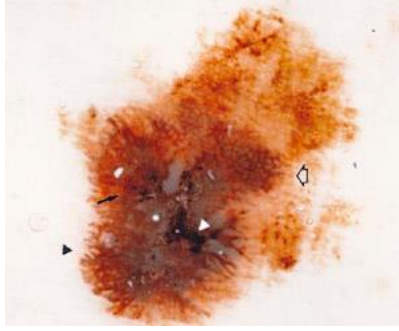
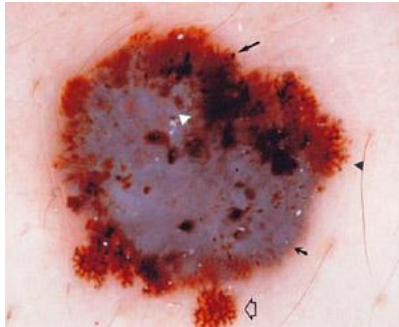

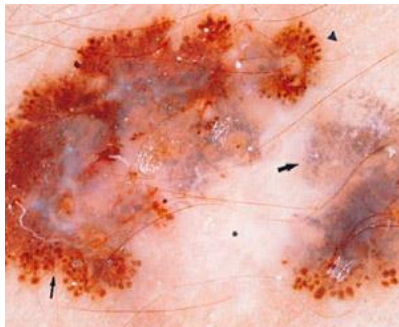
## Clasificación de lesiones pigmentadas

Bahmer, 1990 [10]	Argenziano, 1998 [1]
1. Red Pigmentada discreta 2. RP prominente 3. RP regular 4. RP irregular 5. RP ancho 6. RP estrecho 7. RP amplio 8. Rp delicado	1.Red atípica pigmentada (atypical pigment network)
9. “Pseudovainas” 10. Flujo radial	2. Rayas irregulares (irregular streaks)
11. Glóbulos marrones 12. Puntos negros	3. Puntos/glóbulos irregulares (irregular dots/globules)
13. Velo blanquecino	4. Velo azul blanquecino (blue whitish veil)
14. Zonas similares a una cicatriz blanca 15. Áreas gris/azul	5. Estructuras de regresión (regression structures)
16. Quistes Milia 17. Aberturas Comedo 18. Telangiectasia 19. Áreas de color rojo-azul 20. Áreas con forma de hoja	6. Pigmentación irregular (Irregular pigmentation) 7. Patrón vascular atípico (Atypical vascular pattern)

Tabla 1. Parámetros definidos en la Reunión de Consenso de Hamburgo y agrupados en la lista de los 7 puntos

Cada uno de estos 7 puntos se describe con más de detalle en la “Tabla 2”:

Capítulo 3. Antecedentes

Criterio	Definición	Correlación histopatológica	Lesión
1. Red atípica pigmentada	Red negra, marrón o gris con mallas irregulares y líneas gruesas	Crestas irregulares y amplias	
2. Velo azul blanquecino	Pigmentación difusa, irregular, confluyente o gris-azul a azul-blanquecino	Epidermis acantósica con hipergranulosis focal sobre melanocitos pigmentados en gran medida en la dermis	
3. Patrón vascular atípico	Vasos lineales o puntos claramente no combinados con estructuras de regresión	Neovascularización	
4. Rayas irregulares	Estructuras lineales irregulares claramente no combinadas con líneas de la red pigmentada	Nidos confluentes de melanocitos	


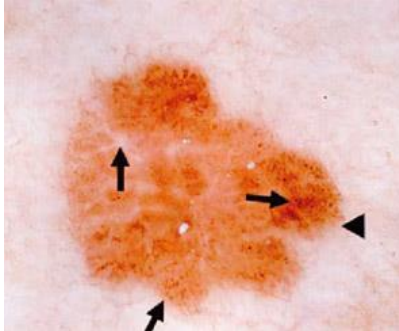
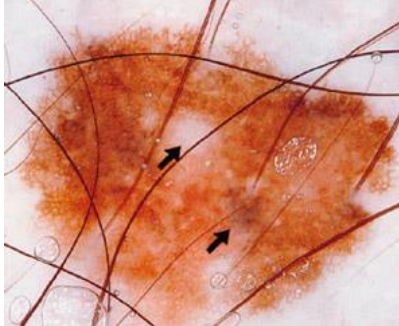
<p>5. Pigmentación irregular</p>	<p>Áreas pigmentadas de negro, marrón y/o gris con forma y/o distribución irregular</p>	<p>Hiperpigmentación de la epidermis y/o dermis superior</p>	
<p>6. Puntos/ glóbulos irregulares</p>	<p>Estructuras de distinto tamaño, redondas u ovals de color negro, marrón o gris distribuidos de manera irregular</p>	<p>Agregados de pigmento dentro de estrato córneo, epidermis, unión dermo-epidérmica, o dermis papilar</p>	
<p>7. Estructuras de regresión</p>	<p>Estructuras blancas o de piel dentro de la lesión</p>	<p>Dermis papilar con fibrosis y / o cantidades variables de melanófagos</p>	

Tabla 2. Detalle de las características de los 7 puntos

Para definir la importancia de cada criterio comentado se utiliza el ratio de probabilidad, del inglés “Odds ratio”, es una medida para expresar cuantas veces ocurre un suceso frente a cuantas veces no ocurre, así por ejemplo, un ratio de 4 indica que 1 de cada 4 veces ocurrirá dicho suceso. Para cada uno de los 7 criterios fue calculado mediante análisis multivariable e indica la capacidad de cada criterio de incrementar la probabilidad de detectar un melanoma. Una puntuación de 2 fue dada a aquellos criterios en los que el ratio de probabilidad fue mayor a 5 y 1 punto cuando el ratio fue menor que 5. Así, se definieron los ratios mostrados en la “Tabla 3” con sus correspondientes puntuaciones o pesos.

### Capítulo 3. Antecedentes

Criterio	Ratio de probabilidad	Puntuación
Red pigmentada atípica	5,19	2
Velo azul blanquecino	11,1	2
Patrón vascular atípico	7,42	2
Rayas irregulares	3,01	1
Pigmentación irregular	4,90	1
Puntos/glóbulos irregulares	2,93	1
Estructuras de regresión	3,89	1

Tabla 3. Puntuación de cada uno de los criterios del método de los 7 puntos

Según las puntuaciones definidas, una simple suma de cada una de ellas presente en una lesión puede predecir si la lesión se considera maligna o benigna. Para ello, una puntuación igual o superior a 3 es indicativo de melanoma, mientras que una puntuación inferior es indicativo de no melanoma. En caso de detectarse melanoma, la sensibilidad o probabilidad de clasificar correctamente un melanoma es del 95%. En caso de no melanoma, la especificidad o probabilidad de clasificar como no melanoma a un no melanoma es del 75%.

A continuación se muestran algunos ejemplos del cálculo de la puntuación y la clasificación en melanoma o no melanoma. Ejemplos obtenidos de [4].

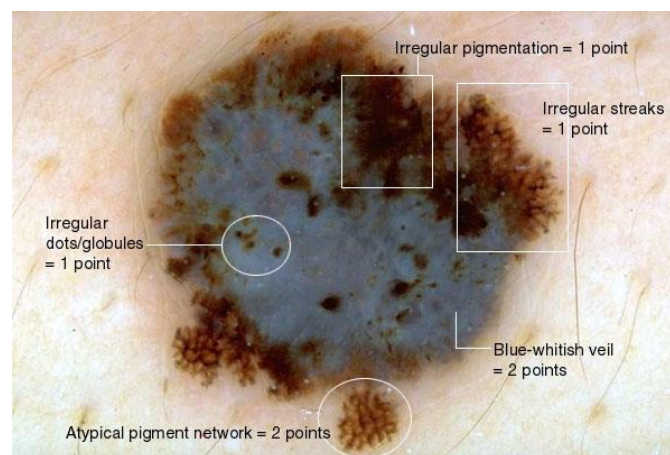


Ilustración 4. Lesión 1: Puntuación = 7 → Melanoma

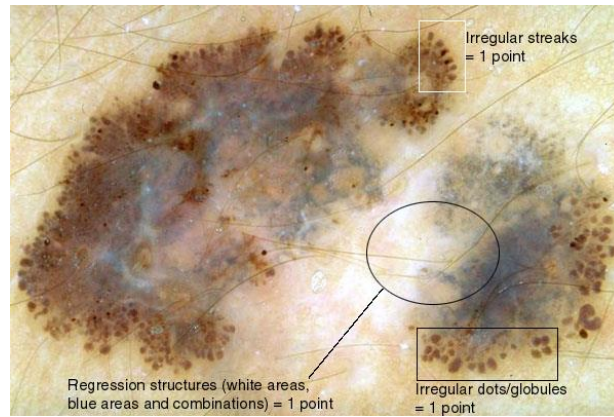


Ilustración 5. Lesión 2: Puntuación = 3 → Melanoma

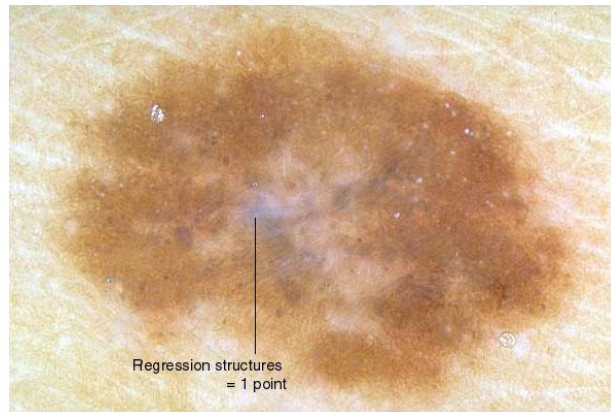


Ilustración 6. Lesión 3: Puntuación = 1 → No melanoma

A continuación se describen en detalle los 7 patrones a observar en el método de la lista de comprobación de los 7 puntos [11]:

### **3.3.1. Red atípica pigmentada**

La red atípica pigmentada se manifiesta como líneas de color marrón oscuro o negro sobre un fondo más claro de distribución heterogénea e irregular con orificios de distintos tamaños. Se traduce histológicamente por la presencia de melanocitos o queratinocitos cargados de melanina en la unión dermoepidérmica de los procesos interpapilares. La red pigmentada típica es aquel con una red homogénea de líneas finas y orificios pequeños.

### **3.3.2. Velo azul blanquecino**

Pigmentación difusa azul-grisácea o azul-blanquecina, con ausencia de estructuras en su interior, que no debe ocupar la lesión por completo. Es un parámetro importante siendo uno de los más específicos del melanoma. Histológicamente, corresponde a la presencia de nidos grandes confluentes de células tumorales intensamente pigmentadas en la dermis



## Capítulo 3. Antecedentes

superficial que aparecen veladas por la superposición de una ortoqueratosis compacta con mayor o menos acantosis e hipergranulosis.

### **3.3.3. Patrón vascular atípico**

La presencia de vasos sanguíneos tumorales es muy importante, pues en el caso de los melanomas amelanóticos, puede ser la única clave diagnóstica. Existen diferentes estructuras que definen el patrón vascular como son: vasos puntiformes que penetran en el tumor desde los plexos dérmicos, vasos en horquilla más gruesos que los anteriores, vasos lineales, glóbulos rojo-azulados o rojos y vasos o eritemas en el interior de estructuras de regresión.

### **3.3.4. Rayas irregulares**

Corresponden a estructuras lineales radiadas en la periferia de la lesión que se extienden en la piel normal adyacente y no están claramente combinadas con las líneas del retículo pigmentado. Existen dos tipos de proyecciones: los pseudópodos y las proyecciones radiales; las primeras tienen una apariencia bulbosa o digitiforme mientras que las segundas son estructuras lineales radiadas y finas. Histológicamente son nidos tumorales de pequeño tamaño, con una morfología celular distinta de las células tumorales adyacente, en la periferia de la lesión. La importancia de estas estructuras radica en su distribución en la lesión melanocítica.

### **3.3.5. Pigmentación irregular**

Corresponden a zonas, dentro de la lesión melanocítica, en la que no pueden distinguirse estructuras en su interior. Pueden ser hiperpigmentadas de color marrón, gris o negro o bien áreas de hipopigmentación. La distribución de estas estructuras es importante pues cuando se localizan de forma regular y difusa se suelen asociar a lesiones melanocíticas benignas, mientras que si lo hacen de forma irregular y focal, son más características de lesión maligna. En algunos nevus juncuales intensamente pigmentados se puede apreciar la existencia de una mancha de pigmento habitualmente en la zona central llama “lamela negra” que corresponde a la presencia de agregados de melanina en el estrato córneo y que en ocasiones puede eliminarse tras la aplicación de aceite de inmersión.

### **3.3.6. Puntos/glóbulos irregulares**

Son estructuras circulares pigmentadas menores de 0,1 mm (puntos) o mayores de 0,1 mm (glóbulos) y de coloración negra si están localizados en la capa córnea, marrones si están en la epidermis o azules si están en la dermis. Histológicamente, suelen corresponder a agregados focales de melanocitos o de gránulos de melanina.

### **3.3.7. Estructuras de regresión**

A nivel de dermatoscopia pueden distinguirse áreas de regresión azul, blanca y mixta. Las áreas de regresión azul tienen un origen histológico como áreas de melanofagia, es decir, con macrófagos cargados de melanina o melanófagos. Se distingue del velo azul-blancuecino por no ser confluyente y presentar puntos azul-grisáceos en su interior. Las áreas de regresión blancas corresponden histológicamente a áreas de fibrosis. Las áreas de regresión mixtas contienen ambos tipos de regresión.

## **3.4. Análisis de patrones**

El análisis de patrones [11] en lesiones pigmentadas permite obtener los mejores resultados aunque es necesaria mayor experiencia por parte del médico diagnosticante permitiendo así el reconocimiento de parámetros y patrones que distinguen entre lesión benigna y maligna.

Para la correcta diagnosis, es necesario tener en cuenta las siguientes premisas:

- a) La presencia de un patrón es más importante que su ausencia.
- b) Un solo patrón no es suficiente para hacer el diagnóstico de melanoma.
- c) Existe niveles de importancia entre los distintos patrones.
- d) La ausencia de patrones definidos deben sugerir la posibilidad de que la lesión pueda corresponder a un melanoma.

## **3.5. Características globales**

Las características globales definen los patrones más comunes en lesiones melanocíticas y permiten una primera categorización de estas [4].

### 3.5.1. Patrón reticular

El patrón reticular es el más común en lesiones melanocíticas. Se caracteriza por una red pigmentada de color marrón oscuro sobre un fondo de color marrón claro que cubre la mayor parte de la lesión. Este patrón de líneas delgadas que se difuminan en los bordes normalmente conlleva una lesión benigna. Por otro lado, las redes irregulares o de diferentes tamaños y colores que terminan de forma abrupta en los bordes derivan en una lesión maligna.

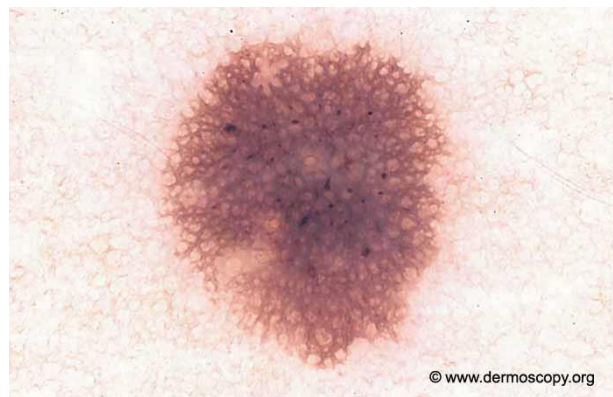


Ilustración 7. Lesión 4: Patrón reticular típico

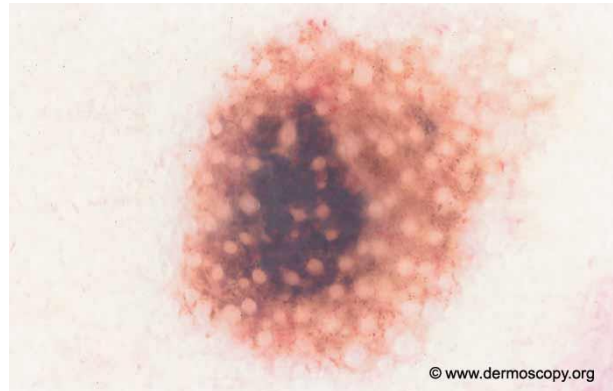


Ilustración 8. Lesión 5: Patrón reticular atípico

### 3.5.2. Patrón globular

El patrón globular se da en aquellas lesiones con presencia de estructuras redondas u ovaladas de diferentes tamaños y de color marrón o gris. Si la estructura presente en la lesión es irregular, de diferente tamaño o de diferentes colores, la lesión se considera maligna.





Ilustración 9. Lesión 6: Patrón globular típico

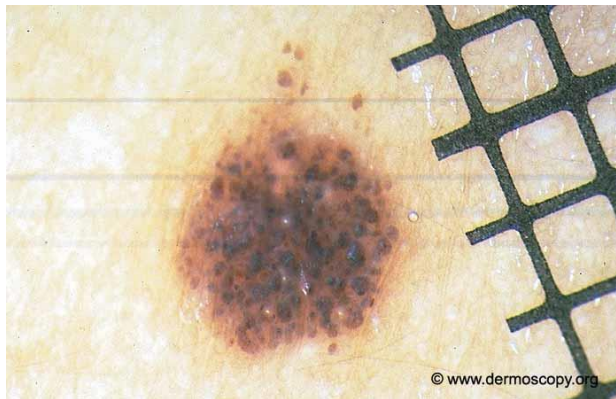


Ilustración 10. Lesión 7: Patrón globular atípico

### **3.5.3. Patrón empedrado**

Muy similar al patrón globular, se diferencia en que la estructura está muy concentrada asemejándose a un mosaico o empedrado.



Ilustración 11. Lesión 8: Patrón empedrado típico

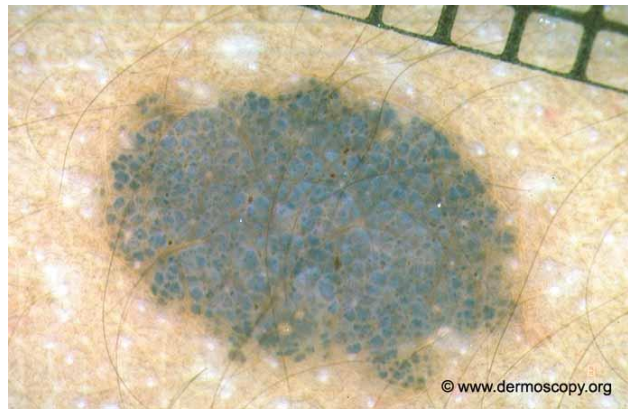


Ilustración 12. Lesión 9: Patrón empedrado atípico

#### **3.5.4. Patrón homogéneo**

Se trata de una forma homogénea, difusa, de colores marrón-azul o gris-negro sin ninguna otra red o estructura claramente visible.



Ilustración 13. Lesión 10: Patrón homogéneo típico



Ilustración 14. Lesión 11: Patrón homogéneo atípico

### 3.5.5. *Patrón estrellado*

Se caracteriza por la presencia de rayas con una disposición radial en los bordes de la lesión. Cuando el patrón de rayas no se encuentra alrededor de toda la lesión, es muy probable que se trate de una lesión maligna.



Ilustración 15. Lesión 12: Patrón estrellado típico



Ilustración 16. Lesión 13: Patrón estrellado atípico

### 3.5.6. *Patrón paralelo*

El patrón paralelo se da de forma exclusiva en los pliegues de piel de manos y pies donde la pigmentación sigue los pliegues de forma paralela, aunque también puede darse el caso de que la pigmentación se disponga de forma perpendicular.



Ilustración 17. Lesión 14: Patrón paralelo

### **3.5.7. Patrón multicomponente**

Como su nombre indica, el patrón multicomponente se caracteriza por estar formado de varios patrones o estructuras tales como red reticular, red de glóbulos, red homogénea, etc. Por norma general, este tipo de patrón está asociado a lesiones malignas.



Ilustración 18. Lesión 15: Patrón multicomponente

### **3.5.8. Patrón lagunar**

Se caracteriza por presentar colores rojizos o azul-purpura en una estructura redonda u ovalada de textura lisa llamada laguna.



Ilustración 19. Lesión 16: Patrón lagunar

### **3.5.9. Patrón inespecífico**

Cuando una lesión no se asemeja a ninguna de las descritas hasta ahora debido a su estructura morfológica, entra en la categoría de patrón inespecífico.

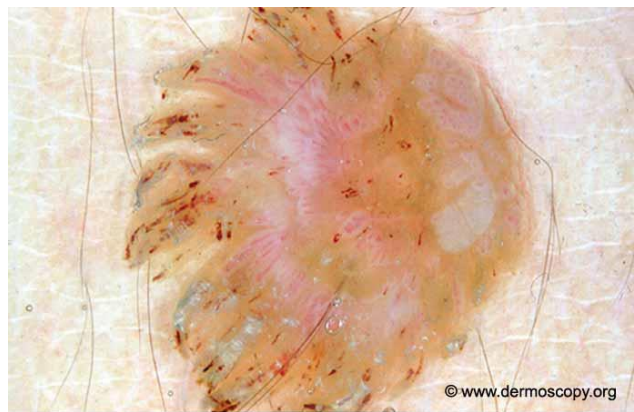


Ilustración 20. Lesión 17: Patrón inespecífico

## **3.6. Características locales**

Las características locales permiten identificar de manera más exacta las diversas características de la lesión así como dar un diagnóstico más preciso sobre el tipo de lesión [4].

### **3.6.1. Red pigmentada**

Su morfología es una estructura en red de color marrón sobre un fondo de color marrón más claro. Cuando esta red tiene forma homogénea, color homogéneo y se difumina en la periferia se habla de red pigmentada típica y por norma general es sinónimo de una lesión benigna. Por el contrario cuando la red tiene forma irregular, sus colores no



### Capítulo 3. Antecedentes

son homogéneos a lo largo de la red o termina de forma abrupta, se habla de red pigmentada atípica y puede derivar en una lesión maligna.

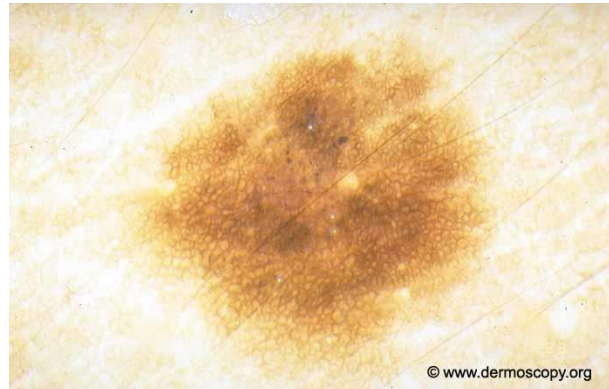


Ilustración 21. Lesión 18: Red pigmentada típica



Ilustración 22. Lesión 19: Red pigmentada atípica

#### **3.6.2. Glóbulos y puntos**

Los glóbulos y puntos tienen forma redonda u ovalada de diferentes tamaños y colores negro, marrón o gris y pueden ser regulares o irregulares. En caso de ser regulares, la forma, el tamaño y el color se distribuyen de manera uniforme a través de la lesión originando una lesión benigna. En caso contrario se trata de una lesión maligna con forma irregular.

Además de este tipo de glóbulos, existen glóbulos de tonos rojos y están asociados en un alto margen de casos con melanomas.



Ilustración 23. Lesión 20: Glóbulos regulares



Ilustración 24. Lesión 21: Glóbulos irregulares

### 3.6.3. *Rayas*

Las rayas son estructuras lineales de color marrón-negro de espesor variable que se encuentran de forma típica en la periferia de la lesión con una disposición radial. Éstas pueden ser regulares o irregulares o converger más o menos siendo en estos casos lesión benigna o maligna respectivamente.



Ilustración 25. Lesión 22: Rayas regulares



Ilustración 26. Lesión 23: Rayas irregulares

#### **3.6.4. Velo azul-blanquecino**

El velo azul-blanquecino o azul-grisáceo es un tipo de pigmentación difusa. Se encuentra de forma exclusiva en melanomas.



Ilustración 27. Lesión 24: Velo azul-blanquecino

#### **3.6.5. Pigmentación**

Son zonas de color marrón oscuro o gris-negro de textura difusa que impiden el reconocimiento de otras características dermatoscópicas como redes de pigmento o redes vasculares. Existen redes de pigmentación regular e irregular según su localización y textura difusa siendo síntoma de lesión benigna y maligna respectivamente.



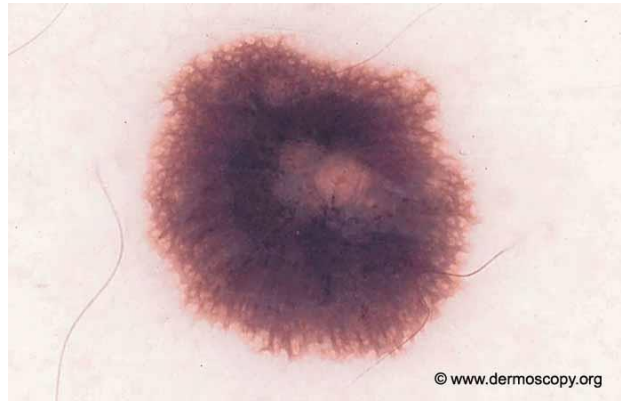


Ilustración 28. Lesión 25: Pigmentación regular



Ilustración 29. Lesión 26: Pigmentación irregular

### **3.6.6. Hipopigmentación**

La hipopigmentación se refiere a áreas localizadas de pigmentación disminuida dentro de la lesión. Normalmente se suelen asociar con melanomas.



Ilustración 30. Lesión 27: Hipopigmentación

### **3.6.7. Estructuras de regresión**

Las estructuras de regresión son áreas blancas, azules o una combinación de ambas dentro de la propia lesión. Estas estructuras en muchos casos son indistinguibles del velo azul-blانquecino por lo que en la mayoría de los casos se clasifica como melanoma.



Ilustración 31. Lesión 28: Estructuras de regresión

### **3.6.8. Estructuras vasculares**

Existen varias estructuras vasculares que derivan en melanoma como son los vasos con forma de puntos, vasos ramificados, vasos dentro de estructuras de regresión, etc.



Ilustración 32. Lesión 29: Estructuras vasculares

### **3.6.9. Otras**

Otras características menos frecuentes son los quistes de color blanco-amarillento, lagunas de color rojo-azulado o estructuras con forma de hoja.



Ilustración 33. Lesión 30: Quistes blanco-amarillos



Ilustración 34. Lesión 31: Lagunas azules



Ilustración 35. Lesión 32: Estructuras en hoja



## 4. METODOLOGÍA

Para desarrollar los algoritmos para este trabajo fin de máster se contará con la herramienta Matlab la cual permite implementar algoritmos de procesamiento de imagen con un lenguaje de programación sencillo y eficaz.

Básicamente se programarán 4 algoritmos, uno por cada uno de los puntos a implementar: red pigmentada atípica, velo azul-blanquecino, patrón vascular atípico y rayas irregulares.

### 4.1. Segmentación de la lesión

Es el primer paso para el análisis de las lesiones pigmentadas el cual consiste en aislar la lesión de la piel sana. Para ello el algoritmo de segmentación acepta como parámetro de entrada una imagen (definida por un número identificativo y un directorio), realiza el proceso de segmentación y devuelve al algoritmo principal la imagen en sí y una máscara de la zona segmentada. En la “Ilustración 36” se describe el diagrama de bloques empleado para segmentar la lesión.

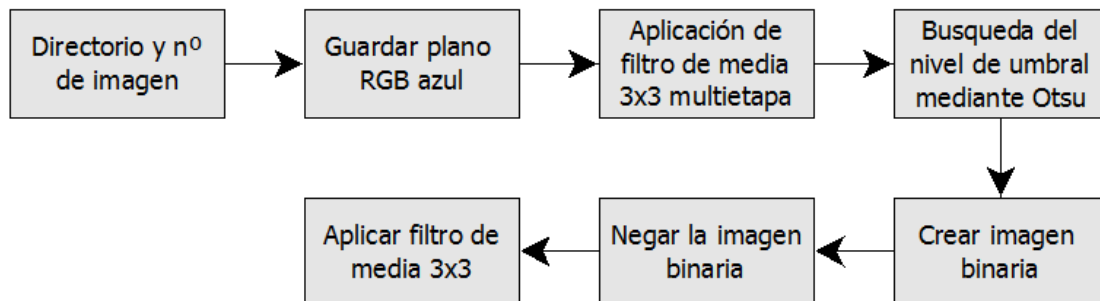


Ilustración 36. Diagrama para el algoritmo "segmentación"

El algoritmo de segmentación se aplica en el plano azul de la imagen RGB, ya que este plano es el más bimodal de los planos RGB, entendiéndose por bimodal la presencia muy definida de dos crestas separadas por un valle en el histograma de la imagen. Esto puede verse en la “Ilustración 37”.

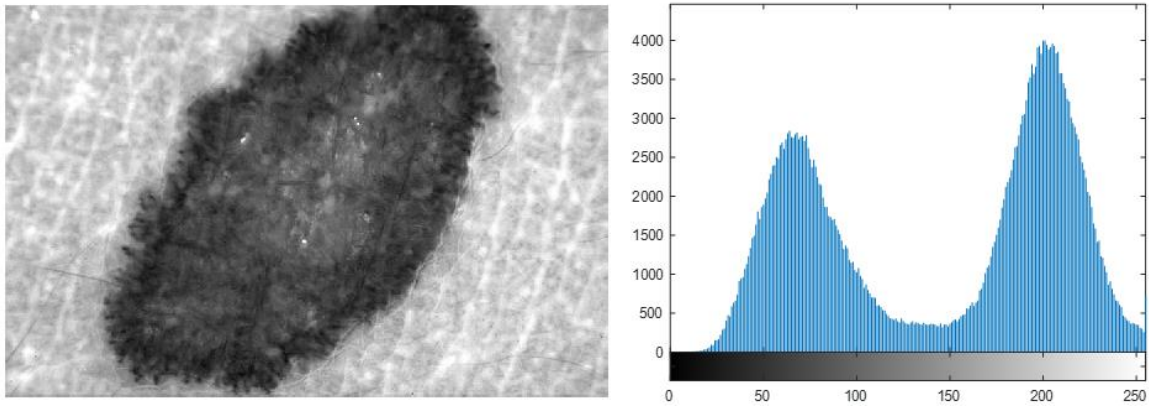


Ilustración 37. Bimodalidad del plano azul RGB

Posteriormente se realiza un filtro de media 3x3 multietapa, esto es, aplicar un filtro de media 3x3 repetidas veces para suavizar la imagen y a continuación se busca el nivel de umbral mediante el método de Otsu que básicamente lo que realiza es buscar la varianza entre dos grupos de valores y quedarse con aquel valor umbral que maximice esta varianza.

$$\sigma_B^2 = \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + \omega_2(\mu_2 - \mu_T)^2 \quad (1)$$

Para ello Matlab dispone de una función ya implementada que realiza las operaciones del algoritmo de Otsu llamada 'graythresh'. A la máscara resultante de esta operación se le invierten los valores para que un '1' corresponda a la zona enferma y un '0' a piel sana.



Ilustración 38. Máscara generada en la segmentación

Seguidamente, el código de programa que realiza dicha segmentación:

```
function [BW,img] = segmentacion (num_img,imdir)

    % Lectura de la imagen y separación de componentes
    img=imread([imdir, strcat(num2str(num_img), '.jpg')]);
    B=img(:,:,3);
```



```

%% Aplicación del filtro de media 3x3 multi etapa al azul
B_m3=medfilt2(B); % La imagen azul es más bimodal que la roja o
la verde
B_m3=medfilt2(B_m3);
B_m3=medfilt2(B_m3);
B_m3=medfilt2(B_m3);

%% Histograma
level = graythresh(B_m3); % Nivel de threshold usando el método de
Otsu (rango [0,1])
BW = im2bw(B_m3,level); % Imagen binaria
BW = not(BW);
BW = medfilt2(BW); % Se realiza un filtro de media a la máscara
para eliminar píxeles falsos de lesión que aparecen en las esquinas
end

```

## 4.2. Detección de la red pigmentada

En el estudio de lesiones melanocíticas es necesario distinguir entre redes pigmentadas típicas y redes atípicas. Las primeras tienen estructura en red de color marrón o negro-gris sobre un fondo del mismo color más claro. Las segundas se componen de una red gruesa de color marrón o negro-gris oscuro sobre un fondo del mismo color más claro y en ocasiones esta red termina de forma abrupta en los bordes. Ejemplos de red pigmentada típica y atípica se muestran en la “Ilustración 39” y en la “Ilustración 40” respectivamente.

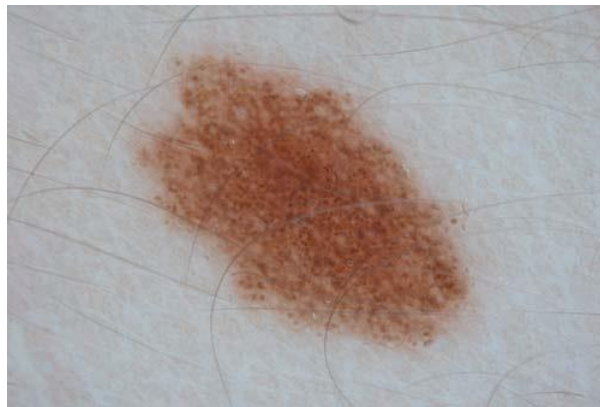


Ilustración 39. Lesión 33. Red pigmentada típica.



Ilustración 40. Lesión 34: Red pigmentada atípica

En base a estas características y a estudios encontrados en [12], se ha implementado un método que busca las diferencias entre los colores de la red y los colores de fondo de la lesión. Si la diferencia de estos colores es significativa es debido a que la red pigmentada es de color muy oscuro respecto al fondo, en cuyo caso se trata de red pigmentada atípica con un valor de 2 puntos en el método de la lista de 7 puntos.

A continuación se muestra un diagrama que resume las operaciones realizadas:

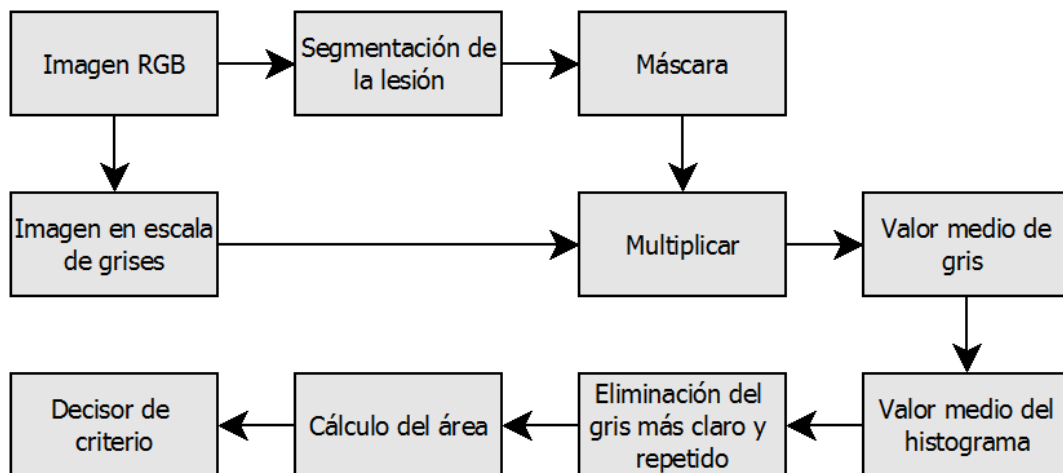


Ilustración 41. Diagrama para el algoritmo "red pigmentada"

En primer lugar se realiza la segmentación de la zona enferma respecto a la piel sana mediante la llamada al algoritmo “segmentación” que se explicó en la sección “4.1”

Una vez obtenida la máscara de la zona enferma, se obtiene una imagen en escala de grises a partir de la imagen RGB mediante la siguiente relación:





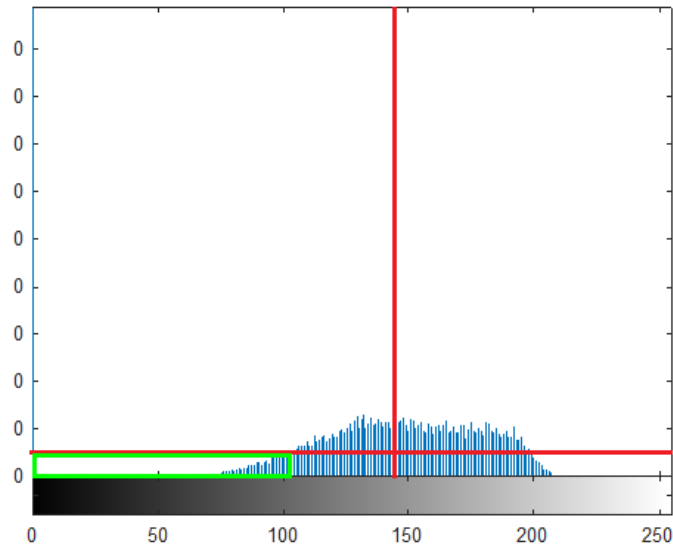


Ilustración 43. Aislamiento de tonos oscuros en lesión en escala de grises

Llegados a este punto, tan sólo resta calcular el área de la red de gris oscuro y compararla con el área total de la lesión para decidir si existe o no red pigmentada atípica.

En el caso de que la red pigmentada sea típica, el histograma tendrá una forma mucho más plana y estrecha por lo que, siguiendo el mismo criterio ya comentado, se puede deducir fácilmente que los píxeles de gris oscuro (los que están dentro del recuadro verde) van a ser menos en cantidad siendo también menor el área y por tanto se descarta que haya red pigmentada atípica.

El código Matlab que realiza estas operaciones se muestra a continuación:

```
clear all
close all
clc

%% Menú
fprintf ('****RED PIGMENTADA****\n\n')
prompt = 'Selección para procesar:\n 1 -> Imágenes con lesión\n 2 -> Imágenes sanas\n 3 -> Todas\n -> ';
x = input(prompt);
fprintf ('Procesando... Espera por favor\n')

%% Selección de directorio de imágenes
if x==1
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imagenes\Pigment network\Patrón atípico\';
elseif x==2
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imagenes\Pigment network\Patrón típico\';
elseif x==3
```

```

    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Pigment network\Patrón
atípico\';
    imdir{2}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Pigment network\Patrón
típico\';
else
    fprintf('Opción no válida\n')
    break;
end

%% Bucle de procesamiento por directorio
for d=1:length(imdir)
    imdir_2=cell2mat(imdir(1,d));
    imagefiles=dir(strcat(imdir_2,'*.jpg'));
    nfiles = length(imagefiles);
    area=0;

    %% Bucle de procesamiento de cada imagen
    for num_img=1:nfiles
        close all
        suma=0; % Se inicializan a 0 las variables usadas
        area_lesion=0;
        area_network=0;
        [BW,img]=segmentacion(num_img,imdir_2);
        Y=0.299*img(:,:,1)+0.587*img(:,:,2)+0.114*img(:,:,3); % Imagen en
escala de grises

        %% Bucle que obtiene el valor medio de la zona enferma
        for i=1:1:size(BW,1)
            for j=1:1:size(BW,2)
                if BW(i,j)==1 % Si es lesión,
                    suma=suma+double(Y(i,j)); % guarda el valor de gris y
                    area_lesion=area_lesion+1; % incrementa el contador
                elseif BW(i,j)==0 % Si no es lesión
                    Y(i,j)=0; % Borra el píxel de la imagen en escala de
grises
            end
        end
        media_color=suma/area_lesion;

        %% Media del histograma
        [counts,binLocations] = imhist(Y); % Obtiene para cada nivel de gris
el nº de píxeles en la imagen
        media_hist=mean(counts(2:256)); % Obtiene la media del nº de píxeles
(excluyendo el negro absoluto)
        if media_color<100 % Si la media del color es muy clara,
            media_hist=media_hist*(1+media_color/255); % la media de color y
del histograma se multiplican por un factor
            media_color=media_color*(1+media_color/255);
        end

        %% Decisor de red atípica
        for i=1:256 % Bucle que busca píxeles claros o colores muy repetidos y
los elimina para quedarse solo con los más oscuros
            if counts(i)>media_hist || media_color<(i-1)
                row=0;
                col=0;
                [row,col] = find(Y==i-1);
                for j=1:length(row)
                    Y(row(j),col(j))=0;
                end
            end
        end
        for i=1:1:size(BW,1) % Bucle que calcula el área de los píxeles
oscuros
            for j=1:1:size(BW,2)

```

## Capítulo 4. Metodología

```
                if Y(i,j)>0
                    area_network=area_network+1;
                end
            end
        end
        area(num_img)=area_network/area_lesion*100;
    end

    %% Resultados
    fprintf ('\n***RESULTADOS***')
    if x==1
        VP=nnz(area>=3); % Verdaderos positivos
        FN=nfiles-VP; % Falsos negativos
        fprintf ('\nVP=%d\nFN=%d\nSensibilidad=%3.2f%%\n',VP,FN,VP*100/nfiles)
    elseif x==2
        VN=nnz(area<3); % Verdaderos negativos
        FP=nfiles-VN; % Falsos positivos
        fprintf
        ('\nVN=%d\nFP=%d\nEspecificidad=%3.2f%%\n',VN,FP,VN*100/nfiles)
    elseif x==3
        if d==1
            VP=nnz(area>=3); % Verdaderos positivos
            FN=nfiles-VP; % Falsos negativos
            fprintf
            ('\nVP=%d\nFN=%d\nSensibilidad=%3.2f%%',VP,FN,VP*100/nfiles)
        else
            VN=nnz(area<3); % Verdaderos negativos
            FP=nfiles-VN; % Falsos positivos
            fprintf
            ('\nVN=%d\nFP=%d\nEspecificidad=%3.2f%%\n',VN,FP,VN*100/nfiles)
        end
    end
end
```

### 4.3. Velo azul-blanquecino

Una de las mayores características que definen a una lesión como melanocítica es la presencia de velo azul ya que tiene un peso de 2 puntos en el método de los 7 puntos y recuérdese que a partir de 3 puntos ya se habla de melanoma. Por tanto, es muy importante saber distinguir este tipo de característica. En base a estudios y desarrollos encontrados en [13] se ha implementado un método para clasificar las zonas azules del velo de una lesión y determinar según su frecuencia si se trata de melanoma o no.



Ilustración 44. Lesión 35: Velo azul-blanquecino

La “Ilustración 45” muestra resumidamente las operaciones realizadas que posteriormente serán detalladas:

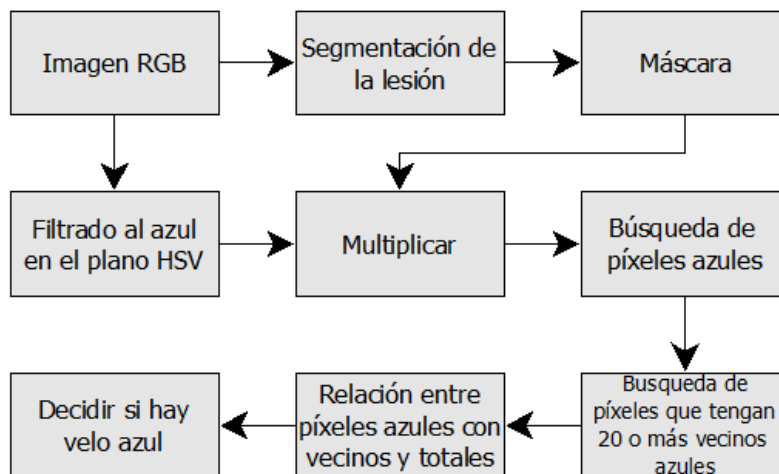


Ilustración 45. Diagrama para el algoritmo "velo azul-blanquecino"

Al igual que para el algoritmo “red pigmentada”, lo primero que se realiza es una segmentación de la imagen que separa la zona enferma de la piel sana. Una vez hecho esto,

## Capítulo 4. Metodología

se procede a filtrar la imagen con dos filtros de color azul en el plano HSV, uno de ellos para tonos de azul claro y otro más restrictivo para tonos de azul más oscuro que pudieran contener tonos de rojo. El motivo por el cual se utiliza el plano HSV (del inglés Hue, Saturation, Value – Matiz, Saturación, Valor) es que permite filtrar colores de forma sencilla y precisa mediante el matiz representado en una región circular de 0° a 360° y, mediante la saturación y el valor elegir el tono adecuado de ese color.

Dichos umbrales implementados en el plano HSV son:

Para tonos azules

$$\begin{aligned} 0,065 < H < 0,483 \\ 0,08 < S < 0,494 \\ 0,231 < V < 0,404 \end{aligned} \quad (3)$$

Para tonos azul-rojos

$$\begin{aligned} 0,058 < H < 0,84 \\ 0,00 < S < 0,369 \\ 0,00 < V < 0,80 \end{aligned} \quad (4)$$

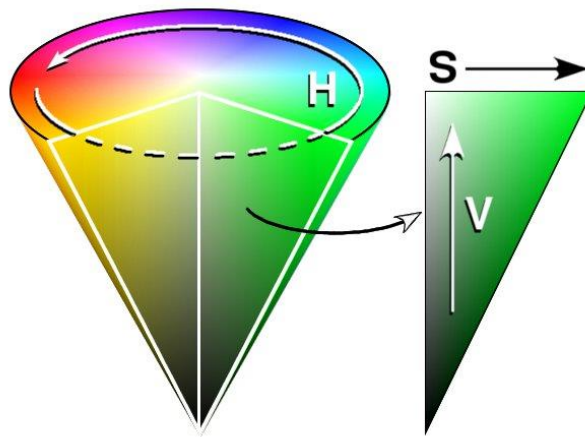


Ilustración 46. Plano HSV. Fuente:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_de\\_color\\_HSV#Matiz](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV#Matiz)

Si el píxel en estudio se encuentra en alguno de estos dos grupos filtrados se considera azul y pasa a incrementar un contador de píxeles azules. Tanto si el píxel es azul como si

no, cada vez que se procese un píxel se incrementa un contador de píxeles totales. Seguidamente y una vez procesados todos los píxeles de la lesión, se realiza una búsqueda vecina de píxeles azules de tal manera que si un píxel azul tiene a su alrededor 20 o más píxeles azules (en una máscara 5x5) se incrementa un contador de vecinos o si no se incrementa un contador de aislados. Para finalizar se halla la relación entre píxeles con 20 o más vecinos y píxeles azules de la lesión, si la relación es mayor o igual al 75%, la lesión contiene velo azul y suma 2 puntos al método de los 7 puntos. En caso contrario es necesario ver si los píxeles que no tienen 20 vecinos (píxeles aislados) superan el 25% del total de píxeles azules y además que el número de píxeles azules supere el 10% de píxeles totales de la lesión. Esto se hace para evitar que lesiones con un velo azul muy disperso o difuso puedan ser consideradas como sanas cuando realmente no lo son.

A continuación se muestra el código empleado en Matlab para la ejecución del algoritmo.

```
clear all
close all
clc

%% Menú
fprintf ('****VELO AZUL****\n\n')
prompt = 'Selecciona para procesar:\n 1 -> Imágenes con lesión\n 2 -> Imágenes sanas\n 3 -> Todas\n -> ';
x = input(prompt);
fprintf ('Procesando... Espera por favor\n')

%% Selección de directorio de imágenes
if x==1
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Blue Veil\Blue-whitish veil\';
elseif x==2
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Blue Veil\Clark-Dermal nevus sin veil\';
elseif x==3
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Blue Veil\Blue-whitish veil\';
    imdir{2}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Blue Veil\Clark-Dermal nevus sin veil\';
else
    fprintf('Opción no válida\n')
    break;
end

%% Bucle de procesamiento por directorio
for d=1:length(imdir)
    imdir_2=cell2mat(imdir(1,d));
```

## Capítulo 4. Metodología

```
imagefiles=dir(strcat(imdir_2,'*.jpg'));
nfiles = length(imagefiles);
Z=zeros(nfiles,1);

%% Bucle de procesamiento de cada imagen
for num_img=1:nfiles
    close all
    BW=0; % Se inicializan a 0 las variables usadas
    img=0;
    BW_blue_whitish=0;
    Nbg=0; % Píxeles con nivel de azul preocupante
    Nn=0; % Píxeles azules que tienen 20 o más vecinos azules
    Ni=0; % Píxeles azules que tienen menos de 20 vecinos azules
    (aislados)
    Ntot=0; % Píxeles totales de la lesión
    [BW,img]=segmentacion(num_img,imdir_2);
    hsv=rgb2hsv(img); % Cambio de plano RGB a HSV

    channel1Min1 = 0.065; % Filtros de color en el plano HSV
    channel1Max1 = 0.483;
    channel2Min1 = 0.080;
    channel2Max1 = 0.494;
    channel3Min1 = 0.231;
    channel3Max1 = 0.404;

    channel1Min2 = 0.058;
    channel1Max2 = 0.840;
    channel2Min2 = 0.000;
    channel2Max2 = 0.369;
    channel3Min2 = 0.000;
    channel3Max2 = 0.800;

    %% Estudia los píxeles con azul preocupante en el plano HSV,
    los demás son descartados
    for i=1:1:size(hsv,1)
        for j=1:1:size(hsv,2)
            if BW(i,j)==1 % Si es lesión y
                if ((hsv(i,j,1) >= channel1Min1 ) & (hsv(i,j,1)
<= channel1Max1) & ... % pasa el filtro HSV,
                    (hsv(i,j,2) >= channel2Min1 ) & (hsv(i,j,2) <=
channel2Max1) & ...
                    (hsv(i,j,3) >= channel3Min1 ) & (hsv(i,j,3) <=
channel3Max1)) || ...
                    ((hsv(i,j,1) >= channel1Min2 ) & (hsv(i,j,1)
<= channel1Max2) & ...
                    (hsv(i,j,2) >= channel2Min2 ) & (hsv(i,j,2) <=
channel2Max2) & ...
                    (hsv(i,j,3) >= channel3Min2 ) & (hsv(i,j,3) <=
channel3Max2))
                    BW_blue_whitish(i,j)=1; % dibuja píxel blanco
                    en una nueva imagen y en la misma posición
                    Nbg=Nbg+1; % Incrementa el n° de píxeles
                    azules
                    Ntot=Ntot+1; % Incrementa el n° de píxeles
                    de la lesión
                else
                    BW_blue_whitish(i,j)=0; % Dibuja píxel negro
                    Ntot=Ntot+1; % Incrementa el n° de píxeles
                    totales pertenecientes a la lesión
                end
            end
        end
    end
end
```





```
        end
    end
end
```

```
function [azules]=mascara5x5(i,j,BW_blue_whitish)
m=0;
n=0;
azules=0;
for m=i-2:1:i+2
    for n=j-2:1:j+2
        if BW_blue_whitish(m,n)==1;
            azules=azules+1;
        end
    end
end
end
end
```

### 4.4. Patrón vascular

La presencia de patrón vascular en una lesión melanocítica supone la suma de 2 puntos al total de los puntos en el método de la lista de los 7 puntos. Básicamente esta característica se define como la presencia de zonas vasculares dentro de la lesión ya sean en forma de puntos o vasos sanguíneos y que no tienen que ver con zonas de regresión.

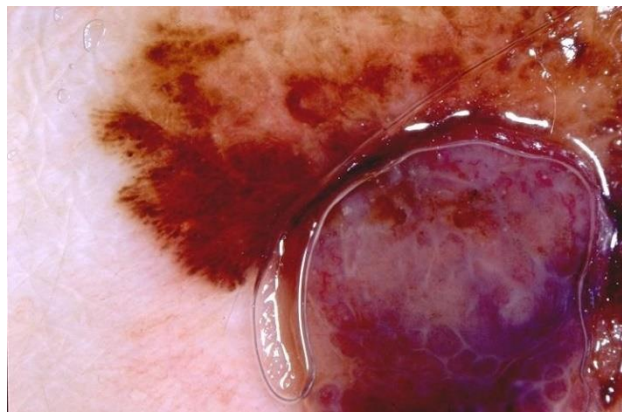


Ilustración 47. Lesión 36: Patrón vascular atípico

Al igual que para métodos anteriores, para la realización de este algoritmo se ha recurrido a estudios encontrados en [14] los cuales han sido modificados con el fin de conseguir los mejores resultados. Un diagrama de lo realizado se muestra a continuación:

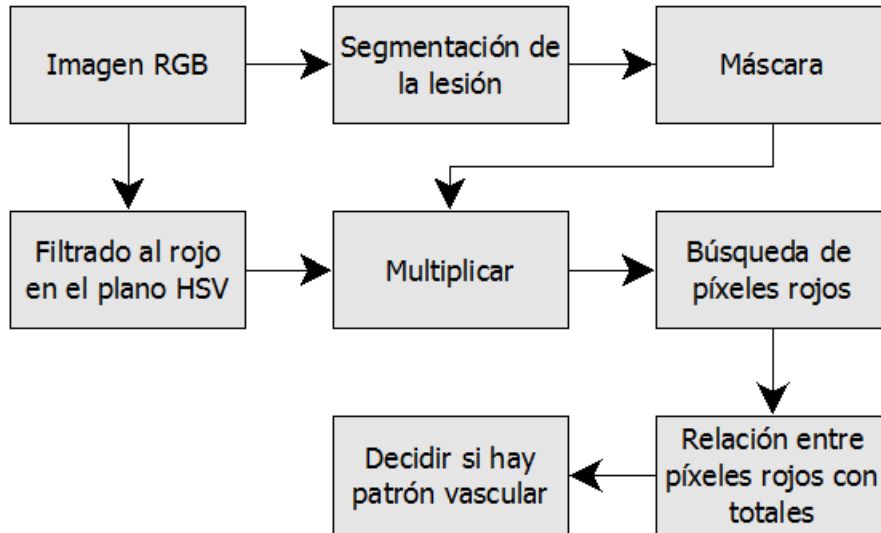


Ilustración 48. Diagrama para el algoritmo "patrón vascular"

Una vez conseguida la máscara de la imagen en estudio se procede a pasar la imagen original al plano HSV para realizar un filtrado efectivo de píxeles rojos. Este filtrado se realiza mediante valores de umbralización en el plano HS cuyos valores son:

$$\begin{aligned} 0,502 < H < 0,023 \\ 0,20 < S < 1 \end{aligned} \quad (5)$$

Filtrada la imagen se buscan todos los píxeles rojos que han pasado el filtro y se cuentan. Por otro lado se cuenta el número de píxeles totales de la lesión y una vez aquí se halla la relación entre píxeles rojos y píxeles totales de la lesión. Si la relación es mayor que un 7% umbral se considera la presencia de patrón vascular atípico.

El código que realiza estas operaciones se muestra a continuación:

```

clear all
close all
clc

%% Menú
fprintf ('****PATRÓN VASCULAR****\n\n')
prompt = 'Selecciona para procesar:\n 1 -> Imágenes con lesión\n 2 -> Imágenes sanas\n 3 -> Todas\n -> ';
x = input(prompt);
fprintf ('Procesando... Espera por favor\n')

%% Selección de directorio de imágenes
if x==1

```

## Capítulo 4. Metodología

```
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Vascular
pattern\Atypical vascular pattern\';
elseif x==2
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Vascular
pattern\Typical vascular pattern\';
elseif x==3
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Vascular
pattern\Atypical vascular pattern\';
    imdir{2}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imágenes\Vascular
pattern\Typical vascular pattern\';
else
    fprintf('Opción no válida\n')
    break;
end

%% Bucle de procesamiento por directorio
for d=1:length(imdir)
    imdir_2=cell2mat(imdir(1,d));
    imagefiles=dir(strcat(imdir_2,'*.jpg'));
    nfiles = length(imagefiles);
    area=0;

    %% Bucle de procesamiento de cada imagen
    for num_img=1:nfiles
        close all
        BW=0; % Se inicializan a 0 las variables usadas
        img=0;
        BW_vascular=0;
        N_total=0;
        N_lesion=0;
        [BW,img]=segmentacion(num_img,imdir_2); % Llamada a la
función que segmenta la lesión

        %% Límites del plano HSV
        hsv=rgb2hsv(img); % Cambio al plano HSV
        h_min = 0.502; % Parámetros que aíslan las características de
color de la lesión
        h_max = 0.023;
        s_min=0.2;

        %% Bucle de procesamiento de la lesión
        for i=1:1:size(hsv,1) % Doble bucle que recorre la imagen
            for j=1:1:size(hsv,2)
                if BW(i,j)==1 % Si el píxel pertenece a la lesión
                    if ( hsv(i,j,1)>h_min || hsv(i,j,1)<h_max ) && (
hsv(i,j,2)>s_min ) % y contiene el color buscado
                        BW_vascular(i,j)=1; % se dibuja un píxel
blanco en una nueva imagen y en la misma posición
                        N_lesion=N_lesion+1; % y se incrementa la
variable que cuenta los píxeles con esas características
                    else % Si no tiene el color buscado
                        BW_vascular(i,j)=0; % se dibuja un píxel negro
en una nueva imagen y en la misma posición
                    end
                    N_total=N_total+1; % Incrementa el nº de
píxeles totales pertenecientes a la lesión
                end
            end
        end
    end
end
```



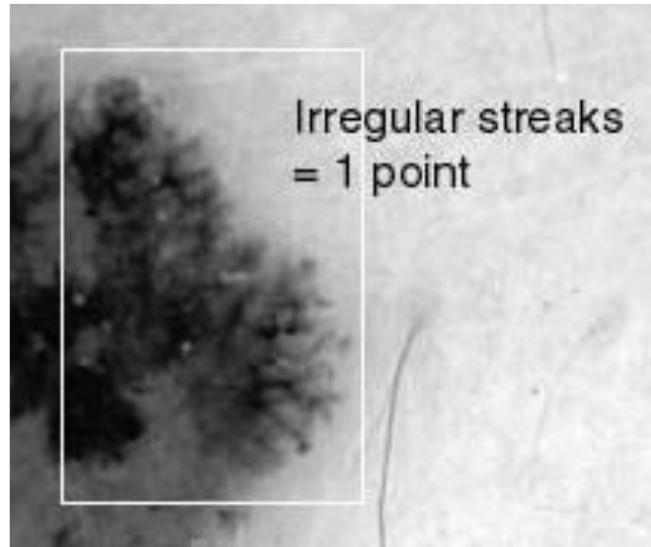


Ilustración 49. Lesión 37: Detalle de la presencia de rayas irregulares

De forma general, la presencia de estas rayas se puede identificar según la relación existente entre el perímetro del contorno de una sección de la lesión y la longitud en línea recta entre el inicio y el final de dicho contorno en esa sección de tal forma que si la longitud del contorno es mucho mayor que la del contorno en línea recta y además es de color más oscuro que el resto de la lesión, habrá presencia de rayas irregulares con casi total seguridad. Además de esto, también se evidencian por el color oscuro que presentan.

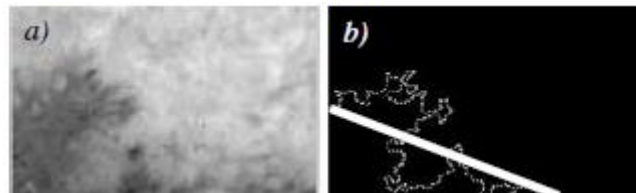


Ilustración 50. Detalle del contorno de rayas irregulares

En la “Ilustración 50” puede verse un diagrama que resume esta forma de detectar rayas irregulares.

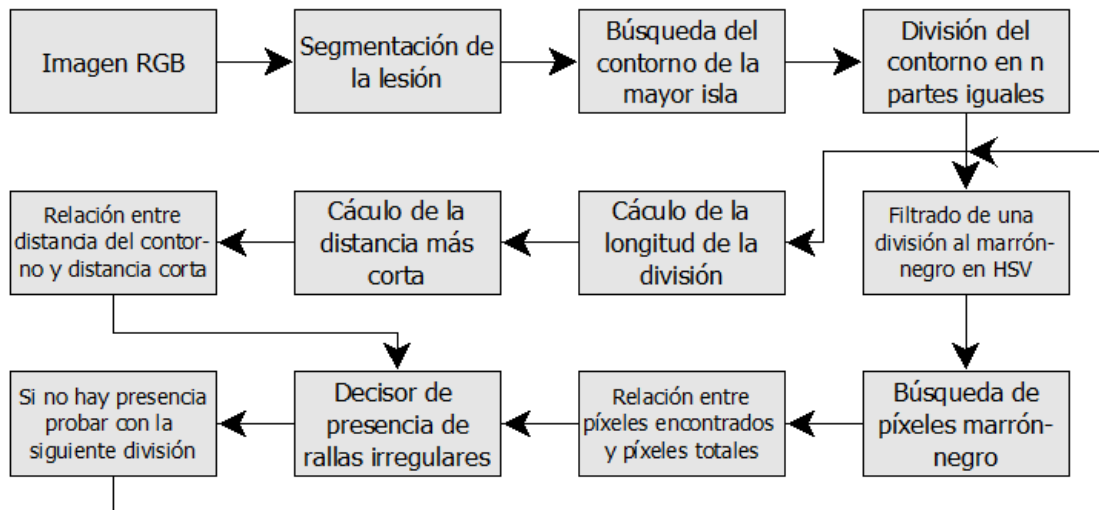


Ilustración 51. Diagrama para el algoritmo "rayas irregulares"

El método desarrollado se ha basado en el trabajo de Betta et al. [12], si bien se han realizado algunas modificaciones.

En primer lugar, hay que destacar que el método para la segmentación de la lesión ha sido modificado para obtener el contorno de la lesión. En la sección “4.5.1” se describe el nuevo método de segmentación.

Una vez obtenido el contorno de la lesión, esta se divide en partes iguales atendiendo a su longitud total para hacer que las divisiones no sean muy grandes. Hecho esto se procede a calcular la distancia de una división desde el primer píxel al último siguiendo el contorno; así mismo se calcula también la distancia del primer píxel al último en línea recta. De ambos cálculos se obtiene la relación entre distancia larga y distancia corta. Por otro lado a cada división se le hace un filtrado al marrón-negro en el plano HSV y se cuenta el número de píxeles que pasan el filtro. Seguidamente se obtiene la relación entre los píxeles que pasan el filtro y el total de píxeles de la división.

Finalmente se ha implementado un decisor que en base a estas dos relaciones obtenidas (la de longitud y la de color) decide si hay presencia o no de rayas irregulares. En caso de que encuentre rayas en al menos una división existirá presencia de rayas irregulares y se sumará un punto al criterio de la lista de 7 puntos. De no encontrar indicios de rayas en una división, probará con la siguiente.

```

clear all
close all
clc
  
```

```

%% Menú
fprintf ('****VETAS IRREGULARES****\n\n')
prompt = 'Selecciona para procesar:\n 1 -> Imágenes con lesión\n 2 ->
Imágenes sanas\n 3 -> Todas\n -> ';
x = input(prompt);
fprintf ('Procesando... Espera por favor\n')

%% Selección de directorio de imágenes
if x==1
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imagenes\Streaks\con
streaks\';
elseif x==2
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imagenes\Streaks\sin
streaks\';
elseif x==3
    imdir{1}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imagenes\Streaks\con
streaks\';
    imdir{2}='E:\Documentos\Máster Electrónica, Tratamiento de señal y
Comunicaciones\2º Cuatrimestre\TFM Melanoma\Imagenes\Streaks\sin
streaks\';
else
    fprintf('Opción no válida\n')
    break;
end

%% Bucle de procesamiento por directorio
for d=1:length(imdir)
    imdir_2=cell2mat(imdir(1,d));
    imagefiles=dir(strcat(imdir_2,'*.jpg'));
    nfiles = length(imagefiles);
    streaks=zeros(nfiles,1);

    %% Bucle de procesamiento de cada imagen
    for num_img=1:nfiles
        close all;
        img=0; % Se inicializan a 0 las variables usadas
        BW=0;
        m=1;
        [BW,img,contorno]=segmentacion_streaks(num_img,imdir_2); %
Llamada a la función que segmenta la lesión
        num_divisiones=round(length(contorno)/100)*2; % Número de
divisiones en que se va a dividir el contorno de la lesión
        division=floor(length(contorno)/num_divisiones); % Número
de píxeles que contiene cada división

        %% Límites del plano HSV
        hsv=rgb2hsv(img);
        channel1Min = 0.051;
        channel1Max = 0.5;
        channel3Max = 0.813;

        %% Bucle de procesamiento del contorno
        for n=0:division:length(contorno)-division

%plot(contorno((1+n:division+n),2),contorno((1+n:division+n),1),'b','L
ineWidth',1); % Dibuja el contorno en azul conforme se procesa

```



```

        contour=0; % Variable que contiene la distancia total del
numero de píxeles perteneciente a una división del contorno
        short=0; % Variable que contiene la distancia en línea
recta entre el primer y último píxel de una división del contorno
        brown=0; % Variable que contiene los píxeles con una
cierta tonalidad de marrón-negro
        for i=1:division-1 % Bucle que calcula la distancia del
contorno
            contour=contour+sqrt( (contorno(i+n,2)-
contorno(i+1+n,2))^2 + (contorno(i+n,1)-contorno(i+1+n,1))^2 );
            end
            for j=1+n:division+n % Bucle que compara los píxeles
del contorno con el nivel de marrón-negro en el plano HSV
                if hsv(contorno(j,1),contorno(j,2),1)>channel1Min &&
hsv(contorno(j,1),contorno(j,2),1)<channel1Max &&
hsv(contorno(j,1),contorno(j,2),3)<channel3Max
                    brown=brown+1;
                end
            end
            short=sqrt( (contorno(1+n,2)-contorno(division+n,2))^2 +
(contorno(1+n,1)-contorno(division+n,1))^2 ); % Cálculo de la
distancia en línea recta
            porcentaje=brown/division*100; % Porcentaje de píxeles
de marrón por división
            ratio=contour/short; % Relación entre distancia del borde
y distancia más corta
            if (porcentaje>=85 && ratio>=1.2) % Decisor de existencia
de vetas
                streaks(num_img)=1;
            end
        end
    end

%% Resultados
fprintf ('\n****RESULTADOS****')
if x==1
    VP=nnz(streaks==1); % Verdaderos positivos
    FN=nfiles-VP; % Falsos negativos
    fprintf
('\nVP=%d\nFN=%d\nSensibilidad=%3.2f%%\n',VP,FN,VP*100/nfiles)
    elseif x==2
        VN=nnz(streaks==0); % Verdaderos negativos
        FP=nfiles-VN; % Falsos positivos
        fprintf
('\nVN=%d\nFP=%d\nEspecificidad=%3.2f%%\n',VN,FP,VN*100/nfiles)
    elseif x==3
        if d==1
            VP=nnz(streaks); % Verdaderos positivos
            FN=nfiles-VP; % Falsos negativos
            fprintf
('\nVP=%d\nFN=%d\nSensibilidad=%3.2f%%',VP,FN,VP*100/nfiles)
        else
            VN=nnz(streaks==0); % Verdaderos negativos
            FP=nfiles-VN; % Falsos positivos
            fprintf
('\nVN=%d\nFP=%d\nEspecificidad=%3.2f%%\n',VN,FP,VN*100/nfiles)
        end
    end
end
end
end

```

#### 4.5.1. “Segmentación rayas” para rayas irregulares

Este algoritmo se compone del algoritmo ‘segmentación’, ya descrito en secciones anteriores, al que se le ha añadido una sección de código que se encarga de buscar el contorno de la lesión descartando aquellos contornos de zonas aisladas de lesión que no pertenecen a la lesión en sí. Para ello se realizan las siguientes operaciones; una búsqueda de todas y cada una de las islas que se puedan producir en el proceso de segmentación ya que la lesión, por lo general, contiene zonas aisladas que perteneciendo a la lesión, no están unidas físicamente a ella. Posteriormente se busca la mayor de estas islas atendiendo al tamaño en píxeles de cada una y, seguidamente, se obtiene el contorno de esta isla que será devuelto por el algoritmo al algoritmo principal junto con la máscara y la imagen original. De esta forma se evita encontrar el contorno de una isla menor y siempre se consigue detectar el mayor contorno de la lesión.

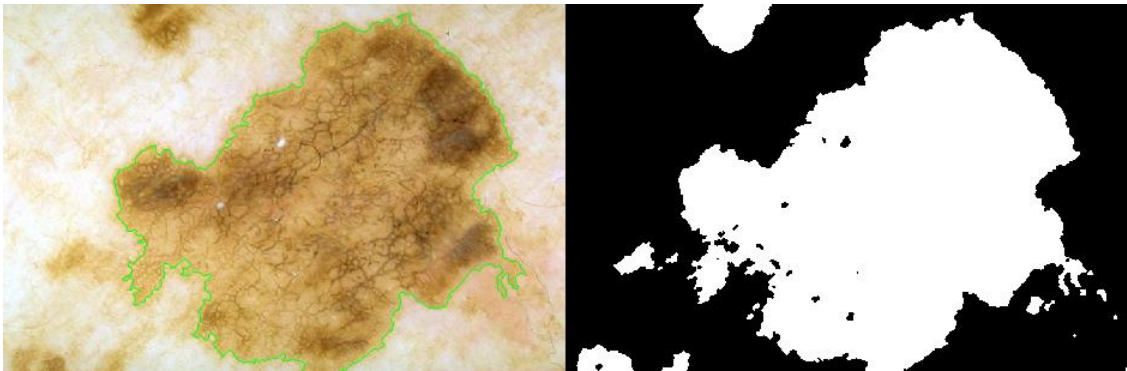


Ilustración 52. Detalle del contorno y las islas de una lesión

```
function [BW,img,contorno] = segmentacion_streaks (num_img,imdir)

    %% Lectura de la imagen y separación de componente azul
    img=imread([imdir, strcat(num2str(num_img), '.jpg')]);
    B=img(:,:,3);

    %% Aplicación del filtro de media 3x3 multi etapa al azul (mejor
    3x3 que 5x5)
    B_m3=medfilt2(B);    % La imagen azul es más bimodal que la roja o
    la verde
    B_m3=medfilt2(B_m3);
    B_m3=medfilt2(B_m3);
    B_m3=medfilt2(B_m3);

    %% Histograma
    level = graythresh(B_m3)-0.05; % Nivel de threshold usando el
    método de Otsu (rango [0,1])
    BW=im2bw(B_m3,level); % Imagen binaria
    BW=not(BW);
```

```

    BW=medfilt2(BW); % Se realiza un filtro de media a la máscara para
eliminar píxeles falsos de lesión que aparecen en las esquinas
    %figure, imshow(BW)

    %% Islas
    [B,L] = bwboundaries(BW,'noholes'); % Busca todas las islas de la
imagen BW. B contiene un cell con todas las islas y los índices para
el contorno de cada una. L es una matriz de tamaño de la imagen
conteniendo las diferentes islas. noholes descarta agujeros dentro de
islas.
    max_index=0;
    max_size=0;
    for i=1:length(B)
        if max_size<length(B{i,1}) % Busca la mayor isla y guarda
el índice al que pertenece
            max_size=length(B{i,1});
            max_index=i;
        end
    end

    %% Contorno
    contorno = bwtraceboundary(BW,[B{max_index,1}(1,1)
B{max_index,1}(1,2)], 'N',8,Inf,'clockwise'); % imagen en BW,
coordenada limite, siguiente píxel de búsqueda, píxeles de búsqueda
adyacentes, numero de píxeles límite en el contorno, dirección de
búsqueda
%     figure, imshow (img)
%     hold on;
%     plot(contorno(:,2),contorno(:,1),'g','LineWidth',1);

end

```



## 5. RESULTADOS

### 5.1. Validez de una prueba diagnóstica

Los casos más sencillos en pruebas diagnósticas son las pruebas dicotómicas en las cuales se clasifica cada lesión como maligna o benigna en función de las pruebas y los resultados obtenidos. En estos casos un resultado positivo se asocia a la presencia de lesión maligna mientras que un resultado negativo se asocia a la presencia de lesión benigna. En estos casos, la forma de representar los datos obtenidos es mediante una tabla 2x2 en la que se enfrentan el resultado de la prueba en filas con el resultado real de la lesión en columnas. Si el resultado de la prueba es correcto, se habla de verdadero positivo o verdadero negativo según se haya detectado una lesión maligna verdadera o benigna verdadera respectivamente y si el resultado de la prueba es incorrecto se habla de falso positivo o falso negativo cuando se detecta un melanoma cuando no lo es o cuando se detecta un no melanoma cuando no lo es respectivamente.

		Verdadero diagnóstico	
		Enfermo	Sano
Resultados de la prueba	Positivo (enfermo)	Verdadero Positivo (VP)	Falso Positivo (FP)
	Negativo (sano)	Falso Negativo (FN)	Verdadero Negativo (VN)

Tabla 4: Relación entre el resultado de una prueba diagnóstica y la presencia o ausencia de enfermedad.

#### 5.1.1. Sensibilidad

Es la probabilidad de clasificar como maligna una lesión maligna o lo que es lo mismo, para una lesión maligna, clasificarla como positiva. La sensibilidad es una medida para detectar la enfermedad. En términos numéricos, la sensibilidad se obtiene como:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP + FN} \quad (6)$$

### 5.1.2. Especificidad

Es la probabilidad de clasificar como benigna una lesión benigna o lo que es lo mismo, para una lesión benigna, clasificarla como negativa. La especificidad es una medida para detectar sanos. Se define como:

$$Especificidad = \frac{VN}{VN + FP} \quad (7)$$

### 5.2. Red pigmentada

Para comprobar el funcionamiento del código implementado y ver su sensibilidad y precisión se dispone de 39 imágenes con patrón atípico y de 30 con patrón típico. El procesamiento de imágenes empleado consiste en procesar en primer lugar el directorio de imágenes con red atípica y sacar de este procesamiento unos valores de VP y FN. Seguidamente se hace lo mismo con el directorio de imágenes con red típica y se muestran todos los resultados, VP, FN, FP y VN. Tras el procesamiento de todas estas imágenes, los resultados obtenidos se resumen en la tabla “Tabla 5”:

		Verdadero diagnóstico	
		Red atípica	Red típica
Resultados del algoritmo	Red atípica	VP = 33	FP = 5
	Red típica	FN = 6	VN = 25

Tabla 5. Resultados para red pigmentada

La tabla anterior arroja los siguientes datos, agrupados en el “Gráfico 1”:

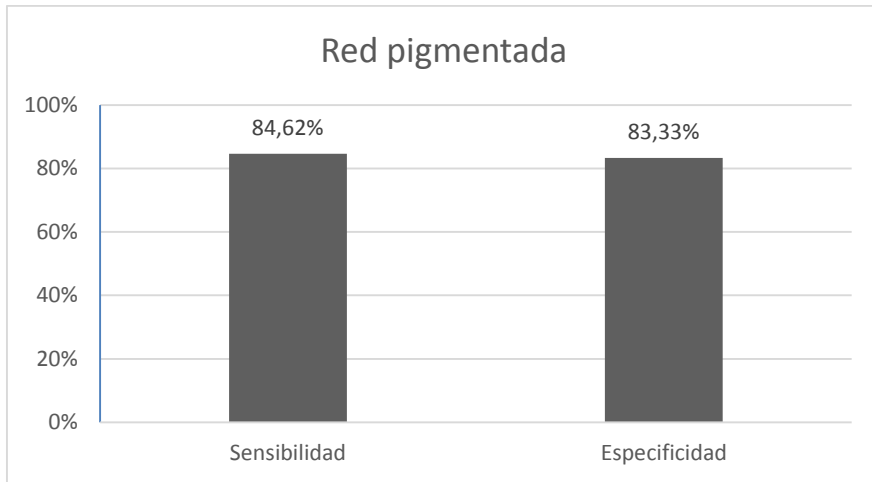


Gráfico 1. Resultados para red pigmentada

### 5.3. Velo azul-blanquecino

Para este caso se dispone de 61 imágenes con una clara presencia de velo azul-blanquecino o enfermas y de 30 imágenes sin presencia de velo azul-blanquecino. El resultado del algoritmo dio los resultados de la “Tabla 6”.

		Verdadero diagnóstico	
		Velo	No velo
Resultados del algoritmo	Velo	VP = 53	FP = 8
	No velo	FN = 8	VN = 22

Tabla 6. Resultados para velo azul-blanquecino

La tabla anterior arroja los siguientes datos que se muestran en el “Gráfico 2”:

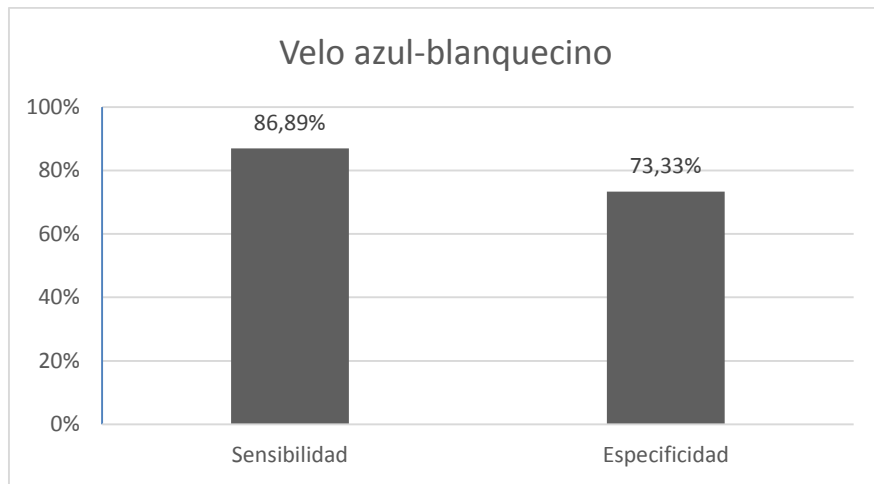


Gráfico 2. Resultados para velo azul-blanquecino

Como se puede observar, en este caso el algoritmo desarrollado es muy sensible o dicho de otro modo, es capaz de clasificar una imagen como enferma cuando realmente es enferma con alta probabilidad. Sin embargo, su especificidad no es tan alta lo que se traduce en que clasifica como sana una imagen sana solo en el 73,33% de los casos.

#### 5.4. Patrón vascular

Para el estudio del patrón vascular se dispone de 15 imágenes cuyo patrón vascular es atípico y de 20 imágenes sin presencia de patrón vascular.

Los resultados obtenidos se muestran en la “Tabla 7”:

		Verdadero diagnóstico	
		Con patrón vascular	Sin patrón vascular
Resultados del algoritmo	Con patrón vascular	VP = 12	FP = 3
	Sin patrón vascular	FN = 3	VN = 17

Tabla 7. Resultados para patrón vascular



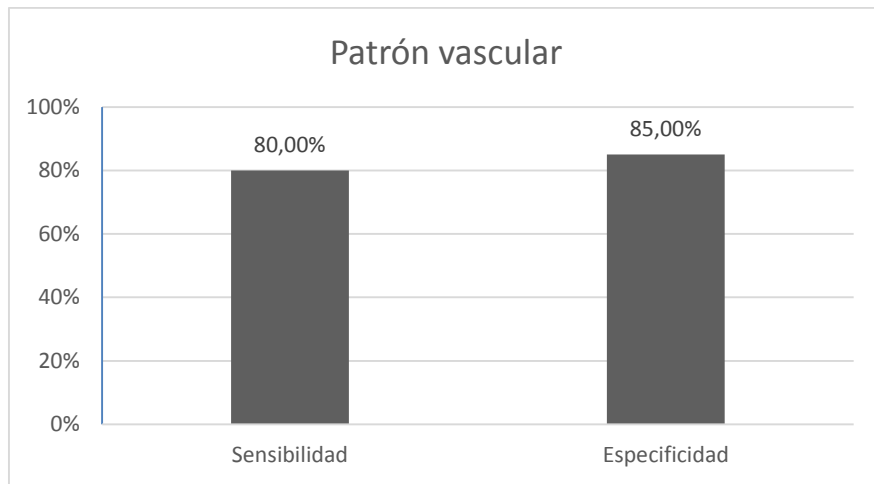


Gráfico 3. Resultados para patrón vascular

### 5.5. Rayas irregulares

En este caso se dispone de 22 imágenes que contiene presencia de rayas irregulares y 10 imágenes sin presencia de rayas. Tras aplicar el algoritmo diseñado, los resultados fueron los mostrados en la “Tabla 8”:

		Verdadero diagnóstico	
		Con presencia de rayas	Sin presencia de rayas
Resultados del algoritmo	Con presencia de rayas	VP = 18	FP = 2
	Sin presencia de rayas	FN = 4	VN = 8

Tabla 8. Resultados para rayas irregulares

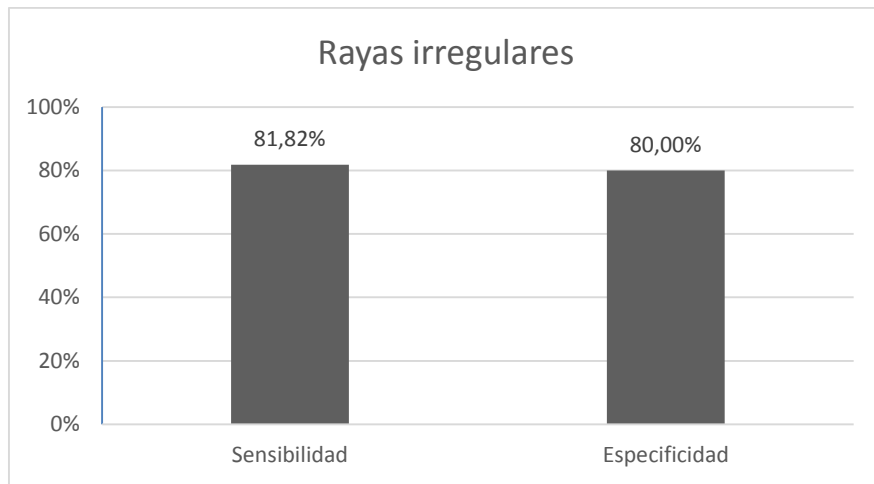


Gráfico 4. Resultados para rayas irregulares

## 6. CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS

El estudio, diagnóstico y clasificación de lesiones melanocíticas es un campo en constante investigación que aún no ha sido capaz de encontrar una solución “universal” para el diagnóstico de dichas lesiones. No obstante, investigadores de todo el mundo están trabajando para encontrar dicha solución que poco a poco está cada vez más cerca.

Con el desarrollo de este Trabajo Fin de Máster se ha pretendido ayudar a alcanzar esa solución que permita una clasificación de las lesiones cutáneas de forma total y efectiva. Si bien los resultados alcanzados en este documento no son el 100% efectivos en cuanto a sensibilidad o especificidad, se ha alcanzado una media para los puntos implementados de la lista de los 7 puntos de 83,332% de sensibilidad y 80,415% de especificidad. En base a estos resultados se puede concluir que 4 de cada 5 imágenes procesadas por los algoritmos desarrollados son correctamente clasificadas, independientemente de que su verdadero diagnóstico sea positivo o negativo, resultados más que aceptables si se tiene en cuenta los resultados obtenidos por investigadores expertos en el campo de la dermatoscopia.

Además y tras haber leído numerosos documentos de clasificación de lesiones melanocíticas, en este trabajo se han usado un relativo alto número de imágenes para el entrenamiento y desarrollo de los algoritmos. Existen numerosos artículos de investigadores que prueban sus algoritmos con un banco de 10 imágenes [12] consiguiendo unos magníficos resultados de hasta el 90% de sensibilidad; realmente este resultado no es totalmente verdadero ya que, es necesario un altísimo número de muestras procesadas para que el % de sensibilidad sea estable, predictivo y real. Es por ello que este trabajo se ha realizado con una media de 56 imágenes por tipo de lesión que permiten obtener unos resultados mucho más verdaderos o predictivos.

Como líneas de futura ampliación existen dos ramas a implementar:

1. Por un lado, mejorar los algoritmos desarrollados hasta conseguir un 100% de sensibilidad y especificidad cosa que en principio puede ser prácticamente imposible, aunque cualquier resultado mayor al obtenido en el presente trabajo es buena solución. Adicionalmente, para hacer más robusta la clasificación de las lesiones implementadas, sería de gran utilidad aumentar el número de imágenes a procesar por el algoritmo de entrenamiento. De esta forma se consiguen unos resultados mucho más verdaderos como ya se ha comentado anteriormente.

## Capítulo 6. Conclusiones y futuras mejoras

2. El segundo punto de interés para la ampliación del presente trabajo es implementar los 3 puntos del método de la lista de 7 puntos que quedan por implementar, estos son: Puntos/glóbulos irregulares, Estructuras de regresión y Pigmentación irregular. Del mismo modo ya comentado, sería conveniente implementar estos puntos con un alto número de imágenes, sin límite de ellas, para conseguir resultados robustos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Argenziano, «7-Point Checklist,» *Arch Dermatol*, 1998.
- [2] J. M. R. P. B. Ashfaq A. Marghoob, Atlas of Dermoscopy, London: Informa Healthcare, 2012.
- [3] «Cáncer de piel tipo melanoma,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.cancer.org>. [Último acceso: 09 2016].
- [4] «Dermoscopy,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dermoscopy.org/default.asp>. [Último acceso: 7 2016].
- [5] A. E. D. Espinosa, «Historia de la dermatoscopia,» *Dermatología Revista Mexicana*, 2014.
- [6] K. A. W. B. B. R. L. M. Grin CM, «Accuracy in the clinical diagnosis of malignant melanoma,» *Arch Dermatol*, 1990.
- [7] J. Mayer, «Systematic review of the diagnostic accuracy of dermoscopy in detecting malignant melanoma,» *The Medical journal of Australia*, 1997.
- [8] W. e. a. Stolz, «Abcd rule of dermoscopy-a new practical method for early recognition of malignant-melanoma,» vol. *European Journal of Dermatology*, 1994.
- [9] S. W. Menzies, «A sensitivity and specificity analysis of the surface microscopy features of invasive melanoma,» *Melanoma research*, 1996.
- [10] Bahmer, «Consensus Meeting on Dermoscopy,» *Acad Dermatol*, 1990.
- [11] P. Zaballos, «Criterios dermatoscópicos para el diagnóstico del melanoma,» *Medicina Cutánea Ibero-Latino-Americana*, 2004.
- [12] G. D. L. G. F. A. P. M. S. G. Betta, «Automated Application of the “7-point checklist” Diagnosis Method for Skin Lesions:,» de *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Ottawa, Canada,, 2005.

## Bibliografía

- [13] G. F. C. L. A. P. M. S. G. Di Leo, «ELM image processing for melanocytic skin lesion diagnosis based on 7-point,» *The Open Dermatology Journal*, 2010.
- [14] G. D. L. G. F. A. P. P. S. G. Betta, «Dermoscopic image-analysis system: estimation of atypical pigment network and atypical vascular pattern,» de *International Workshop on Medical Measurement and Applications*, Benevento, Italy, 2006.
- [15] S. P. D. S. Pita Fernández, «Fisterra,» 10 2013. [En línea]. Available: [https://www.fisterra.com/mbe/investiga/pruebas\\_diagnosticas/pruebas\\_diagnosticas.asp#Tabla1](https://www.fisterra.com/mbe/investiga/pruebas_diagnosticas/pruebas_diagnosticas.asp#Tabla1). [Último acceso: 08 2016].



