

Datación de Equimosis en el Peritaje Médico Legal Peruano mediante Redes Neuronales Artificiales y Procesamiento de Imágenes

Gisella M. Llajaruna¹, David S. Mauricio², Lino Gutiérrez³

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ing. de Sistemas e Informática,
Av. Guzman Amézaga s/n, Lima, Perú, Lima 1

¹06200010 @unmsm.edu.pe, ²dms_research@yahoo.com

Resumen

Las equimosis poseen un extraordinario interés médico – legal, ya que proporcionan los más valiosos indicios para la reconstrucción de la violencia en los que se produjeron. Tradicionalmente, los médicos de acuerdo a su experiencia utilizan la evaluación visual para determinar la edad de una equimosis, pero esta técnica ha demostrado ser inexacta y poco fiable.

El propósito de este estudio es desarrollar un sistema inteligente que incorpore el procesamiento de imágenes utilizando la técnica RGB de la metodología de colorimetría con el objetivo de obtener el píxel promedio de la zona indurada de la equimosis y una red Perceptrón Multicapa que tiene como variables de entrada el color promedio de la zona indurada obtenido por el procesamiento de imágenes, el color de piel, edad y sexo del lesionado, la presencia de tejido laxo, tejido óseo y tejido vascular, así como también la temperatura ambiental; las cuales han sido cuidadosamente seleccionadas con la finalidad de obtener una mayor precisión en la datación de equimosis.

El procesamiento de imágenes se implementó en el lenguaje de programación Java usando el editor de imágenes Helicon Filter. Así mismo, la fase de aprendizaje y validación de la red Perceptrón Multicapa se realizó por medio de la herramienta matemática MATLAB, utilizando el algoritmo backpropagation que brindó una tasa de error de 1.26% y 1.37% respectivamente. En consecuencia, el sistema inteligente propuesto en esta tesis genera una mayor precisión en la datación de equimosis en comparación al 80% de inexactitud de los diagnósticos visuales de los médicos legales.

Palabras clave: Datación de equimosis, Procesamiento de imágenes, Red neuronal multicapa, Backpropagation.

Abstract

The ecchymosis has a special medical - legal interest, as these provide the most valuable clues for the reconstruction of violence in which they occurred. Traditionally, doctors according to their experience using visual assessment to determine the age of ecchymosis, but this technique has been substantially subjective and has proven to be inaccurate and unreliable.

The purpose of this article is to develop an intelligent system that incorporates image processing technique using the RGB colorimetric methodology in order to obtain the average pixel of indurated area of ecchymosis and a multilayer perceptron network whose input variables the average color of the indurated area obtained by images processing, color, age and sex of the injured, the presence of loose tissue, bone tissue and vascular tissue, as well as the ambient temperature, which have been carefully selected in order to obtain a more accurate dating of ecchymosis.

The image processing is implemented in the Java programming language, using the image editor Helicon Filter. Also, the learning and validation phase of the multilayer perceptron network was performed with the mathematical tool MATLAB, using the backpropagation algorithm which provided an error rate of 1.26% and 1.37%, respectively. In consequence, the intelligent system proposed in this thesis generates a more precise dating ecchymosis compared to 80% of incorrect visual medical diagnoses.

Keywords: Dating of ecchymosis, Image processing, Multilayer neural networks, Backpropagation.

1. Introducción

El Instituto de Medicina Legal no sólo está creciendo en funciones y servicios, sino también en infraestructura de nuevos locales de Divisiones de Exámenes Clínicos. Actualmente las Divisiones Clínicas Forenses reciben diariamente diligencias que son enviadas por el Poder Judicial, debido a una denuncia realizada en una comisaría, para su respectivo estudio médico. Una vez evaluadas, el médico Legista debe escribir un expediente legal con el diagnóstico respectivo del agraviado, incluyendo la datación de una equimosis en caso de una contusión. Esta información es de suma importancia, y es necesario que sea lo más precisa posible, ya que a través de este expediente legal, el fiscal tomará la decisión de elevar un informe legal a juicio o caso contrario solo se archivará. Otro escenario sobre datación de equimosis se observa en los tribunales, donde a menudo, a muchos médicos legistas se les pide responder preguntas como la edad absoluta o relativa de una equimosis, si son dos equimosis de la misma edad, si esta equimosis es definitivamente más reciente o más antigua que otra. En cuyos escenarios el médico legista sólo utiliza el método visual basándose en sus conocimientos y experiencia obtenida, generándose de esta forma el problema de la inexactitud de los diagnósticos de la edad de una equimosis, debido no sólo a la falta de objetividad de este método sino también a la escasa evidencia.

Según el Anuario Estadístico 2011 del Ministerio Público Peruano, las 30 Divisiones Médico Legales registraron a nivel nacional un total de 1 489 278 servicios médico legales, de los cuales 409 755 (34.23%) corresponde a servicios Clínicos Forenses realizándose 349 306 (68.52%) reconocimientos clínicos. Además se tiene que el delito contra la vida, el cuerpo y la salud que abarca principalmente equimosis, ocupa el tercer puesto de las 72 980 detenciones presentadas en el año 2011, haciendo un total de 5 199 (7.1%) detenciones. De aquí la importancia de construir un sistema inteligente que apoye la tarea del médico legista en la resolución de las diligencias asignadas [1].

La inexactitud del diagnóstico del número de días de una equimosis tiene su origen básicamente en tres puntos: la presión por la excesiva carga procesal que soporta el médico legal y por el reducido tiempo con el que cuenta para generar un expediente legal, la baja calidad de los expedientes legales por el escaso rendimiento o pobre formación profesional de muchos médicos legistas, y los actos de corrupción dentro de las investigaciones de los médicos legales, lo cual únicamente depende de la formación moral de estos profesionales. También es importante resaltar que existen varios tipos de peritos médico legales, como el que pertenece al estado, el que pueda designar un juez para una diligencia o el que las partes en conflicto puedan designar. Lo cual genera controversias y, por ende, desconfianza, debido a los diferentes diagnósticos obtenidos.

Así mismo existen dos estudios estadísticos que demuestran la inexactitud de los diagnósticos de los médicos legistas, el primero fue realizado por M.L. Pilling en Londres en el 2010 [2], donde más del 80% de los observadores cometió entre 0 y 2 errores en sus diagnósticos frente a fotografías de equimosis. El segundo fue realizado por cuatro doctoras del Departamento de Pediatría del Hospital de Niños en Ontario – Canadá en el 2003 [3], en cuyos resultados se observó que las estimaciones médicas de la edad de los moretones son muy imprecisas, dándose una gran variabilidad individual en las estimaciones y, por ende, una pobre confiabilidad.

En este sentido el presente trabajo propone desarrollar un sistema inteligente basado en redes neuronales artificiales y reconocimiento de imágenes, abarcando las principales variables influyentes en la evolución de una equimosis, para de esta forma obtener un diagnóstico más exacto de la edad de una equimosis.

Este trabajo se organiza en 6 sesiones. En la sección 2 se revisan los métodos existentes para la datación de equimosis, en la sección 3 se diseña el sistema inteligente, para que en la sección 4 se realice las configuraciones necesarias para hallar la red neuronal más adecuada, finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones y futuros trabajos.

2. Revisión de métodos para la datación de equimosis

Durante los últimos años se han desarrollado diversos métodos científicos y técnicos dentro de la medicina, de los cuales algunos de ellos se han enfocado en las contusiones, como el método de John W. McMurdy [4] en el 2006 quien propuso la espectroscopia de reflectancia difusa visible, para lo cual usó espectros de reflexión recolectados para seguir el aumento de la hemoglobina extravasada de una contusión. A la vez en ese mismo año Duckworth [5] propone otro método basado en la concentración de cromóforo para determinar

el color de un moretón. Además en el 2010 se propusieron dos métodos que tuvieron como objetivo mejorar los modelos hasta ese entonces desarrollados, uno de ellos fue desarrollado por Lise L. Randeberg [6] quien utilizó imágenes hiperespectrales que combinan el poder de la imagen y espectroscopia, para obtener la zona central blanca de la contusión y el otro fue implementado por Vanessa K. Hughes [7] quien usó el Cary 100 Bio equipado con una sonda de reflectancia de fibra óptica. Otro método importante de resaltar es el método de fotografía ultravioleta que se utiliza para mostrar las lesiones que ya no son evidentes a simple vista, donde la extravasación de la sangre está por debajo de la piel.

De todos los métodos hasta ahora desarrollados, esta investigación se basará en el método de colorimetría que es utilizado mayormente por aplicaciones de software que convierten los datos de una imagen en datos de valores de color, este método fue estudiado por Georgieva [8] en el 2005, quien destacó dos técnicas: RGB (rojo, verde y azul) y HSV (Tono, Saturación, Valor). De estas dos técnicas se escogió la técnica RGB, debido a que el ojo humano percibe la reacción del color a través de una mezcla de señales de estos tres colores primarios que varían en el rango [0-255], por lo tanto no es necesario conocer los rangos de matiz, de tono o luminosidad de la imagen brindada por la técnica HSV.

3. Diseño de la red neuronal

Para el desarrollo del sistema inteligente se ha seguido los pasos señalados en la Figura 1, iniciándose con la identificación de las variables más influyentes y disponibles en la datación de una equimosis, para seguir con la construcción del banco de casos de equimosis tratando de abarcar la mayor variabilidad de casos clínicos, para luego procesar las imágenes del banco de casos y de esta forma obtener el pixel promedio de la zona indurada de las equimosis, seguidamente se normalizará las diez variables de entrada de la red neuronal en un rango de cero a uno. El diseño de la red neuronal consiste en modelar diferentes redes neuronales con diversas características para que seguidamente se entrenen y cuando el error cuadrático medio sea aceptable se prosiga con su respectiva validación, caso contrario se repetirá hasta encontrar las siete redes neuronales más adecuadas para la solución del problema. Finalmente se compararán las siete redes neuronales para elegir el modelo de red neuronal más eficiente para la datación de una equimosis. Para un mejor entendimiento, se ha tomado los primeros 4 pasos en esta sección, dejando los restantes para la sección 5.

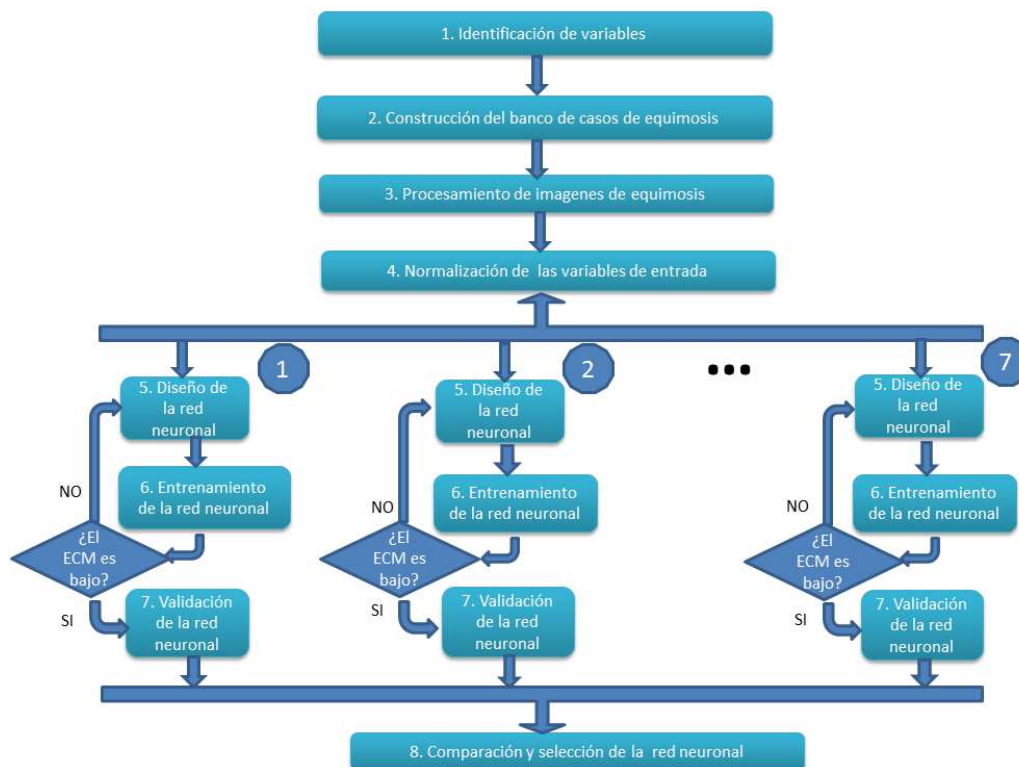


Figura 1. Flujo de pasos para el desarrollo de esta investigación.

3.1. Identificación de variables

Después de varias sesiones y un cuidadoso análisis de los factores de una equimosis en base a la experiencia del Dr. Lino Gutiérrez [16] y a algunas investigaciones realizadas hasta el momento, se seleccionaron 10 variables, las cuales describiremos a continuación, con el objetivo de entender la razón de ser de cada una de ellas, y por ende su aporte e importancia en el desarrollo de esta investigación.

Colores promedio (RGB). Las diversas investigaciones médicas realizadas por estudiosos como Simonin, Bonnet, Tourdes, Ascarell y Divergie sobre la evolución cromática de una equimosis, concuerdan que el colorido de las equimosis evoluciona en el tiempo con diferentes tonalidades. Primero es de un color rojo lívido o rojo oscuro, los días sucesivos la tonalidad se va haciendo más oscura, casi violácea y aun negruzca, para ir cambiando luego al azulado, después al verde, el cual se aclara gradualmente hasta el amarillo, cada vez más pálido, hasta desaparecer. Sumando a lo anterior se tiene el estudio de Stephen Sprigle [9] en el 2007, que describe que un hematoma reciente se caracteriza por el color rojizo ya que la sangre presente en el área de la equimosis contiene oxihemoglobina y hemoglobina. Así como el color verde se debe a la biliverdina y al color amarillo a la bilirrubina.

	ROJO OSCURO	NEGRUZCO	AZULADO	VERDOSO	AMARILLO	DESAPARICIÓN
SIMONIN	Recientes	2-3 días	3-6 días	7-12 días	12-17 días	A los 25 días
BONNET	Pocas horas	0-3 días	4-6 días	7-12 días	13-21 días	A los 22 días
TOURDES	Pocas horas	2-3 días	3-6 días	12-17 días	> 17 días	-
ASCARELL	Pocas horas	-	5-6 días	7-12 días	15-20 días	-
DIVERGIE	Pocas horas	-	2-3 días	5-7 días	78 días	-

Figura 2. Evolución de los colores de una equimosis [16].

Color de la piel (C). Lyngsnes Randeberg [11] en el 2005 concluyó que el color de la equimosis variará dependiendo de la raza del individuo (negro, blanco, mestizo, mulato). Siendo los sujetos de piel oscura los que presentan mayor dificultad para el reconocimiento de la edad de la equimosis, ya que tienen una mayor concentración de melanina, lo cual complica el contraste entre la piel moreteada y la piel normal. En cambio las equimosis en personas de piel clara serán más notorias.



Figura 3. Diferencias de las características de las equimosis de una mujer blanca y una mujer trigueña oscura.

Edad del sujeto (E). Los estudiosos Stepheson, Blalas [13] en 1997, R. F. Carpenter [12] en 1998, Stephen Sprigle [14] en el 2007 y Jesus Burgos [15] en el 2009 concluyeron que la reabsorción de un golpe es más rápido en los niños y lenta en los viejos. Esto se debe a que las personas de edad avanzada muestran una amplia variación en el tiempo de la respuesta espectral. Por lo que se puede concluir que el efecto de un mismo golpe va a ser diferente en la piel de un bebé, niño, adolescente, joven, adulto o en un anciano.



Figura 4. Diferencias entre las equimosis de un niño y un anciano.

Sexo (S). Según la experiencia del doctor Lino Gutiérrez [16], se concluye que la piel del hombre y la de la mujer son distintas, lo cual se debe principalmente a tres factores fisiológicos que las diferencian: el espesor, la firmeza y la secreción sebácea. La piel masculina es un 24% más espesa que la de la mujer, por lo que es más resistente. Asimismo, el hombre tiene una piel más firme y envejece más tarde pero, sin embargo, de manera más brusca. Además, la cantidad de grasa cutánea secretada por el hombre es mucho mayor por razones hormonales. Por lo tanto, los varones tienen mayor resistencia a los golpes que las mujeres porque su porcentaje de fibra es mayor.



Figura 5. Diferencias de las características de las equimosis entre un varón y una mujer.

Laxitud del tejido (L). El tejido laxo sólo está presente en ciertas áreas del cuerpo, donde la piel presenta pliegues como codos, rodillas o axilas. En estas áreas del cuerpo humano, la reacción ante un golpe es diferente ante la reacción de la piel lisa (rostro, brazos, piernas) al mismo golpe. Lo cual fue observado y estudiado por el Dr. Lino Gutiérrez [16].



Figura 6. Diferencias de las características de las equimosis entre una zona corporal con pliegues y otra sin pliegues

Vascularidad (V). Según la experiencia del Dr. Lino Gutiérrez [16] se conoce que el cuerpo humano presenta un diverso sistema circulatorio conformado por arterias, venas y capilares. Además se conoce que al momento del impacto de un fuerte golpe se romperán muchos de éstos, esparciéndose la sangre dentro de los tejidos epiteliales. Siendo las zonas corporales con mayor irrigación sanguínea (rostro, piernas) las que se verán más afectadas por la fuerza del golpe, en comparación con las zonas que no presentan mucha irrigación (oreja, glúteos), de ahí también la razón del color de la zona indurada.



Figura 7. Diferencias de las características de las equimosis entre una zona vascular con bastante irrigación sanguínea y otra de menor irrigación.

Tejido óseo subyacente (O). Según el Dr. Lino Gutiérrez [16] es de importancia trabajar con esta variable ya que evalúa qué tan cerca se encuentra la piel del tejido óseo (huesos), ya que el impacto de la fuerza de un golpe será mayor si choca directamente sobre una zona dura (rostro) que sobre una zona blanda (estómago, glúteos), por lo se podría dividir el cuerpo humano en zonas corporales con mayor o menor amortiguación ante un golpe, lo cual implica a su vez la evaluación de la cantidad de grasa y musculo presente entre el tejido epitelial y el tejido óseo.



Figura 8. Diferencias de las características de las equimosis entre una zona cercana al tejido óseo, y otra con mayor distancia.

Temperatura ambiental (T). Varios casos clínicos recopilados por el Dr. Lino Gutiérrez [16] han comprobado que la temperatura ambiental influye en el comportamiento de las células del cuerpo humano y en la circulación de la sangre, por ende se concluye que la reacción del cuerpo humano ante un golpe va a ser diferente en una persona que se encuentra en una zona tropical que en una persona que se encuentra en una zona con un clima muy frío.

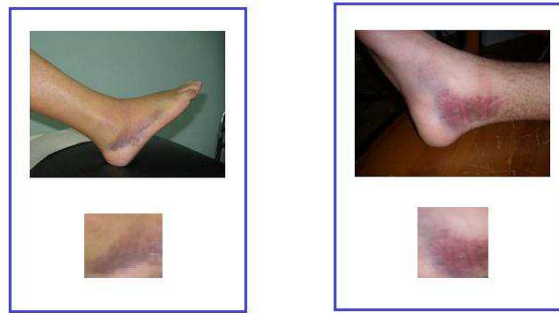


Figura 9. Diferencias de las características de las equimosis entre una persona que se encontraba en la selva y otra que se encontraba en la costa.

3.2. Construcción del banco de casos de equimosis

Para la construcción del banco de casos de esta investigación se han recopilado 50 casos clínicos del historial de la División Médico Legal de Lima Central, por medio del experto Lino Gutiérrez [16], quien trabaja actualmente en esta división, los cuales cuentan con las características necesarias y variadas para el respectivo entrenamiento (35 casos) y validación de la red neuronal (15 casos) [10].

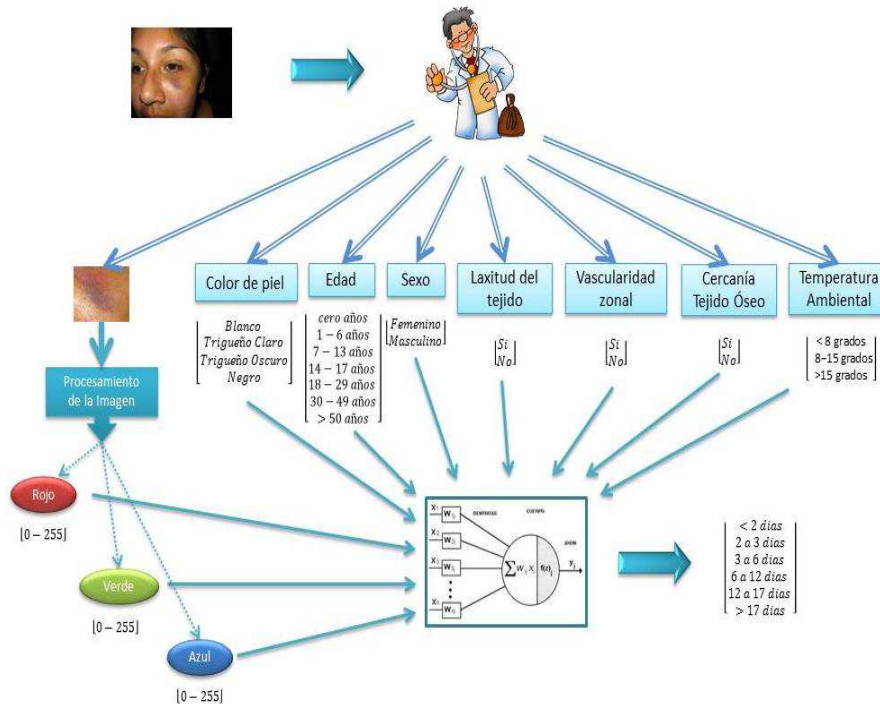


Figura 10. Modelo mental de la tesis.

3.3. Procesamiento de la imagen de equimosis

Este paso se realiza para obtener el color promedio de la zona indurada de una equimosis, dejando de lado la información que no es de importancia. Para lo cual se realiza tres pasos, el primer paso consiste en obtener una imagen exclusivamente del área de la equimosis, la cual puede ser de cualquier tamaño (Figura 11.b). El segundo paso consiste en obtener los píxeles más significativos de la equimosis, lo que se conoce como zona indurada (área que recibió directamente el impacto). Para ello se utilizó varios intervalos de colores de equimosis con su respectiva lógica, estudiados por medio del software Helicom Filter que muestra los colores de los píxeles de una imagen en valores RGB (Figura 11.c). En el tercer y último paso se utilizó las clases ImagenIO, BufferedImage e ImageIcon del lenguaje de programación Java, las cuales contienen métodos de conveniencia para la realización de la codificación y decodificación de las imágenes, con el fin de obtener el píxel promedio de la zona indurada de la equimosis (Figura 11.d) [10].

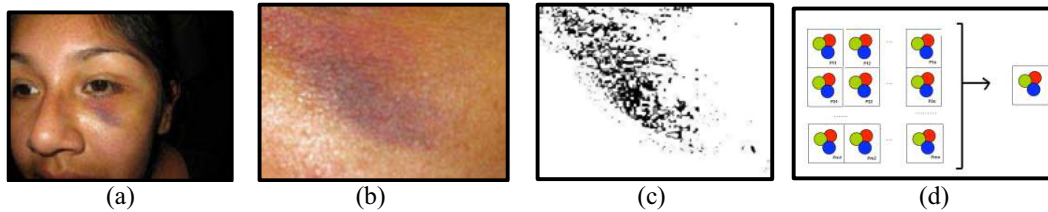


Figura 11. (a) Fotografía del Caso 5 del banco de casos de equimosis [15]. (b) Recorte del área de la zona indurada (c) Obtención de la zona indurada (d) Promedio de los pixeles de la zona indurada.

3.4. Normalización de datos

El proceso de normalización es necesario para este trabajo puesto que se desea uniformizar los datos ya que la escala de valores de cada variable son disímiles y se diferencian de manera notable (por ejemplo los valores de los colores del píxel promedio de la zona indurada son demasiados altos [0-255] en comparación de los valores del resto de variables [1-7]). Por lo tanto se pretende obtener valores uniformes en un rango de [0-1] para que no exista dependencia de ninguna variable, ya que cada una de ellas influye de manera análoga en el pronóstico del número de días de una equimosis. Este proceso se ha llevado a cabo por medio de la siguiente ecuación:

$$D_n = (D_i - D_{min}) / (D_{max} - D_{min}) \tag{1}$$

Donde: D_n = Dato Normalizado. D_{min} = Valor mínimo de los datos del banco de casos de equimosis. D_{max} = Valor máximo de los datos del banco de casos de equimosis. D_i = Valor del dato del *Caso i*.

	Color de piel			Edad	Sexo	Zona Laxa	Vascularidad	Tejido Óseo Subyacente	Temperatura Ambiental	Edad Equimosis	
	Rojo	Verde	Azul	(1)Blanco (2)Trigueño Claro (3)Trigueño Oscuro (4)Negro	(1)cero años (2)1-6 años (3)7-13 años (4)14-17 años (5)18-29 años (6)30-49 años (7)>50 años	(1)Femino (2)Masculino	(1) Si (2)No	(1)Si (2)No	(1)Si (2)No	(1)< 8 grados (2)8-15 grados (3)>15 grados	(1)Pocas horas a 2 días (2)2 a 3 días (3)3 a 6 días (4)6 a 12 días (5)12 a 17 días (6)más de 17 días
Caso 1	160	144	134	2	5	1	2	2	1	2	1
Caso 2	189	132	120	3	6	1	2	2	1	2	1

Tabla 1. Banco de Casos clínicos sin Normalizar

	Ri	Gi	Bi	Ci	Ei	Si	Li	Vi	Oi	Ti	Yi
Caso 1	0.59	0.76	0.69	0.5	0.6	0	1	1	0	0.5	0
Caso 2	0.87	0.67	0.6	1	0.8	0	1	1	0	0.5	0

Tabla 2. Banco de Casos clínicos Normalizados

3.5. Diseño de la RNA

El mecanismo de aprendizaje de la red neuronal será aprendizaje supervisado, ya que se cuenta con los datos históricos de la División Médico Legal de Lima Central de diversos casos clínicos con sus entradas y salidas respectivas y el tipo de aprendizaje será por corrección de error, por lo tanto la red neuronal a utilizar será la red Perceptrón Multicapa, la cual es usualmente utilizada para procesamiento de imágenes. La estructura de red neuronal es el siguiente:

Capa de entrada

Variables de Entrada	Descripción
X1	Rojo
X2	Verde
X3	Azul
X4	Edad
X5	Sexo
X6	Color de piel
X7	Laxitud del tejido
X8	Vascularidad
X9	Tejido óseo subyacente
X10	Temperatura Ambiental

Tabla 3. Variables de entrada de la red Perceptrón Multicapa.

Capa oculta

El número de capas ocultas y el número de neuronas por capa oculta se evaluará en la sección 5.

Capa de salida

El propósito de esta investigación es pronosticar la edad de una equimosis, por lo que nuestro problema consta de una variable de salida equivalente a los siguientes intervalos de tiempo definidos por el investigador Tourdes:

Codificación	Intervalos de la Variable de Salida
1	Pocas horas a 2 días
2	de 2 a 3 días
3	de 3 a 6 días
4	de 6 a 12 días
5	de 12 a 17 días
6	más de 17 días

Tabla 4. Intervalos de la variable de salida de la red Perceptrón Multicapa.

4. Configuraciones de las RNAs

Para la selección de la red neuronal se realizaron procesos de prueba y error, para de esta forma hallar los valores más adecuados, como el número de capas ocultas y número de neuronas por capa oculta. El software matemático que se utilizó es el MATLAB, ya que no sólo permitió la creación de las redes neuronales, sino también el entrenamiento y validación de cada una de ellas de forma rápida y sencilla, reduciendo considerablemente la posibilidad de errores de programación.

4.1. Proceso de entrenamiento de la RNA

La fase de entrenamiento consiste en asociar el patrón de entradas de un caso clínico de equimosis con su respectivo patrón de salidas, de tal manera que la red neuronal pueda diagnosticar con más precisión el número de días de una equimosis de acuerdo al correcto mapeo y conocimiento almacenado. En la Tabla 3 se muestra el compendio de los resultados obtenidos del entrenamiento de las 7 configuraciones de redes neuronales con menor ECM, seleccionadas de todos los procesos de prueba y error que se realizaron con el Matlab.

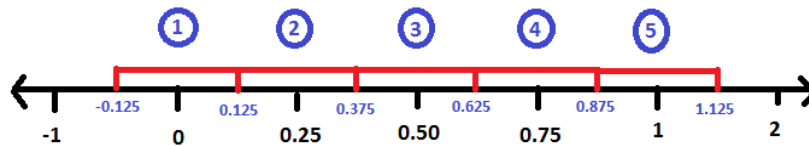
Red Neuronal	Fase de Entrenamiento			ECM
	Capa 1	Capa 2	Capa 3	
Diagnosticador 1	6	6	0	0.0126
Diagnosticador 2	5	5	0	0.00946
Diagnosticador 3	7	7	0	0.0145
Diagnosticador 4	6	0	0	0.0192
Diagnosticador 5	7	0	0	0.0189
Diagnosticador 6	5	5	5	0.014
Diagnosticador 7	6	6	6	0.018

Tabla 5. Resultados del ECM del entrenamiento de las 7 RNAs.

Se observa que el primer lugar lo ocupa el Diagnosticador 2 con un error de 0.946% y el segundo lugar el Diagnosticador 1 con un error de 1.26%.

4.2. Proceso de validación de la RNA

Esta sección representa el grado de generalización de la red neuronal, en otras palabras, es la capacidad de la red de dar una respuesta ante patrones que no han sido usadas en su entrenamiento. Debido a que la salida de la red neuronal está representada por intervalos de tiempo, entonces el error en la validación también se debe hallar en función de intervalos como a continuación se explicará.



Se ha dividido en 5 intervalos debido a que en el banco de casos de equimosis para validación no existe algún caso de equimosis del tipo de salida 6 (equimosis de más de 17 días), caso contrario serían 6 intervalos. Además la tasa de error será medida utilizando la fórmula del error cuadrático medio para comprobar que el tipo de red seleccionado es el más adecuado.

$$Ec = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i - S_i|^2 \tag{2}$$

Dónde: Ec = Error cuadrático. N = Número de muestras en la validación. Yi = Salida objetivo de la red para la muestra i. Si = Salida estimada de la red para la muestra i.

De esta forma se considerará correcto todo caso cuyo valor de salida encontrado por la red neuronal se encuentre dentro de los valores de uno de los 5 rangos de la gráfica anteriormente señalado, el cual es determinado por la salida deseada, por lo contrario se aplicará la fórmula del error cuadrático medio. A continuación presentaremos la tabla resumen de los resultados obtenidos en la fase de validación para los 7 Diagnosticadores entrenados anteriormente.

Fase de Validación				
Red Neuronal	Capas Ocultas			ECM
	Capa 1	Capa 2	Capa 3	
Diagnosticador 1	6	6	0	0.01368
Diagnosticador 2	5	5	0	0.27624
Diagnosticador 3	7	7	0	0.14293
Diagnosticador 4	6	0	0	0.20617
Diagnosticador 5	7	0	0	0.15010
Diagnosticador 6	5	5	5	0.05198
Diagnosticador 7	6	6	6	0.15239

Tabla 6. Resultados del ECM de la validación de las 7 RNAs.

Como observamos el primer lugar lo ocupa el Diagnosticador 1 con un error de 1.37% y en segundo lugar el Diagnosticador 6 con 5.2%.

4.3. Análisis y comparación de resultados

En cuanto al valor del ECM, se tiene que a pesar que el Diagnosticador 2 tiene la menor tasa de error (0.95%) en la fase de entrenamiento, en la fase de validación obtuvo una tasa de error muy alta de 27.62%. Por consiguiente lo más eficiente sería seleccionar el Diagnosticador 1 que obtuvo un 1.26% de error en la fase de entrenamiento y 1.37% en la época de validación. Por lo tanto la mejor red neuronal para esta investigación es el Diagnosticador 1, la cual presenta la siguiente arquitectura:

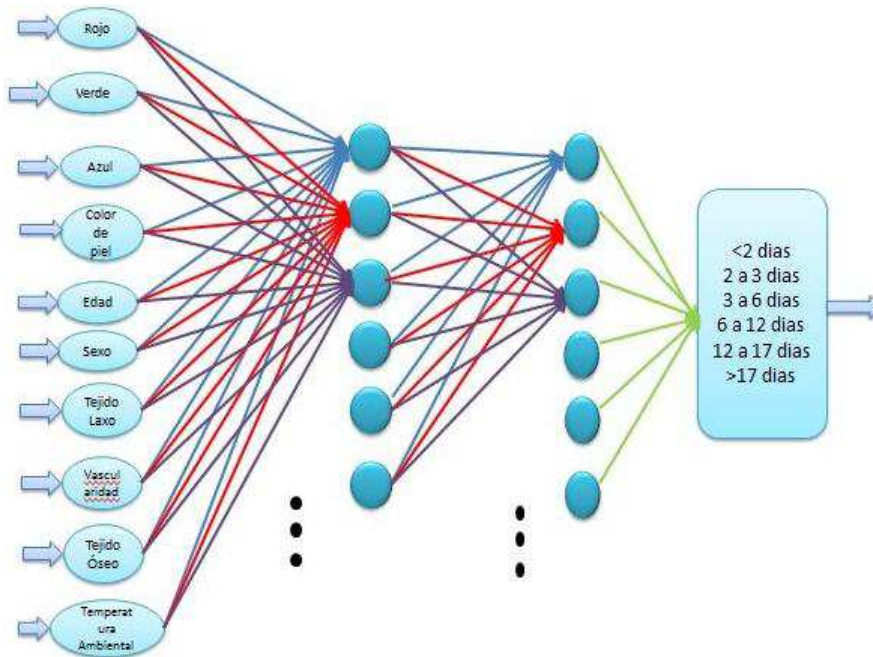


Figura 12. Red neuronal final.

5. Conclusiones y futuros trabajos

Con el presente trabajo de investigación concluyo que el hecho de implementar un sistema inteligente dentro del campo legal peruano es un primer paso para poder automatizar procesos mecánicos o repetitivos de este sistema complejo, el cual actualmente presenta muchos problemas en cuanto a la lentitud de las diligencias y dictámenes, corrupción, falta de experiencia y profesionalismo, cuellos de botella, pérdida de información, entre otros.

Se analizaron las variables más importantes para esta investigación seleccionándose las más adecuadas que influyen en la datación de la equimosis, de acuerdo a estudios realizados con anterioridad, a la experiencia del Dr. Lino Gutiérrez [16] y a la información presente en el historial de la División Médico Legal de Lima Centro, de donde se obtuvo el banco de casos de equimosis.

Se implementó una aplicación para el procesamiento de imágenes que nos sirvió para obtener el píxel promedio de la zona indurada. Este proceso utilizó la técnica RGB de la metodología de colorimetría, obteniendo de esta forma los valores de tres variables de entrada para la red neuronal (valores del color rojo, verde y azul).

Resultó complicado seleccionar la topología de red óptima (número de capas y unidades por capa), ya que para ello fueron necesarias numerosas pruebas. Finalmente, se optó por una red Perceptrón Multicapa con Feed – forward backpropagation conformada por 10 nodos en la capa de entrada, dos capas oculta de 6 nodos y un nodo en la capa de salida; además tiene como función de entrenamiento el TRAINLM , como función de aprendizaje el LEARNINGDM y como función de rendimiento el MSE.

Los resultados obtenidos son buenos ya que a pesar de la cantidad de casos de equimosis, el sistema propuesto llegó a un margen de error del 1,26 % que comparado con el error del 80% del método visual de los médicos legales (obtenido mediante estadísticas de otros estudios) es bastante menor.

Como futuro trabajo se desearía seleccionar un universo con mayor número de casos clínicos, así como la elección de una capa de entrada más compleja que tal vez mejoraría la exactitud de la datación de una equimosis, por lo que sería necesario la inclusión de nuevas variables como: el grado de trauma, el tamaño del hematoma, la estructura corporal, la profundidad de la herida, el área corporal de la aplicación, la dirección y

duración de la fuerza, la cantidad de sangre extravasada, las características biológicas y anatómicas del paciente, la amplitud, la enfermedad, la presión sanguínea, la temperatura del cuerpo, entre otras variables. Además se podría analizar nuevos modelos de red, ya que a pesar de que las redes Backpropagation han dado buenos resultados, otras redes neuronales podrían dar mejor resultados. También se podría considerar como factores el estado de salud, el consumo de drogas o medicamentos, los cuales alteran la tasa de dispersión del moretón (por ejemplo, esteroides). Como otro trabajo futuro se desearía construir un sistema de procesamiento de imágenes que pueda tomar en cuenta que la piel humana no tiene un color homogéneo y que las imágenes pueden tener ruido como sombras y brillo.

Bibliografía

- [1] Oficina Central de Planificación y Presupuesto - Gerencia de Racionalización y Estadística - Sub Gerencia de Estadística, Página oficial del Ministerio Público http://www.mpf.gov.pe/estadistica/anuario_est_2011.pdf
- [2] M.L. Pilling, Medical Student, P. Vanezis, Profesores D. Perrett y A. Johnston, Visual assessment of the timing of bruising by forensic experts, *Journal of Forensic and Legal Medicine*, Volume 17, Issue 3, April 2010, Pages 143-149.
- [3] Erika D. Bariciak, Amy C. Plint, Isabelle Gaboury, Sue Bennett, Dating of Bruises in Children: An Assessment of Physician Accuracy, *PEDIATRICS* Vol. 112 No. 4 October 1, 2003 Ontario, Canada, pp. 804 - 807, (doi: 10.1542/peds.112.4.804).
- [4] John W. McMurdy y Gregory P. Crawford, Susan Duffy, Diffuse reflectance spectra of the palpebral conjunctiva and its utility as a noninvasive indicator of total hemoglobin, *Journal of Biomedical Optics*, Volumen 11, 014019 (Jan 31, 2006); doi:10.1117/1.2167967.
- [5] Lise L. Randeberg y Lars O. Svaasand, Ivar Baarstad, Trond Løke and Peter Kaspersen, Characterization of vascular structures and skin bruises using hyperspectral imaging, image analysis and diffusion theory, *Journal of Biophotonics*, Special Issue: Biophotonics for Dermatology: Science and Applications, Volume 3, Issue 1-2, pages 53–65, January 2010.
- [6] Duckworth, Mark G.; Caspall, Jayme J.; Mappus IV, Rudolph L.; Kong, Linghua; Yi, Dingrong; Sprigle, Stephen H.. Bruise Bruise chromophore concentrations over time, Georgia Tech, IEEE - SPIE Medical Imaging. 2008. San Diego, California USA.
- [7] Vanessa K. Hughes y Neil E. I. Langlois. Use of reflectance spectrophotometry and colorimetry in a general linear model for the determination of the age of bruises, *FORENSIC SCIENCE, MEDICINE, AND PATHOLOGY*, Volume 6, Number 4, 275-281, DOI: 10.1007/s12024-010-9171-z.
- [8] Lidiya Georgieva, Tatyana Dimitrova, Ivan Stoyano, Computer-aided System for the Bruise Color's Recognition, *CompSysTech* 2005.
- [9] Stephen Sprigle, Dingrong Yi, Jayme Caspall, Maureen Linden, Linghua Kong y Mark Duckworth. Multispectral image analysis of bruise age, 6514-102 V. 2 (p.1 of 8).
- [10] Gisella M. Llajaruna P. Automatización de la datación de equimosis en el peritaje médico legal peruano mediante redes neuronales artificiales y procesamiento de imágenes. Grado Titulación. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2012.
- [11] Lise Lyngsnes Randeberg, Diagnostic applications of diffuse reflectance spectroscopy, *DOCTORAL THESIS*, the Norwegian University of Science and Technology in the period October 1999 – March 2005.
- [12] R F Carpenter, The prevalence and distribution of bruising in babies, *Arch Dis Child* 1999;80:363-366 doi:10.1136/adc.80.4.363.
- [13] T Stephenson, Ageing of bruising in children, *J R Soc Med*. 1997 June; 90(6): 312–314.
- [14] Stephen Sprigle, Dingrong Yi, Jayme Caspall, Maureen Linden, Linghua Kong y Mark Duckworth. Multispectral image analysis of bruise age, 6514-102 V. 2 (p.1 of 8).
- [15] Libro: Lesiones traumáticas del niño, Escrito por Jesús Burgos, Pedro González Herranz, Santiago Amaya Alarcón
- [16] [Gutiérrez 2011], Dr. Lino Gutiérrez, Comunicación Experto en Medicina Forense