

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL / DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

**Tema: “RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES PARA DETECCIÓN
TEMPRANA DE ALTERACIONES POSTURALES”**

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de
Magister en Automatización y Sistemas de Control

Autora: Ing. Claudia Verónica Romero Rodríguez

Director: Ing. Eddie Egberto Galarza Zambrano Mg.

Ambato – Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg., e integrado por los señores Ingeniero Carlos Diego Gordón Gallegos Dr., Ingeniero Franklin Wilfrido Salazar Logroño Mg., e Ingeniero Marcelo Vladimir García Sánchez PhD. designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: ***“RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES PARA DETECCIÓN TEMPRANA DE ALTERACIONES POSTURALES”*** , elaborado y presentado por la Ingeniera Claudia Verónica Romero Rodríguez, para optar por el Grado Académico de Magister en Automatización y Sistemas de Control; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.
Presidenta del Tribunal



Ing. Carlos Diego Gordón Gallegos Dr.
Miembro del Tribunal



Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño Mg.
Miembro del Tribunal



Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez Dr.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: **“RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES PARA DETECCIÓN TEMPRANA DE ALTERACIONES POSTURALES”**, le corresponde exclusivamente a: Ingeniera Claudia Verónica Romero Rodríguez, Autora bajo la Dirección de Ing. Eddie Egberto Galarza Zambrano Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Claudia Verónica Romero Rodríguez

c.c. 1804332037

AUTORA



Ing. Eddie Egberto Galarza Zambrano Mg.

c.c. 1303128514

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Claudia Verónica Romero Rodríguez

c.c. 1804332037

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	i
A la Unidad Académica de Titulación	ii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
AGRADECIMIENTO.....	xii
DEDICATORIA.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.1 Tema De Investigación.....	4
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.2.1 Contextualización.....	4
1.2.2 Análisis Crítico.....	6
1.2.3 Prognosis	7
1.2.4 Formulación del problema	8
1.2.5 Interrogantes de la investigación	8
1.2.6 Delimitación Del Objeto De Investigación	8
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo General	10

1.4.2 Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 Antecedentes Investigativos.....	11
2.2 Fundamentación Teórica	13
2.3 Fundamentación Filosófica	31
2.4 Fundamentación Legal	31
2.5 Red de categorías fundamentales	34
2.6 Hipótesis.....	36
2.7 Señalamiento de variables de la hipótesis	37
2.7.1 Variable independiente	37
2.7.2 Variable dependiente	37
CAPÍTULO III	38
METODOLOGÍA	38
3.1. Enfoque	38
3.2 Modalidad de la investigación.....	38
3.2.1 Aplicada:	38
3.2.2 Bibliográfica:.....	38
3.2.3. De Campo:.....	39
3.3. Nivel o tipo de investigación.....	39
3.4 Población y muestra	39
3.5. Operacionalización de variables.....	41
3.5.1. Variable Independiente:	41
3.5.2. Variable Dependiente	42
3.6. Recolección de información.....	43

3.7. Procesamiento y análisis de la información	43
CAPÍTULO IV	44
MARCO ADMINISTRATIVO.....	44
4.1 Recursos.....	44
4.1.1 Institucionales	44
4.1.2 Humanos	44
4.1.3 Materiales.....	44
4.1.4 Económicos (Presupuesto).....	44
CAPÍTULO V	46
PROPUESTA	46
5.1. Objetivos	46
5.1.1. Objetivo General	46
5.1.2. Objetivos específicos.....	46
5.2. Análisis de Factibilidad	46
5.2.1. Factibilidad Técnica	46
5.2.2. Factibilidad Económica	47
5.2.3. Factibilidad Bibliográfica.....	47
5.3. Requerimientos del Sistema	47
5.4. Lenguaje de Programación Python	48
5.5 Aplicación Web.....	50
5.6. Diseño del Sistema	50
5.7 Pruebas de Funcionamiento del Sistema.....	66
5.8 Procesamiento de Datos	68
5.9 Comprobación de hipótesis mediante t student.....	71
5.10 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA.....	73

5.11 CONCLUSIONES	80
5.12 RECOMENDACIONES	81
5.13 REFERENCIAS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Árbol de Problema.....	6
Figura 2. Columna Vertebral.....	13
Figura 3. Escoliosis	15
Figura 4. Método de Ángulo de Cobb.....	16
Figura 5. Imagen con formato DICOM.....	18
Figura 6. Procesamiento de imágenes	20
Figura 7. Filtro Gaussiano	21
Figura 8. Filtro bilateral.....	21
Figura 9. Segmentación de imágenes	22
Figura 10. Convolución de una imagen.....	25
Figura 11. Arquitectura Máscara R-CNN	25
Figura 12. Metodología de una CNN	26
Figura 13. Arquitectura ResNet.....	27
Figura 14. Funcionamiento Servidor Web	28
Figura 15. Categorías Fundamentales del Problema	34
Figura 16. Constelación de ideas – variable independiente	35
Figura 17. Constelación de ideas – variable dependiente	36
Figura 18. Esquema de etapas del proyecto	48
Figura 19. Importación de parámetros Rcnm	52
Figura 20. Configuración de entrenamiento hardware	53
Figura 21. Entrenamiento de modelo	53
Figura 22. Entrenamiento con python	54
Figura 23. Ejecución del entrenamiento.....	54
Figura 24. Generación de la máscara	55
Figura 25. Diagrama de Segmentación	55
Figura 26. Detección de Anchors	56
Figura 27. Anchors plano frontal y posterior	56
Figura 28. Reajuste de anchors para la detección de la CV	57
Figura 29. Detección de Roi en diferentes secciones	57

Figura 30. Roi detectado de la columna vertebral.....	58
Figura 31. Detección de columna vertebral según máscara	58
Figura 32. Detección parte media de la CV	59
Figura 33. Detección de ángulo de desviación.....	60
Figura 34. Estructura de la Aplicación Administrativa.....	60
Figura 35. Esquema Físico de la base de datos	61
Figura 36. Base de datos .sql.....	62
Figura 37. Entorno de App Web	63
Figura 38. Entorno de ingreso de nuevo paciente	64
Figura 39. Subir radiografía del paciente	65
Figura 40. Resultados de la detección de escoliosis (grado).....	65
Figura 41. Resumen de diagnóstico del paciente	66
Figura 42. Detección de desviación leve.....	67
Figura 43. Detección de desviación media.....	68
Figura 44. Detección de desviación grave.....	68
Figura 45. Ángulo medido manual vs Ángulo medido por el sistema	71
Figura 46. Proyección de Datos Manuales vs Sistema.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la escoliosis.....	17
Tabla 2. Lenguaje DDL.....	30
Tabla 3. Población de estudio.....	40
Tabla 4. Operacionalización de la variable Independiente.....	41
Tabla 5. Operacionalización de la Variable Dependiente	42
Tabla 6. Presupuesto proyectado para el proyecto.	45
Tabla 7. Diferencias entre Python, Matlab y Java.....	47
Tabla 8. Comparación de Redes Neuronales.....	52
Tabla 9. Grados de desviación medidos manualmente vs Grado de desviación del sistema.....	69
Tabla 10. Mediciones intra-observador por 3 observadores utilizando el método Cobb (n = 30; unidad, °).....	71
Tabla 11. Mediciones intra-observador por 3 médicos utilizando el método Cobb (n = 30; unidad, °).....	72
Tabla 12. Prueba t para comprobación de hipótesis.....	72
Tabla 13. Proyección de Mediciones de Observadores.....	74
Tabla 14. Proyección de datos 30 reales y 70 proyectados	76

AGRADECIMIENTO

Ya te lo he ordenado: ¡Sé fuerte y valiente! ¡No tengas miedo ni te desanimas!
Porque el Señor tu Dios te acompañará dondequiera que vayas.

Josué 1:9

En primer lugar, quiero agradecer infinitamente a Dios por ser ese padre que siempre ha estado junto a mí cuidándome y dándome fuerza, jamás me ha dejado desmayar.

A mis Padres, quienes son los pilares de mi vida, sin el apoyo de ellos no estaría en el lugar en el que hoy me encuentro, siempre han estado ahí para darme su mano y ayudarme a avanzar en la vida.

A mi familia en general por que han aportado de cierta manera en mi vida y para que esto pueda finalizar y poder seguir por más.

A mi amiga Vale que siempre hemos estado la una para la otra en las buenas en las malas y en la peores, gracias por tus enseñanzas y por cada paso que hemos dado juntas; como no a mis demás amigos que nos hemos hecho muy unidos y siempre salíamos juntos de tantas situaciones presentadas en la universidad.

Al Ing. Eddie Galarza por su ayuda y soporte en el momento que sea necesario para avanzar con la tesis, por sus consejos y aportes para mejorar y hacer de este trabajo de investigación un aporte a la colectividad.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación quiero dedicar a Dios y a mis padres, porque gracias a ellos y a su apoyo incondicional se pudo lograr, no cabe duda las palabras de mi padre, la mejor herencia a los hijos es el estudio y valoro mucho cada esfuerzo que han hecho para que no me falte nada.

También es importante dedicar este trabajo a mis hermanas y sobrinos, por siempre darme ánimo y apoyarme, siempre han estado junto a mí viéndome crecer y ayudándome a hacerlo, gracias por eso.

Y finalmente a Diego Bustillos, por su ayuda de igual manera, ha sido un esfuerzo por el cual hemos luchado y por grandes cosas que están por venir.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL / DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

TEMA:

**“RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES PARA DETECCIÓN TEMPRANA
DE ALTERACIONES POSTURALES”**

AUTOR: *Ing. Claudia Verónica Romero Rodríguez*

DIRECTOR: *Ing. Eddie Egberto Galarza Zambrano Mg.*

FECHA: *14 de enero de 2019*

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación desarrolla un sistema el cual permite detectar la desviación de la columna vertebral de forma automática en pacientes que se realicen radiografías lumbares; el sistema es desarrollado en software libre por lo tanto el costo de instalación se reduce considerablemente. El objetivo del desarrollo es determinar mediante una radiografía el ángulo de desviación de la columna, con el uso de una red Convolutiva la cual se encarga de detectar la sección o máscara con la cual se va a trabajar, para ello se entrena previamente a la red con radiografías que presenten escoliosis las mismas que se compararan con las Rx ingresadas por el sistema para determinar la sección de estudio de esta, seguidamente se obtiene el centro longitudinal de la columna según sea su forma y ajustar mediante regresión polinomial de octavo grado la forma de la desviación. Obteniendo la función propia de la columna de cada paciente se compara con la función de una columna ideal y realizando un análisis tangencial

de los puntos de intersección de la columna con referencia al punto inicial y final donde se genera la desviación, por lo tanto, se obtiene forma automática el ángulo de desviación de la columna del paciente; este sistema al no ser manual evita la subjetividad de localizar la vértebra en la cual inicia y termina la deformidad de la columna.

Palabras Claves: Columna Vertebral, Escoliosis, Procesamiento de Imágenes, Radiografías, Máscara, Roi, Grado de Desviación, Red Convolutacional, ResNet101, Ángulo Cobb.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL / DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

THEME:

**“RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES PARA DETECCIÓN TEMPRANA
DE ALTERACIONES POSTURALES”**

AUTHOR: *Ing. Claudia Verónica Romero Rodríguez*

DIRECTED BY: *Ing. Eddie Egberto Galarza Zambrano Mg.*

DATE: *january 14, 2019*

EXECUTIVE SUMMARY

The present titration work develops a system which allows detecting the deviation of the spine automatically in patients who perform lumbar radiographs; the system is developed in free software therefore the installation cost is considerably reduced. The objective of the development is to determine by means of an X-ray the angle of deviation of the column, with the use of a Convolutional network which is in charge of detecting the section or mask with which it is going to work, for it is previously trained to the network with radiographs that present scoliosis the same as those that were compared with the Rx entered by the system to determine the section of study of this, then the longitudinal center of the column is obtained according to its shape and adjust by means of 8th degree polynomial regression the form of the deviation. Obtaining the proper function of each patient's column is compared with the function of an ideal column and performing a tangential analysis of the points of intersection of the column with reference to the initial and final point where the deviation is generated, therefore, the angle of

deviation of the patient's column is automatically obtained; This system, not being manual, avoids the subjectivity of locating the vertebra in which the deformity of the spine begins and ends.

Key Words: Spine, Scoliosis, Image Processing, X-rays, Mask, Roi, Deviation Degree, Convolutional Network, ResNet101, Cobb Angle.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito médico el uso de la tecnología actualmente ha facilitado a los expertos minimizar tiempos e incrementar la precisión en la detección de anomalías que los pacientes pueden presentar de acuerdo con exámenes realizados y a los equipos utilizados.

Una de las enfermedades de la columna vertebral más comunes es la escoliosis que afecta a parte de la población global, debido a varios factores como la genética, la forma postural y el ámbito laboral donde se desempeña, la mayor causa es debido a la carga de trabajo a la cual las personas están sometidas, por lo cual sus afectaciones incrementan por levantamiento de pesos excesivos y diarios, para detectarlos se realizan exámenes de rayos X en dónde se puede verificar el posible daños a la columna vertebral una vez que el experto emita su diagnóstico.

Para tener una mayor precisión en el diagnóstico de un paciente se lo realiza mediante el procesamiento de imágenes obtenidas de exámenes realizados a estos, es importante aplicar criterios matemáticos, en este caso regresión polinomial de octavo grado para el ajuste de la función a la curvatura propia que presenta la columna vertebral, derivadas y tangentes a la función propia de la columna para determinar el inicio y fin de la desviación, los cuales ayudan a determinar de manera puntual y disminuyendo tiempos de análisis la anomalía que este posea.

En el presente proyecto se implementa procesamiento de imágenes médicas utilizando librerías de visión artificial que ayuden a realzar características óseas en este caso de columna vertebral para obtener un diagnóstico de la posible desviación, ya que al no presentar una desviación pronunciada se deja de lado y no se obtiene un dato histórico de los grados que presenta y de cómo ha sido la evolución del paciente, a más de la baja calidad de las radiografías.

La aplicación de este tema propuesto surge de la necesidad de detectar desviaciones de columna reduciendo tiempos de cálculos de ángulos de deformidad que a su vez definen el grado de gravedad de esta, es decir leve, media o grave a más de almacenar los datos de pacientes para verificar su evolución de acuerdo con el tratamiento que el especialista lo recomiende.

El cálculo del ángulo de desviación que categoriza la gravedad de la alteración postural que se presente es de forma automática contrarrestando con la experiencia del médico tratante y verificando la fiabilidad del sistema propuesto que es un apoyo al médico agilizando su trabajo.

La principal aplicación del sistema propuesto es en el ámbito médico ya que al trabajar con radiografías de pacientes que poseen escoliosis en diferentes grados se logra obtener de forma automática el ángulo de desviación que presenta disminuyendo el tiempo de detección que en muchos de los casos es manual y difiere según el especialista tratante, a más de esto se logra tener una base de datos según sea la evolución del paciente.

El presente trabajo de titulación se desarrolla en cinco capítulos en los que se detalla lo siguiente:

En el Capítulo I se describe de forma general el problema de la investigación planteado debido a las alteraciones posturales que los pacientes poseen y el tiempo en el diagnóstico de estas, a más de realizar el análisis crítico del problema, delimitación del objeto de investigación y el planteamiento de los objetivos.

En el Capítulo II se describe el marco teórico, los antecedentes investigativos, se realiza la constelación de las variables de reconocimiento de imágenes y alteraciones posturales a más del planteamiento de la hipótesis que se pretende demostrar en el problema.

En el Capítulo III se define la metodología que se va a utilizar en el desarrollo del proyecto, se realiza la operacionalización de las variables para definir los parámetros de estudio y las técnicas para la recopilación de información.

En el Capítulo IV se desarrolla el marco administrativo que determina los recursos a usarse en el sistema propuesto tanto institucionales, humanos, materiales y económicos.

En el Capítulo V se desarrolla la descripción de la propuesta del sistema detallando específicamente los objetivos tanto general como específicos que se van a cumplir, se describe detalladamente el desarrollo del sistema, las pruebas

que constaten su funcionamiento, sus conclusiones, recomendaciones y bibliografía utilizada en el trabajo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1 Tema De Investigación.

Reconocimiento de imágenes para detección temprana de alteraciones posturales

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización.

Según el NIH perteneciente a Estados Unidos: Instituto Nacional de Artritis y Enfermedades Musculoesqueléticas y de la Piel (2018):

La escoliosis causa una curvatura hacia los lados de la columna vertebral o espina dorsal, las curvas suelen tener forma de S o de C. Este tipo de alteración es más común al final de la niñez y el inicio de la adolescencia, cuando el crecimiento es más rápido. Para determinar este tipo de lesión se realiza un examen para detectar escoliosis el cual puede consistir en un examen físico y pruebas de imagen para diagnosticarla. El tratamiento dependerá de la edad y cuánto más es probable que crezca, cuán marcada es la curva y si la curva es temporal o permanente. Las personas con escoliosis leve pueden necesitar solamente chequeos para ver si la curva está empeorando. Otros podrían necesitar usar un corsé o someterse a una cirugía.

La columna vertebral es una de las partes más importantes de la anatomía humana, es la que nos ayuda a estar erguidos y mantener el equilibrio. Existen ocasiones en las que presenta curvas anormales, tanto hacia el lado derecho como izquierdo.

Según (Vertebral, 2014):

A nivel mundial se presenta una alta incidencia en los pacientes por presentar escoliosis por lo que se refleja entre el 1 y el 3% de la población. Durante la infancia y el desarrollo, la escoliosis puede tener un curso variable, incluso asintomático y el grado de desviación de la curvatura es proporcional al grado de deformidad y complicaciones que puedan afectar la calidad de vida del paciente.

Actualmente la escoliosis ha sido caso de estudio de acuerdo con varios factores que aquejan a los pacientes que son atendidos, muchas de las veces los síntomas no son notables debido a la edad del paciente o pocas molestias ocasionadas en el transcurso y desarrollo de su vida diaria, es importante recalcar el hecho de realizar una detección temprana para evitar que se propague la deformidad de la columna.

Según (Luis Tomalá, 2015):

La escoliosis en el Ecuador afecta al 2% de la población y existen 3 tipos: congénita, idiopática y neuromuscular. La congénita se debe a una malformación de las vértebras; idiopática, se desarrolla con el tiempo y la escoliosis neuromuscular, es la enfermedad típica de la parálisis cerebral infantil, PCI, que cursa con desviación de la columna en forma precoz, con curvas muy graves y que en su mayoría este tipo de pacientes no son candidatos idóneos para cirugías.

Es importante contar con un sistema que logre determinar de forma temprana una posible alteración en la columna vertebral, tomando en cuenta el ángulo de desviación que posea de ser el caso para contrarrestarlo con la prescripción médica y evitar un progreso de esta e ir verificando su evolución.

1.2.2 Análisis Crítico

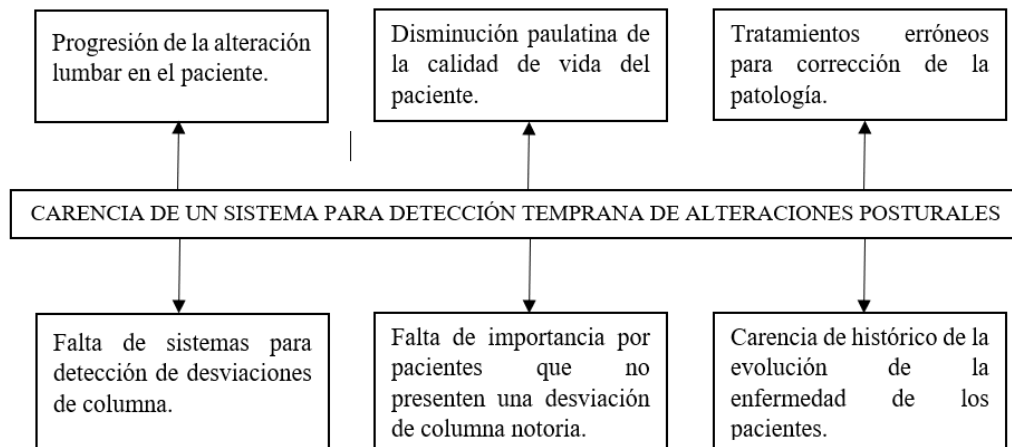


Figura 1. Diagrama de Árbol de Problema

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Como se muestra en la Figura 1, el problema identificado es la carencia de sistema para detección temprana de alteraciones posturales, aun a pesar de existir técnicas de detección de desviaciones de columna siendo estos es su mayoría manuales.

Entre las principales causas y consecuencias determinadas en cuanto al problema identificado se identifican las siguientes:

La falta de sistemas para la detección de desviaciones de columna cuya consecuencia es la progresión de la alteración lumbar en el paciente.

Otra de las causas es la falta de importancia por pacientes que no presenten una desviación de columna notoria, su consecuencia es la disminución paulatina de la calidad de vida del paciente.

Finalmente, la carencia de históricos de la evolución de la enfermedad de los pacientes cuya consecuencia se deriva en tratamientos erróneos para la corrección de la patología.

1.2.3 Prognosis

La columna vertebral constituye la parte central del esqueleto humano para efectuar funciones diarias de movilidad, en este caso gran parte de la población tiene problemas lumbares, ya sea por genética o por estar sometido a esfuerzos físicos que repercute en el normal funcionamiento de esta.

Uno de los problemas más comunes recae en el diagnóstico médico, ya que al realizar radiografías ya sea por decisión del paciente o por exámenes ocupacionales si no se visualiza una desviación pronunciada se define como una columna en condiciones normales y el paciente deja de lado su cuidado, un paciente que tenga una desviación leve también debe ser notificado evitando que exceda los esfuerzos que pueden afectar y causar un avance a la deformidad que presente. Para detectar el ángulo de desviación de columna que el paciente posee, se aplica el método más utilizado como lo es el ángulo de Cobb, el cual se lo realiza de forma manual tomando tiempos en la entrega de resultados a más de ser subjetivo de acuerdo con el médico tratante.

Razón por la cual el desarrollo del sistema propuesto avalado por el médico tratante tiene como finalidad ayudar a la detección de forma temprana de alteraciones de columna vertebral a más de obtener automáticamente el ángulo de la desviación de ser el caso, conocer si dicha desviación es leve, media o grave. El almacenamiento de estos datos es importante ya que se tendría una base de datos de cómo ha sido la evolución de esta patología presentada.

Este tipo de sistema podría usarse en empresas en dónde los médicos ocupacionales pueden analizar cada uno de los casos de trabajadores, emitir tratamientos según sea el caso y almacenar en la historia clínica del paciente si ha

disminuido o incrementado la patología de acuerdo con las funciones que desempeñan.

1.2.4 Formulación del problema

¿Cómo incide el reconocimiento de imágenes para detección temprana de alteraciones posturales?

1.2.5 Interrogantes de la investigación

¿Cómo se podría detectar a tiempo alteraciones en la columna vertebral?

¿Cómo se realizará el procesamiento de las imágenes obtenidas?

¿Cómo se podría constatar el procedimiento propuesto para la solución del problema?

1.2.6 Delimitación Del Objeto De Investigación

Campo: Tratamiento de Imágenes

Área: Procesamiento de imágenes médicas.

Aspecto: Alteraciones posturales de escoliosis.

Delimitación espacial: Centros Particulares de Imagenología.

1.3 Justificación

Los problemas de columna vertebral afectan a gran parte de la población en especial la escoliosis es muy común en los pacientes la cual puede ser causada por diferentes motivos ya mencionados con anterioridad, es por esta razón que se propone aportar en el campo médico para la detección temprana de desviaciones de columna aplicando un software libre en donde se realizará un algoritmo para la detección del ángulo de desviación de la columna vertebral, ya sea en pacientes que presenten una desviación pronunciada como en pacientes que tengan un bajo grado de desviación, de esta manera el médico podrá determinar el tipo de tratamiento que necesite para evitar complicaciones futuras.

Como se analiza en el paper titulado “Early Detection of Idiopathic Scoliosis in Adolescents” (Hresko, M. Timothy, Talwalkar, Vishwas, Schwend, Richard,

2016), la ausencia de la prevención de la aparición de escoliosis la mayor atención debe ser la identificación temprana para prevenir complicaciones causadas por esta enfermedad, ya que la detección de escoliosis a través de métodos como lo es el Test de Adams, el cual consta en un examen físico valorado por el médico especialista y se analiza visualmente según la postura de la columna, otro método es utilizando el escoliómetro para hacer una determinación cuantitativa del grado de rotación troncal ha reducido el número de referencias inapropiadas. Las complicaciones de la escoliosis en sí incluyen compromiso pulmonar, dolor y deformidad; estos se previenen mejor mediante la detección temprana y el tratamiento temprano. Cuando la escoliosis se trata tarde y presenta curvaturas pronunciadas, se requieren más procedimientos complicados. El sistema propuesto tiene como objetivo la detección de la desviación y los grados que presenta tanto así una visibilidad completa de la misma y alertar al médico para remitir el tratamiento temprano para evitar complicaciones.

Según (Bakhous et al., 2018) El análisis 3D de las deformidades de la columna vertebral (escoliosis) tiene un alto potencial en el diagnóstico y el tratamiento clínico. Estar involucrado en la rotación axial vértebra (AVR), que es un parámetro fundamental para el diagnóstico clínico de escoliosis. En este trabajo se centra en la extensión de un método de reconstrucción 3D columna vertebral completamente automático, donde los Centros cuerpo vertebral (CCV) se detectan automáticamente utilizando un Convolutional Neural Network (CNN), para añadir un modelo de regresión basada en la CNN para la detección de pedículo que permite una mejor localización de pedículo y la mejora de la estimación parámetros clínico (por ejemplo, AVR, el ángulo de Cobb). Por otra parte, una mejora general se observa en la reconstrucción 3D de la columna vertebral y se refleja en menores errores en la estimación del ángulo de Cobb. Al utilizar este método con un sistema 3D encarecería costos de estudios y los pacientes serían pocos quienes tendrían acceso a este tipo de análisis, tomando en cuenta que al ser el análisis en 3D su visualización es mayor y cuentan con diagnósticos muy aproximados a los del médico tratante,

El resultado obtenido por el sistema propuesto determinó la existencia de una desviación en la columna vertebral, el grado que posea y el nivel ya sea leve, medio y grave, para lo cual el médico podrá remitir el tratamiento evitando tiempos de cálculos y mediciones que se realiza de forma manual y a su vez teniendo una base de datos del paciente, es decir con cuántos grados de desviación empezó su consulta y cómo se va evolucionando, si existe un aumento o desviación de esta.

Al utilizar un software libre y trabajar con radiografías emitidas por centros de imagenología el proyecto propuesto tiene ventaja en cuanto a los estudios antes mencionados, puesto que la detección podría ser utilizado en empresas que cuenten con médico ocupacional para llevar el seguimiento de los pacientes, obteniendo el ángulo de desviación de manera automática y guardando en una base de datos por cada paciente para tener una historia clínica completa sobre este tipo de alteración.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo de sistema de reconocimiento de imágenes para detección temprana de alteraciones posturales.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Realizar procesamiento de imágenes utilizando software libre.
- Desarrollar un algoritmo para detectar el grado de escoliosis que posee la columna vertebral utilizando radiografías.
- Evaluar el sistema desarrollado a través de un diagnóstico médico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos.

Para el desarrollo del proyecto propuesto es preciso investigar sobre los argumentos que abracan el tema, en este caso en cuanto al ámbito médico de la escoliosis y en el software libre que se pretende utilizar, temas de visión artificial y procesamiento de imágenes para llegar al resultado obtenido, cabe mencionar la búsqueda de investigaciones realizadas que tengan relación con el tema planteado con anterioridad.

Uno de los mayores problemas que presenta el diagnóstico médico, en general, es la subjetividad del especialista. Por lo que puede notarse, principalmente en tareas de reconocimiento de patrones, que la experiencia del profesional tiene una estrecha relación con su diagnóstico final, esto se debe a que el resultado no depende de una solución sistematizada sino de la interpretación realizada sobre la señal del paciente, por esta razón se realiza un procesamiento y reconocimiento de imágenes de rayos X de columna vertebral, para ello existen diversos métodos uno de ellos lo podemos encontrar y sustentar en “Medical image processing using fuzzy logic” (Khan, Li, & Shaikh, 2015), el cual analiza el procesamiento de imágenes biomédicas para el diagnóstico del paciente, el tratamiento de guía, la planificación del tratamiento y la observación de la progresión de la enfermedad.

Existen varios estudios en cuanto a la detección de escoliosis que se han desarrollado como lo explica (Samuvel, Thomas, M.G., & J., 2012) cuyo procedimiento se basa en la detección manual de los centroides de las vértebras de columna, es decir donde inicia la desviación y dónde termina, después se mide el ángulo formado entre la primera vértebra y el ángulo entre la última vértebra para determinar el ángulo de deformidad. Este tipo de medición de ángulo de Cobb al ser manual puede ocasionar errores en cuanto a la precisión de la medida y la

subjetividad de la vértebra dónde inicia y dónde termina la desviación presentada por el paciente.

En el trabajo presentado por (Omar AlOkashi, HongboDu, HishamAl-Assam, 2017) se analiza el estudio de desviación de columna vertebral a un ratón, tomando como parte de partida la radiografía realizada a todo el cuerpo del animal se selecciona la columna vertebral y con el uso de filtros para destacar las vértebras se logra obtener la desviación que esta posee y se compara el error que presenta con una columna ideal. Este tipo de trabajo se lo realiza aplicando Matlab los comandos que tienen en las librerías precargadas y trazando los puntos donde inicia y termina según la columna del animal en este caso la rata de laboratorio.

Otro estudio realizado por (Infante Ruiz et al., 2016) muestra la medición manual utilizando herramientas incorporadas en el sistema del computador, dónde se aplica el método de ángulo de Cobb para la detección de desviación, estos resultados fueron cotejados con mediciones manuales de expertos en el tema por lo cual se verifica una variabilidad en las medidas. Las mediciones manuales de las desviaciones de columna incrementan el tiempo de entrega de resultados al paciente y pueden ser variables dependiendo del médico tratante.

En el trabajo realizado por (Zukić et al., 2014) se utiliza resonancias magnéticas de la columna vertebral para detectar la desviación que esta posee y el ángulo de Cobb calculado mediante tangentes a la parte de la columna que presenta problemas. El realizar un examen de resonancia magnética tiene un costo muy elevado por lo que muchas de las personas se realizan radiografías que son más económicas y el tiempo de examen es menor.

En cuanto a los artículos analizados sobre temas que presenten una relación en cuanto al tema propuesto es propicio el desarrollo del sistema antes ya mencionado, en cuanto al trabajar con radiografías que son las más comunes con las cuales tratar tomando en cuenta que las radiografías deben abarcar desde el

cráneo hasta la cadera que es dónde se genera el movimiento y está comprendido entre las vértebras C7, cervical 7, (ubicada al final del cuello e inicio de los hombros) y la L5, lumbar 5, (dónde finaliza la parte móvil de la columna y se une al hueso de la cadera llamado cresta iliaca, ya que las vértebras que conforman este grupo son las que permiten la movilidad del cuerpo humano y dónde comúnmente aparecen los problemas de escoliosis.

2.2 Fundamentación Teórica

La columna vertebral

La columna vertebral es un conjunto óseo que se extiende desde la cabeza a la pelvis, por detrás del cuerpo en su parte media. Consta de 33 huesos llamados vértebras, articulados entre sí y unidos mediante potentes ligamentos y músculos, como se muestra en la Figura 2. Entre las vértebras existe un cojín elástico que almohadilla sus rozamientos y da a la columna mayor movilidad, se trata de del disco intervertebral.

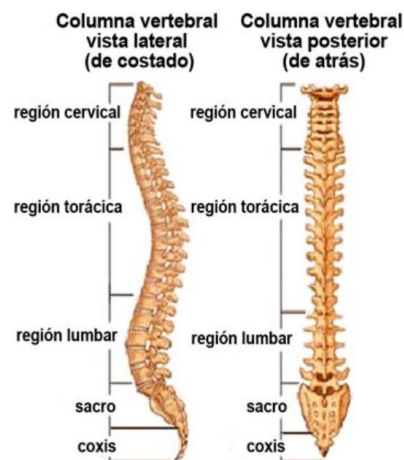


Figura 2. Columna Vertebral

Elaborado por: <https://www.spineuniverse.com/espanol/anatomia/columna-vertebral>

Las vértebras varían en tamaño (las cervicales son las más pequeñas, las lumbares, las más grandes) los cuerpos vertebrales son las estructuras de la columna vertebral las cuales soportan el peso. El peso de la parte superior del cuerpo se distribuye a lo largo de la columna hasta el sacro y la pelvis. Las curvas

naturales de la columna, cifótica y lordótica, proveen resistencia y elasticidad en la distribución del peso corporal y las cargas axiales sostenidas durante el movimiento. Las vértebras se componen de muchos elementos que son vitales para el funcionamiento general de la columna, e incluyen los discos intervertebrales y las articulaciones facetarias. (Hospital Nacional de Paraplégicos, 2016).

Enfermedades de la columna vertebral

Las alteraciones de la columna vertebral pueden deberse a causas muy distintas, desde fallos en el desarrollo intrauterino hasta infecciones víricas o bacterianas.

A continuación, se describen algunas de las enfermedades más comunes de la columna vertebral:

- **Congénitas:** las personas que presentan este tipo de enfermedad son causa por nacimiento o son heredadas por los padres, se pueden notar síntomas como entumecimiento de las extremidades o pérdida de la extensión de movimiento de estas.
- **Vértebras herniadas:** son las hernias en los discos que afectan diferentes vértebras lumbares y cervicales, esta es una de las deformidades más comunes de la columna vertebral, de ser algo hereditario, es importante seguir con un tratamiento y monitoreo de la enfermedad, muchas veces la solución es no quirúrgica.
- **Ausencia de vértebras:** algunas personas pueden nacer sin una o dos vértebras, la ausencia de un segmento de coxis o de sacro, esto puede llegar a ocasionar una deformidad que tendrá consecuencias o riesgos más adelante, todo depende de un tratamiento para corregir dicha situación.
- **Espina bífida:** es una enfermedad de condición congénita que causa el cierre incompleto del tubo neural embrionario, existe varios tipos de esta condición y cada una varía su gravedad.

- Degenerativas: Los hallazgos más frecuentes son las alteraciones degenerativas discales y facetarias que están presentes tanto en pacientes sintomáticos como en controles asintomáticos²⁸. Aunque estos cambios degenerativos aumentan con la edad, el dolor no se incrementa proporcionalmente. (Ruiz Santiago, Guzmán Álvarez, Tello Moreno, & Navarrete González, 2010)

La Escoliosis

La escoliosis es una de las enfermedades de la columna vertebral más frecuentes. Se caracteriza por la curvatura de la columna, que puede empeorar con los años, en los casos más leves esta alteración no provoca mayores complicaciones, pero si el grado de desviación es elevado puede interferir con la respiración. La columna se desvía hacia uno de los lados de la espalda, ya sea a la derecha o izquierda, como se muestra en la Figura 3., afectando tanto a músculos como a ligamentos y vértebras. Se estima que cerca del 70% de la población la padece en cierto grado.

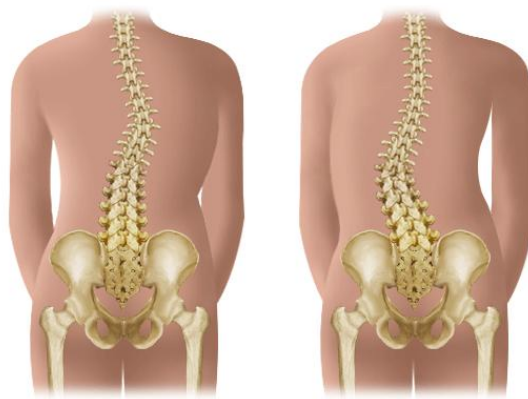


Figura 3. Escoliosis

Elaborado por: <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=escoliosis-90-P05390>

Las curvaturas mínimas usualmente no suelen causar problemas, pero una curvatura que empeora puede ser causal de una mala salud de una persona. Las curvaturas importantes pueden lesionar las articulaciones y causar artritis en la columna vertebral; puede hacer que las costillas rocen con la pelvis, lo que

provocar dolor. Si la columna vertebral tiene una desviación pronunciada se pueden desarrollar problemas pulmonares. («Escoliosis (para Adolescentes)», 2014)

Métodos de Detección de Desviaciones de Columna

Método de Cobb

El ángulo de Cobb es el método más común utilizado para la evaluación cuantitativa de la curvatura lateral de la columna vertebral en el plano frontal en 2 dimensiones. Es generalmente considerado como el standard principal para el diagnóstico y acompañamiento de pacientes con diferentes grados de escoliosis. Este método es también importante en el planeamiento de procedimientos quirúrgicos, monitorización y gestión de las deformidades de la columna vertebral, puesto que determina la gravedad de la curvatura (Michelle et al, 2012).

El método "indirecto" o "de cuatro líneas", mide el ángulo de la curva en la intersección de líneas perpendiculares trazadas a las vértebras dónde inicia y dónde termina la deformidad, como se muestra en la Figura 4, esta técnica es útil en ángulos de menor magnitud, siendo necesario considerar que por la mayor utilización de líneas y ángulos se asocia a mayor variabilidad y error. Cabe destacar que, con los sistemas de radiología digital actual, todas las curvas son posibles de medir con el método de Cobb directo (Díaz J, Schröter G, & Schulz I, 2009).

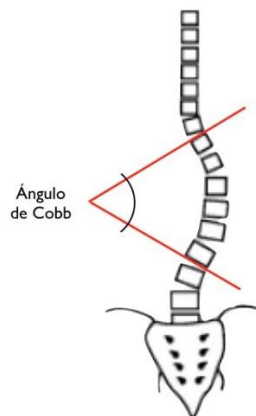


Figura 4. Método de Ángulo de Cobb

Elaborado por: <http://www.columna-spine.com/epinograma/>

La clasificación de la severidad de la escoliosis según el ángulo de Cobb varía según estudios realizados y los valores aproximados se los presenta en la Tabla 1 mostrada a continuación.

Tabla 1. *Clasificación de la escoliosis*

Tipo de Escoliosis	Ángulo de Cobb
Leve	10° - 24°
Moderada	24° - 50°
Grave	> 50°

Elaborado por: <http://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2011/ot112e.pdf>

Exámenes médicos de la columna vertebral

Rayos X

Las características del haz de RX generado (haz incidente) se regula mediante la diferencia de potencial aplicada entre ánodo y cátodo (expresada en kV; a mayor valor, mayor capacidad de penetración en el tejido), el filtro y el diafragma utilizado. Cuando el haz incidente penetra dentro del organismo, una cierta cantidad de fotones (aproximadamente un 5% del total) no interacciona y lo atraviesa sin modificación en su dirección, formando el haz resultante (Pardell, 2019).

Actualmente se ha establecido que la radiografía en ausencia de traumatismo tiene un valor limitado, ya que los cambios degenerativos son muy comunes y la patología más relevante, tumoral o infecciosa, puede pasar desapercibida. (Ruiz Santiago et al., 2010). Las radiografías utilizan rayos de energía electromagnética invisible para conseguir imágenes de los tejidos internos, los huesos y los órganos en una placa radiográfica. Las radiografías estándar se realizan por diversos motivos. Estas incluyen el diagnóstico de tumores o lesiones óseas. Los rayos X atraviesan los tejidos del cuerpo hacia placas especialmente tratadas y se genera una imagen en "negativo" (mientras más sólida es la estructura, más blanca se

verá en la placa). En lugar de placas, ahora las radiografías generalmente pueden hacerse por computadora y medios digitales.

Imágenes Médicas

Las imágenes médicas se han convertido en un gran instrumento fundamental para la práctica clínica; en la actualidad, permiten detectar patologías con una antelación primordial para el paciente. La utilización de las imágenes cada vez es más común utilizar compendios de computación basados en imagen en el proceso previo a la cirugía e incluso durante las propias intervenciones quirúrgicas, esto ayuda a los expertos a valerse de estas herramientas para tomar decisiones en tiempo real o para tomar imágenes y muestras que posteriormente soportarán el diagnóstico y terapia recomendada.

Las imágenes médicas son proporcionadas en formato DICOM, se muestra en la Figura 5, que es un estándar el cual es un mecanismo de codificación, almacenamiento y transmisión de imágenes aceptado universalmente por la comunidad médica. El principio de este formato es extremadamente completo que permite almacenar información sobre el paciente, las condiciones en las que se tomó la imagen, y el formato interno de ésta.



Figura 5. Imagen con formato DICOM

Elaborado por: https://www.oki.com/es/printing/about-us/news-room/blog/2018/0101/Why_DICOM_Printing_Adds_Medical_Accuracy.html

Procesamiento de imágenes

Es una clase de procesamiento de señales que consiste en trabajar con fotografías y/o vídeos para someterlos a un procesamiento de perfil bajo con el fin de extraer determinadas características o parámetros, o bien para elaborar nuevas imágenes procesadas como material de salida. En sentido general la visión artificial puede ser considerada como una forma más genérica del procesamiento de imágenes, más cercana a la interpretación de imágenes, cuya finalidad es procesar, comprender y descifrar características o rastrear objetos con un objetivo claro en una imagen.

Un objetivo del procesamiento de imágenes consiste en mejorar el aspecto de las imágenes y resaltar ellas ciertos detalles que se desean hacer notar. La imagen para utilizar se puede escoger de diferentes formas, por ejemplo, fotográficamente, o electrónicamente, por medio de monitores de televisión.

El procesamiento de las imágenes se puede en general hacer por medio de métodos ópticos, o bien por medio de métodos digitales, una muestra de presenta en la Figura 6.

Para resaltar características en imágenes de acuerdo con el trabajo que se va a realizar se pueden aplicar ciertos mecanismos de realce que se detallan a continuación:

- **Brillo:** Su control permite cambiar el nivel de brillo general de la imagen.
- **Contraste:** Permite que partes que no son muy visibles u oscuras puedan visualizarse correctamente.
- **Afilamiento:** Permite realzar mediante el cambio de píxeles de negro a blanco: líneas, bordes, etc.
- **Énfasis:** Permite destacar o reducir los tonos medios

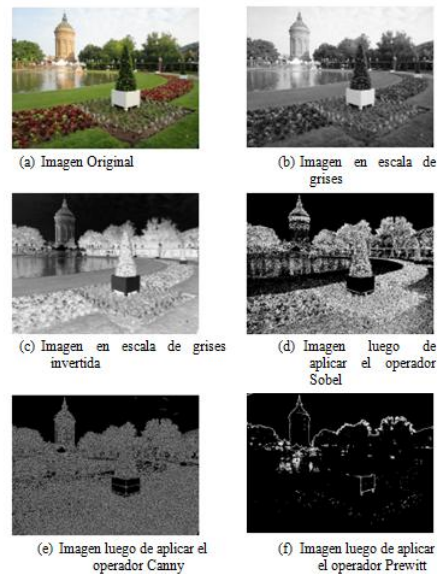


Figura 6. Procesamiento de imágenes

Elaborado por: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ejemplo-de-procesamiento-de-imagenes-usando-Scilab-y-su-Toolbox-Imagen-Torre_fig1_286459753

Eliminación de ruido en imágenes

El ruido se puede producir durante la adquisición, la transmisión o el procesamiento de la imagen con la cual se va a trabajar. Existen diversos tipos de ruidos presentes en las imágenes como lo son:

- Ruido gaussiano: es el ruido cuya densidad de probabilidad responde a una distribución normal (o distribución de Gauss). Este tipo de ruido es el que más común en los equipos electrónicos.
- Ruido impulsivo: es no continuo y está constituido por picos irregulares de corta duración y amplitud relativamente grande. Estos picos se generan por diversas causas, por ejemplo, por perturbaciones electromagnéticas producidas por tormentas atmosféricas o por defectos en los sistemas de comunicación.
- Ruido sal y pimienta: Se caracteriza por la aparición de píxeles con valores arbitrarios normalmente detectables porque se diferencian mucho de sus vecinos más próximos.

Filtro Gaussiano

Se utiliza para eliminar ruido, una de sus características es la separabilidad, es decir, en lugar de realizar una convolución bidimensional, se puede observar en la Figura 7, se puede realizar dos convoluciones unidimensionales. Una en sentido horizontal y otra en sentido vertical. Otra función del filtro es la simulación de una distribución gaussiana bivariente.

El valor máximo aparece en el píxel central y disminuye hacia los extremos tanto más rápido cuanto menor sea el parámetro de desviación típica s . El resultado será un conjunto de valores entre 0 y 1.

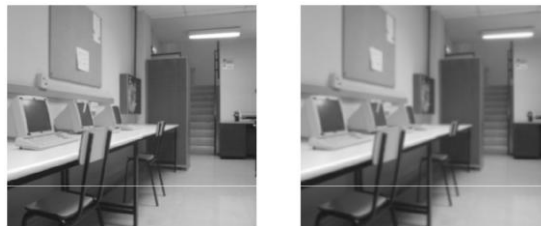


Figura 7. Filtro Gaussiano

Elaborado por: <http://grupo.us.es/gtocom/pid/tema3-1.pdf>

Filtro bilateral

Es una técnica de suavizado respetando los bordes, por lo cual esta herramienta resulta muy útil en diversas circunstancias tales como: suavizado en imágenes ruidosas sin pérdida de bordes, como se muestra en la Figura 8. El valor de intensidad en cada píxel de la imagen es reemplazado por una media ponderada de los valores de intensidad de los píxeles cercanos.

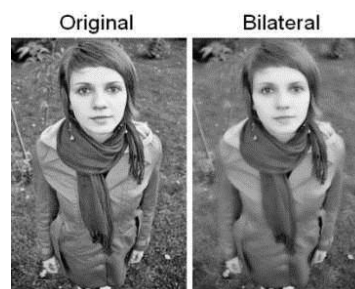


Figura 8. Filtro bilateral

Elaborado por: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Filtro-bilateral-que-se-aplica-a-una-imagen_fig5_320411317

Segmentación de imágenes

La segmentación de imágenes es uno de los procesos más importantes del procesamiento de imágenes, la segmentación es una técnica que se utiliza para dividir una imagen en partes, llamadas segmentos, es la técnica más utilizada para aplicaciones como la comprensión de imágenes o reconocimiento de objetos, se puede observar un ejemplo en la Figura 9, ya que para estos tipos de aplicación es ineficiente procesar toda la imagen, esta técnica divide a la imagen en varias partes en función de ciertas características de imagen, como el valor de intensidad de píxeles, el color, la textura, etc.

Las aplicaciones de la segmentación de imágenes entre las más comunes se tienen:

- Recuperación de imágenes basadas en contenido.
- Imágenes médicas.
- Detección de objetos y tareas de reconocimientos.
- Sistemas automáticos de control de tráfico y video vigilancia etc.

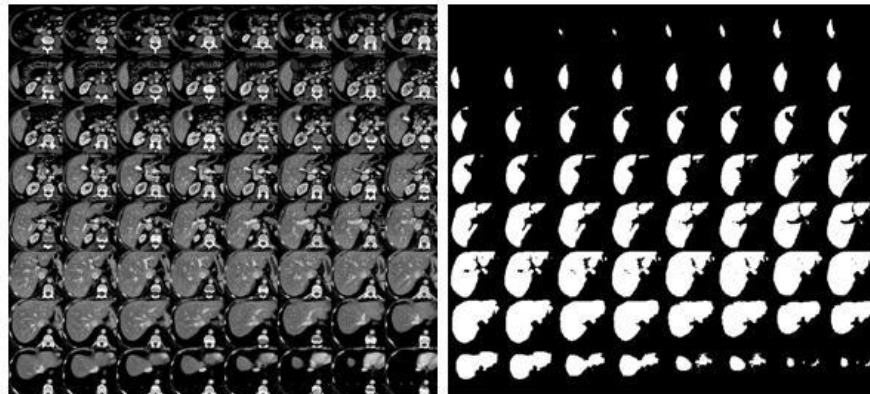


Figura 9. Segmentación de imágenes

Elaborado por: <https://visionartificialparatodos.wordpress.com/2011/01/19/segmentacion-o-como-separar-los-objetos-del-fondo/>

Los métodos de segmentación se pueden agrupar en cuatro clases diferentes:

- a) Métodos basados en píxeles, que a su vez pueden ser:
 - locales (basadas en las propiedades de los píxeles y su entorno)

- globales (basadas en la información global obtenida, por ejemplo, con el histograma de la imagen).
- b) Métodos basados en bordes.
- c) Métodos basados en regiones, que utilizan las nociones de homogeneidad y proximidad geométrica, como las técnicas de crecimiento, fusión o división.
- d) Métodos basados en modelos.

Python

Python es un lenguaje de programación poderoso y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos. Se usa en varias áreas de tecnología: web, redes, procesamiento de datos, inteligencia artificial, etc. y ha sido desarrollado teniendo en mente a los programadores principiantes pues es muy sencillo familiarizarse con la sintaxis del lenguaje. Entre las principales características del lenguaje se tiene:

- Propósito general
- Multiplataforma
- Interpretado
- Interactivo
- Orientado a Objetos
- Funciones y librerías
- Sintaxis clara

OpenCV

Es una librería de visión por computador de código abierto. la librería está escrita en los lenguajes C y C++ y es compatible con Linux, Windows y Mac OS X y cuenta con un desarrollo activo en interfaces para Python, Ruby, Matlab y otros lenguajes.

El proyecto pretende proporcionar un entorno de desarrollo fácil de utilizar y altamente eficiente. Esto se ha logrado realizando su programación en código C y C++ optimizados, aprovechando además las capacidades que proveen los procesadores multinúcleo. («OpenCV library», 2015)

Se compone en 4 módulos que se detallan a continuación:

- cv: contiene las Funciones principales de la biblioteca
- cvaux: contiene las Funciones Auxiliares (experimental)
- cxcore: contiene las Estructuras de Datos y Funciones de soporte para algebra lineal
- Highgui: funciones para manejo de la GUI. (Furfaro, 2010)

Máscara R-CNN

La máscara R-CNN actúa como un extractor de características y la capa de salida consta de las características extraídas de la imagen, las características extraídas se incorporan a un soporte de vectores para clasificar la presencia del objeto dentro de esa región propuesta. Además de predecir la presencia de un objeto dentro de la región propuesta, el algoritmo también predice cuatro valores que son valores de desplazamiento para aumentar la precisión del cuadro delimitador.

También conocida como redes convolucionales, las cuales son muy semejantes a las redes neuronales multicanal, su principal ventaja es que cada parte de la red se le entrena para realizar una tarea en específico, por lo cual se reduce significativamente el número de capas ocultas, debido a esto el entrenamiento es más rápido.

En la convolución se realizan operaciones de productos y sumas entre la capa de partida y los n “Kernel” que genera un mapa de características, las características extraídas corresponden a cada posible ubicación del Kernel o filtro en la imagen original («Red Neuronal Convolucional CNN», 2017). La ventaja del uso del Kernel es que sirve para extraer la misma característica en cualquier parte de la entrada, con esto que consigue reducir el número de conexiones y el

número de parámetros a entrenar en comparación con una red multicapa de conexión total, la representación de muestra en la Figura 10.

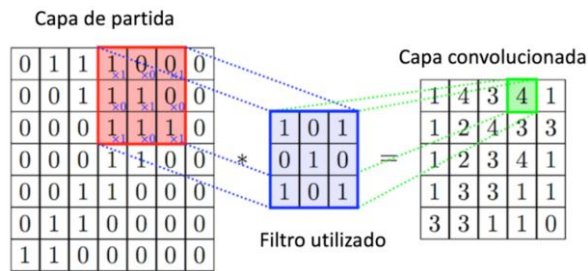


Figura 10. Convolución de una imagen

Elaborado por: <http://www.diegocalvo.es/red-neuronal-convolucional/>

Los pasos generales para la detección del objeto de estudio que utiliza la máscara R-CNN son los siguientes:

1. Se genera la sub-segmentación inicial, es decir se generan varias regiones candidatas.
2. Se utiliza un algoritmo para combinar recursivamente regiones similares en otras más grandes.
3. Se utiliza las regiones generadas para producir las propuestas de la región candidata final, a continuación, se muestra la descripción gráfica en la

Figura 11.



Figura 11. Arquitectura Máscara R-CNN

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

La metodología general de una red convolucional se muestra en la Figura 12, en la cual se explica cómo es el funcionamiento frente al procesamiento de imágenes.

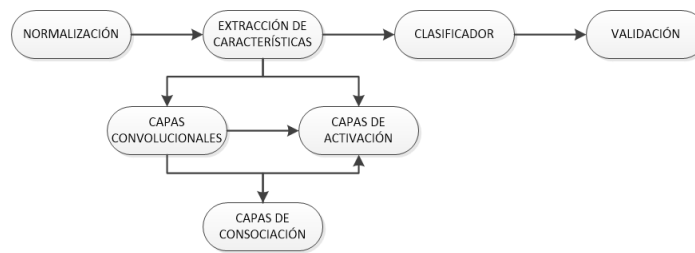


Figura 12. Metodología de una CNN

Elaborado por:

https://www.researchgate.net/publication/309455781_Comparacion_de_Arquitecturas_de_Redес_Neuronales_Convolucionales_para_la_Clasificacion_de_Imagenes_de_Ojos

La fórmula de la red convolucional se la muestra en la Ecuación 1, y demuestra que, en la fase de extracción de características, las neuronas sencillas de un perceptrón son reemplazadas por procesadores en matriz que realizan una operación sobre los datos de imagen 2D que pasan por ellas, en lugar de un único valor numérico. La salida de cada neurona convolucional se calcula como:

$$Y_j = g \left(b_j + \sum_i K_{ij} + Y_i \right) \quad (1)$$

Donde la salida Y_j de una neurona j es una matriz que se calcula por medio de la combinación lineal de las salidas Y_i de las neuronas en la capa anterior cada una de ellas operadas con el núcleo de convolucional K_{ij} correspondiente a esa conexión. Esta cantidad es sumada a una influencia b_j y luego se pasa por una función de activación $g(\cdot)$ no-lineal.

Red ResNet-101

Esta red trabaja juntamente con la Máscara RCNN la cual es una red neuronal convolucional que se entrena en más de un millón de imágenes de la base de datos ImageNet. La red tiene 101 capas de profundidad y puede clasificar imágenes en 1000 categorías de objetos, como resultado, la red aprende representaciones de

características para una amplia gama de imágenes, la arquitectura de esta Red se muestra en la Figura 13, en la cual se muestra que cuenta con 5 capas de convolución dentro de las cuales se detectan características dependiendo de cada capa, la capa más profunda detecta características específicas de acuerdo con la necesidad de la aplicación.

ResNet introduce una conexión de omisión (o conexión de acceso directo) para ajustar la entrada de la capa anterior a la siguiente capa sin ninguna modificación de la entrada. (Sik-Ho Tsang, 2018)

layer name	output size	18-layer	34-layer	50-layer	101-layer	152-layer
conv1	112×112	7×7, 64, stride 2				
		3×3 max pool, stride 2				
conv2_x	56×56	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 64 \\ 3 \times 3, 64 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 64 \\ 3 \times 3, 64 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$
conv3_x	28×28	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 128 \\ 3 \times 3, 128 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 128 \\ 3 \times 3, 128 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 8$
conv4_x	14×14	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 256 \\ 3 \times 3, 256 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 256 \\ 3 \times 3, 256 \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 23$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 36$
conv5_x	7×7	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 512 \\ 3 \times 3, 512 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 512 \\ 3 \times 3, 512 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$
	1×1	average pool, 1000-d fc, softmax				
FLOPs		1.8×10 ⁹	3.6×10 ⁹	3.8×10 ⁹	7.6×10 ⁹	11.3×10 ⁹

Figura 13. Arquitectura ResNet

Elaborado por: <https://medium.com/@14prakash/understanding-and-implementing-architectures-of-resnet-and-resnext-for-state-of-the-art-image-cf51669e1624>

Servidor Web

Se encarga de almacenar todos los archivos propios de una página web (texto, imagen, vídeo, etc.) y los muestra a clientes a través de los navegadores, para ello se utiliza el protocolo HTTP (Hipertext Transfer Protocol). El espacio que proporcionan estos servidores para alojar tu propio sitio web se denomina hosting. Al nivel más básico, siempre que un navegador necesite un archivo almacenado en un servidor web, el navegador lo solicita via HTTP. Cuando la petición llega al servidor web correcto (hardware), el servidor HTTP (software) envía el archivo antes solicitado, también a través de HTTP, se lo puede observar en la Figura 14.

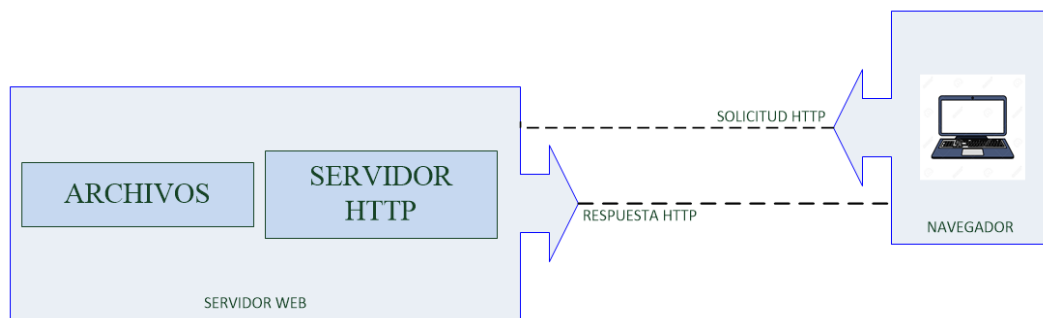


Figura 14. Funcionamiento Servidor Web

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Servidor Web Apache

Apache es un software de servidor web gratuito y de código abierto con el cual se ejecutan el 46% de los sitios web de todo el mundo. Su trabajo es establecer una conexión entre un servidor y los navegadores de los visitantes del sitio web (Firefox, Google Chrome, Safari, etc.) mientras envían archivos entre ellos (estructura cliente-servidor). Apache es un software multiplataforma, por lo cual funciona tanto en servidores Unix como en Windows.

Apache es altamente personalizable, ya que tiene una estructura basada en módulos. Los módulos permiten a los administradores del servidor activar y desactivar funcionalidades adicionales. Apache tiene módulos de seguridad, almacenamiento en caché, reescritura de URL, autenticación de contraseña y más. (Basantes, 2018)

PHP

PHP (Hypertext Preprocessor) es un lenguaje de código abierto muy utilizado especialmente para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML.

Lo que distingue a PHP del lado del cliente como Javascript es el código el cual es ejecutado en el servidor, generando HTML y enviándolo al cliente. El cliente recibirá el resultado de ejecutar el script, aunque no se sabrá el código subyacente que era. El servidor web puede ser configurado incluso para que

procese todos los ficheros HTML con PHP, por lo que no hay manera de que los usuarios puedan saber qué se tiene.

Características de PHP

- Es un lenguaje multiplataforma.
- Completamente orientado al desarrollo de aplicaciones web dinámicas con acceso a información almacenada en una Base de Datos.
- El código fuente escrito en PHP es invisible al navegador y al cliente ya que es el servidor el que se encarga de ejecutar el código y enviar su resultado HTML al navegador. Esto hace que la programación en PHP sea segura y confiable.
- Capacidad de conexión con la mayoría de los motores de base de datos que se utilizan en la actualidad, destaca su conectividad con MySQL y PostgreSQL.
- Es libre, por lo que se presenta como una alternativa de fácil acceso para todos.
- Permite aplicar técnicas de programación orientada a objetos. («PHP: Hypertext Preprocessor», 2015)

Base de Datos

Una base de datos es una colección de información organizada de forma que un programa de ordenador pueda seleccionar rápidamente los fragmentos de datos que necesite. Una base de datos es un sistema de archivos electrónico. Cada base de datos se compone de una o más tablas que guarda un conjunto de datos. Cada tabla tiene una o más filas y columnas. Las columnas guardan una parte de la información sobre cada elemento que se requiera guardar en la tabla, cada fila de la tabla conforma un registro.

Lenguaje SQL

El SQL es el lenguaje estándar ANSI/ISO de definición, manipulación y control de bases de datos relacionales. Es un lenguaje declarativo, es decir sólo hay que indicar qué se quiere hacer. En cambio, en los lenguajes procedimentales

es necesario especificar cómo hay que hacer cualquier acción sobre la base de datos. El SQL es un lenguaje muy parecido al lenguaje natural.

El lenguaje de definición de datos (en inglés Data Definition Language, o DDL), es el que se encarga de la modificación de la estructura de los objetos de la base de datos. Incluye órdenes para modificar, borrar o definir las tablas en las que se almacenan los datos de la base de datos. Existen cuatro operaciones básicas: CREATE, ALTER, DROP y TRUNCATE, se define en la Tabla 2.

Tabla 2. *Lenguaje DDL*

COMANDO	DESCRIPCIÓN
CREATE	Utilizado para crear nuevas tablas, campos e índices.
DROP	Empleado para eliminar tablas e índices.
ALTER	Utilizado para modificar las tablas agregando campos o cambiando la definición de los campos.
TRUNCATE	Sirve solo cuando se quiere eliminar absolutamente todos los registros.

Elaborado por: https://geotalleres.readthedocs.io/es/latest/conceptos-sql/conceptos_sql.html

MYSQL

Es un sistema de gestión de base de datos relacional o SGBD. Este gestor de base de datos es multihilo y multiusuario, lo que le permite ser utilizado por varias personas al mismo tiempo, e incluso, realizar varias consultas a la vez, lo que lo hace sumamente versátil.

MySQL es la base de datos de código abierto más utilizada con su rendimiento, confiabilidad y facilidad de uso comprobados, MySQL se ha convertido en la principal opción de base de datos para aplicaciones basadas en la Web, utilizada por propiedades web de alto perfil.

Algunas de las ventajas de MySQL son las siguientes:

- Multiplataforma: Linux, Windows, AIX, Solaris, etc.

- Múltiples motores de almacenamiento que se adaptan a las distintas necesidades de cada entorno: MyISAM, InnoDB, Memory, etc.
- Gran velocidad a la hora de realizar operaciones.
- Soporta un amplio número de tipos de datos.
- Tiene una gran comunidad de desarrolladores, y una extensa documentación.
- Uso de transacciones e integridad relacional (dependiendo del tipo de motor de almacenamiento).
- Buena capacidad de indexación y búsqueda y uso de fulltext, que la dotan de una serie de herramientas para hacer búsquedas complejas usando patrones.

2.3 Fundamentación Filosófica

Paradigma Crítico Propositivo

Este tipo de paradigma se basa en el estudio de la interpretación, comprensión y explicación de los fenómenos sociales desde la dinámica del cambio social, como manifestación de un proceso anterior que dio origen y es necesario conocer. Los criterios metodológicos se insertan en lo activo y/o participativo propiamente dicho, para promover la participación de la comunidad tanto en el estudio como en la planeación de acciones de ejecución, ya que se plantea alternativas de solución construidas en un clima de sinergia y proactividad.

2.4 Fundamentación Legal

El desarrollo de la presente investigación tiene como respaldo legal determinados artículos extraídos de reglamentos y leyes aprobadas por la Constitución de la República del Ecuador.

En cuanto a la parte médica del proyecto se puede mencionar:

Constitución del Ecuador. Art. 360.- El sistema garantizará, a través de las instituciones que lo conforman, la promoción de la salud, prevención y atención

integral, familiar y comunitaria, con base en la atención primaria de salud; articulará los diferentes niveles de atención; y promoverá la complementariedad con las medicinas ancestrales y alternativas. La red pública integral de salud será parte del sistema nacional de salud y estará conformada por el conjunto articulado de establecimientos estatales, de la seguridad social y con otros proveedores que pertenecen al Estado, con vínculos jurídicos, operativos y de complementariedad.

Ley Orgánica del Sistema Nacional de Salud. Art. 32.-La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir. El Estado garantizará este derecho mediante políticas económicas, sociales, culturales, educativas y ambientales; y el acceso permanente, oportuno y sin exclusión a programas, acciones y servicios de promoción y atención integral de salud, salud sexual y salud reproductiva. La prestación de los servicios de salud se regirá por los principios de equidad, universalidad, solidaridad, interculturalidad, calidad, eficiencia, eficacia, precaución y bioética, con enfoque de género y generacional.

En cuanto a la generación del sistema en base a software libre se puede considerar:

Decreto 1014 Uso de Software Libre. Artículo 1.- Establecer como política pública para las Entidades de la Administración Pública Central la utilización de Software Libre en sus sistemas y equipamientos informáticos.

Decreto 1014 Uso de Software Libre. Artículo 2.- Se entiende por Software Libre, a los programas de computación que se pueden utilizar y distribuir sin restricción alguna, que permitan su acceso a los códigos fuentes y que sus aplicaciones puedan ser mejoradas.

Estos programas de computación tienen las siguientes libertades:

a) Utilización del programa con cualquier propósito de uso común

- b) Distribución de copias sin restricción
- c) Estudio y modificación del programa (Requisito: código fuente disponible)
- d) Publicación del programa mejorado (Requisito: código fuente disponible).

Ley COESC (Ingenios) Código Orgánico de la Economía Social del Conocimiento. Art. 39.- Investigación Responsable. - Comprende los procesos investigativos encaminados a obtener resultados orientados al incremento de la productividad, la diversificación productiva, la satisfacción de necesidades o al efectivo ejercicio de los derechos de las personas, las comunidades, los pueblos, las nacionalidades y de la naturaleza.

Constitución de la República. Art. 322. Se reconoce la propiedad intelectual de acuerdo con las condiciones que señale la ley. Se prohíbe toda forma de apropiación de conocimientos colectivos, en el ámbito de las ciencias, tecnologías y saberes ancestrales. Se prohíbe también la apropiación sobre los recursos genéticos que contienen la diversidad biológica y la agrobiodiversidad.

Constitución de la República. Art. 385. El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad.

Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.

2. Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir

2.5 Red de categorías fundamentales

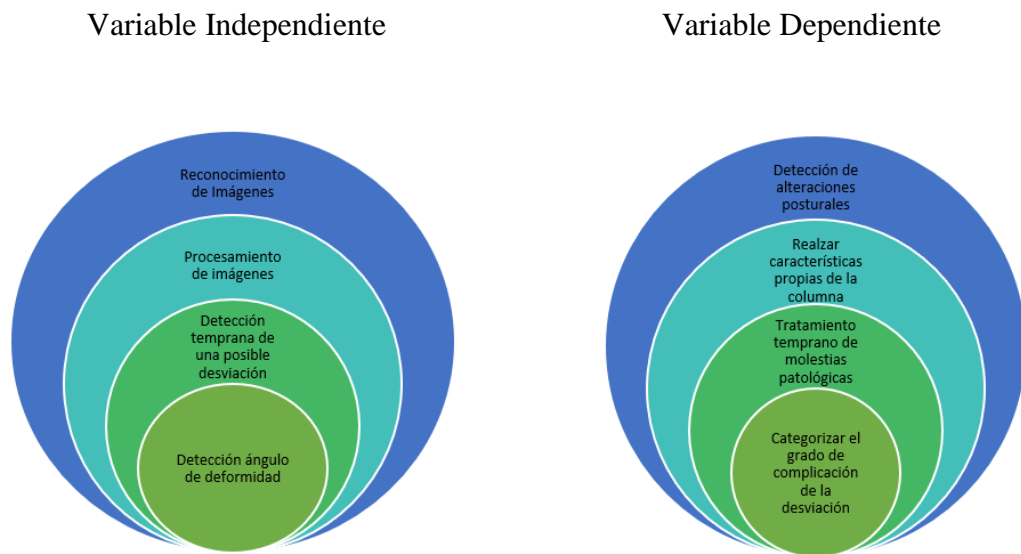


Figura 15. Categorías Fundamentales del Problema

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

En la Figura 15 se muestran las variables dependiente e independiente determinadas en el proyecto, las cuales se relacionan de la siguiente manera:

Se considera como variable independiente al procesamiento de imágenes en este caso radiografías que son los exámenes médicos realizados, dando como variable dependiente la detección temprana una alteración postural del paciente.

Se considera como otra variable independiente al procesamiento de imágenes que es importante en este tipo de desarrollo por lo que su variable dependiente es el realce de características propias de la columna vertebral para la detección.

La variable independiente es la detección temprana de una posible desviación presentada en la columna el paciente, por lo cual su variable dependiente es el tratamiento temprano de las molestias patológicas de esta enfermedad. Para evitar que sea progresiva su degeneración.

Finalmente se tiene como variable independiente la detección automática del ángulo de deformidad encontrada en el análisis de la radiografía proporcionada, su variable dependiente es la categorización según el grado de desviación que posea para remitir el tratamiento correcto según el médico tratante.

Constelación de ideas de la variable independiente

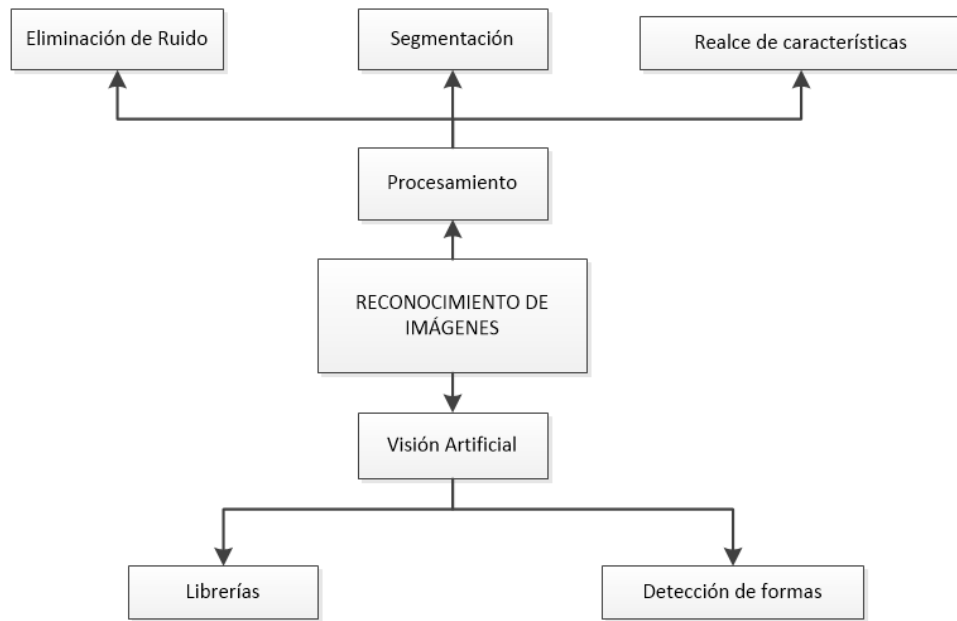


Figura 16. Constelación de ideas – variable independiente

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

En la Figura 16 se detallan las ideas asociadas a la variable independiente, definiendo como principales procesamiento y visión artificial. El procesamiento tiene como ramificaciones la eliminación del ruido de las radiografías obtenidas, la segmentación de la columna vertebral por cada vértebra y el realce de las características necesarias para la detección de la posible desviación mediante el código de programación realizado.

Constelación de ideas de la variable dependiente

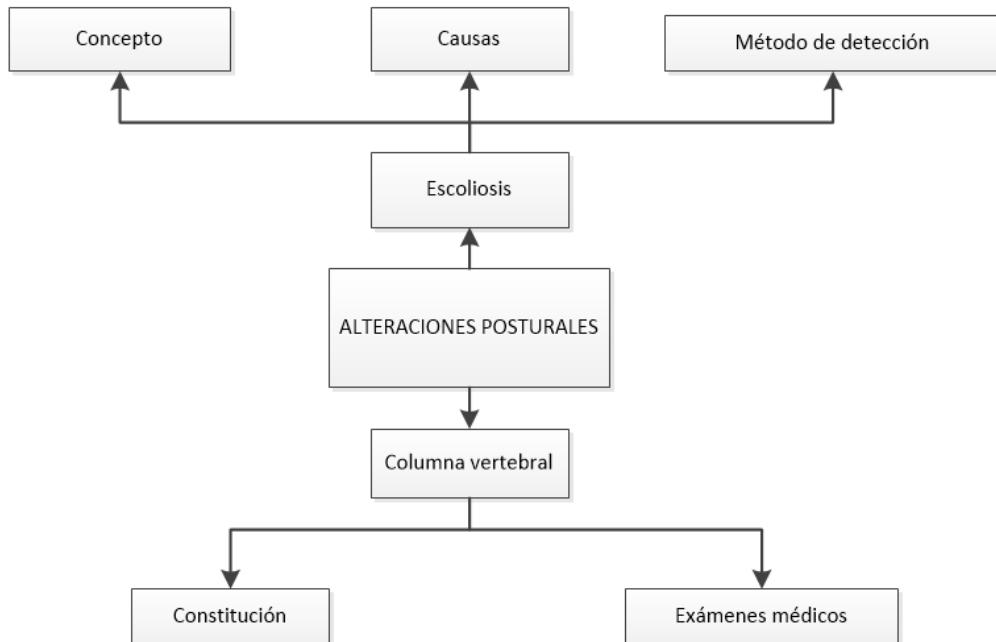


Figura 17. Constelación de ideas – variable dependiente

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

En la Figura 17 se muestran las ideas asociadas a la variable dependiente como se tiene la columna vertebral que es el objeto de estudio, como está constituida y qué exámenes médicos se realiza para los problemas presenten en esta. Para la escoliosis como punto principal para el análisis se definen conceptos para entender el principio de la enfermedad, las causas que la provocan y el método de detección del grado de desviación que esta presenta a más de la clasificación según sea la gravedad.

2.6 Hipótesis

El desarrollo de un sistema para procesamiento de imágenes médicas incide en la detección temprana de alteraciones posturales.

2.7 Señalamiento de variables de la hipótesis

2.7.1 Variable independiente

Desarrollo de un sistema para procesamiento de imágenes médicas.

2.7.2 Variable dependiente

Detección temprana de alteraciones posturales.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Enfoque

En el presente trabajo se utilizará un enfoque cualitativo, debido al uso de datos proporcionados por centros de imagenología particulares y el aporte y aval del médico especialista durante las pruebas posteriores del mismo para comparar la eficiencia y utilidad frente al estudio realizado, gracias a esto se logrará dar respuesta a las preguntas de investigación y evidenciar la hipótesis planteada en base a resultados obtenidos.

3.2 Modalidad de la investigación

3.2.1 Aplicada:

Para el estudio del problema planteado se recolectará información de pacientes con enfermedades de la columna vertebral (escoliosis); el especialista utilizará el sistema de reconocimiento de imágenes después de haberse realizado una radiografía a los pacientes, lo cual mostrará el ángulo de desviación y la clasificación de la escoliosis, lo cual es el elemento de estudio del presente proyecto.

3.2.2 Bibliográfica:

Para el desarrollo del trabajo se utilizará bibliografía de publicaciones en revistas, artículos científicos sobre temas relacionados y que aporten de manera directa a la investigación, a más de libros y manuales de acuerdo al software a utilizar y técnicas modernas de análisis de imágenes, procesamiento, segmentación, etc., ya que al no ser un tema unificado de estudios anteriores se debe relacionar e indagar sobre la información requerida para poder culminar con el proyecto, al ser publicaciones comprobadas se asegura la calidad de la información utilizada.

3.2.3. De Campo:

La investigación será de campo por el mismo hecho de manipular la variable no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo incide la investigación en la población a ser estudiada, a más de tener contacto directo con el paciente y buscar los datos en el centro de imagenología donde realizarán los análisis.

3.3. Nivel o tipo de investigación

El tipo de investigación que se va a utilizar en la presente investigación es el descriptivo debido al estudio de patologías de pacientes, por lo que su meta no se limita a la recolección de datos, sino más bien realiza predicción e identificación de las relaciones que existen entre las variables del problema.

Se recogen los datos sobre la base de la hipótesis planteada, se exponen y se realiza un resumen con la información obtenida de manera cuidadosa para analizar minuciosamente los resultados a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al estudio.

Otro tipo de investigación a utilizar es la causal-experimental, puesto que por medio de ésta se puede aproximar a los resultados de una investigación experimental, ya que al realizar pruebas con el sistema desarrollado se efectuarán experimentaciones con la manipulación de la variable de estudio. La investigación tiene como principal prioridad obtener evidencia de la relación causa y efecto del presente fenómeno.

3.4 Población y muestra

Para el presente trabajo de investigación se toma como población a 30 casos de pacientes que presentan escoliosis, se trabaja con sus radiografías de columna vertebral, están considerados hombres y mujeres, estas han sido proporcionadas por centros de imagenología particular del año 2018, es importante debido a la variabilidad de casos existentes de personas que presentan esta patología.

Se trabajará con toda la población al ser un grupo limitada (30 personas). A continuación, se muestra en la Tabla 3 las características de las personas con las cuales se va a trabajar.

Tabla 3. *Población de estudio*

Género	Patología	Condición
Masculino y Femenino	Pacientes que presenten patologías de escoliosis	Radiografías con visibilidad de columna vertebral completa

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

3.5. Operacionalización de variables.

3.5.1. Variable Independiente: Sistema para procesamiento de imágenes médicas.

Tabla 4. Operacionalización de la variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Las imágenes se obtienen a partir de los procesos de segmentación, extracción de características y descripción dónde cada objeto queda representado por una colección de descriptores.	Imágenes	Modelo inicial.	¿Con qué imágenes se va a trabajar?	Fuentes de información
		División de partes fundamentales.	¿Bajo qué criterios se va a analizar la escoliosis?	
	Segmentación	Identificación de vértebras para análisis de desviación.	¿Cómo se determinará la desviación de columna?	Software Libre.

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

3.5.2. Variable Dependiente: Detección temprana de alteraciones posturales.

Tabla 5. Operacionalización de la Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Patologías anatómico-funcionales en la columna vertebral de origen mecánico o congénito.	Patología	Patología de Escoliosis	¿Qué características presenta la patología?	Fuentes bibliográficas
	Mecánico		Niveles de avance según la patología lumbar	Entrevista con un experto
	Congénito			Publicaciones médicas referentes a patologías lumbares

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

3.6. Recolección de información

Para la recolección de información se utilizarán imágenes de Rayos X proporcionadas por centros particulares de imagenología, en este caso las radiografías fueron proporcionadas por Wen Zhou Medical College Aff N°2 Hospital de China, fuentes bibliográficas, entrevistas con expertos sobre escoliosis, para constatar el resultado del sistema una vez que ya se encuentre en funcionamiento.

3.7. Procesamiento y análisis de la información

Una vez recolectada la información y siendo procesada con el sistema de apoyo, se obtendrá el posible diagnóstico de la escoliosis presente en la columna vertebral del paciente. Una vez realizado este análisis se procederá a consultar con un experto para que avale el desarrollo del sistema y proceda a verificar el diagnóstico final del paciente.

Para la comprobación de la hipótesis con una población de 30 pacientes se verificará y comparará el resultado obtenido por el sistema vs el criterio médico para constatar la veracidad del sistema realizado y su precisión en la detección de la posible escoliosis, esto sirve para determinar si se acepta o rechaza la hipótesis planteada, es decir el ángulo de Cobb medido en cada uno de los casos presentados.

CAPÍTULO IV

MARCO ADMINISTRATIVO

4.1 Recursos

4.1.1 Institucionales

- Centros de Imagenología Particulares
- Universidad Técnica de Ambato
- Bibliotecas

4.1.2 Humanos

- Investigador
- Tutor
- Médico especialista
- Pacientes

4.1.3 Materiales

- Computador portátil
- Memoria USB
- Resma de papel
- Perfiles
- Esferos y lápices
- Radiografías

4.1.4 Económicos (Presupuesto)

En la Tabla 6 se detallan los recursos, materiales necesarios y gastos proyectados para la realización del presente proyecto de investigación:

Tabla 6. *Presupuesto proyectado para el proyecto.*

PRESUPUESTO PARA PROYECTO				
RECURSO HUMANO				
DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Desarrollo de la investigación	Horas/Hombre	360	4,00	1440,00
Desarrollo del sistema	Horas/Hombre	600	4,00	2400,00
Doctores especialistas	Horas/Hombre	50	15,00	825,00
RECURSO MATERIAL				
Computador portátil	Unidad	1	1000,00	1000,00
Impresora	Unidad	1	120,00	120,00
Materiales de oficina	Unidad	1	50,00	50,00
OTROS				
Transporte	Pasajes	1	120,00	120,00
Internet	Unidad	1	140,00	140,00
Imprevistos	Unidad	1	100,00	100,00
Total				6195,00

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1. Objetivos

5.1.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de sistema de reconocimiento de imágenes para detección temprana de alteraciones posturales.

5.1.2. Objetivos específicos.

- Realizar procesamiento de imágenes utilizando software libre.
- Desarrollar un algoritmo para detectar el grado de escoliosis que posee la columna vertebral utilizando radiografías.
- Evaluar el sistema desarrollado a través de un diagnóstico médico.

5.2. Análisis de Factibilidad

5.2.1. Factibilidad Técnica

Al analizar la factibilidad técnica en el presente proyecto se concluye con su viabilidad, esto se debe al desarrollo del proyecto en software libre lo que permite su facilidad de trabajo y aplicación, otra de las razones que aportan a la factibilidad técnica es la adquisición de radiografías de la columna vertebral obtenidas gracias a expertos en el ámbito (centros de imagenología).

El lenguaje de programación que se usa en este desarrollo es “Python”, al ser un lenguaje de programación libre, orientado a objetos y con disposición de funciones y librerías que aportan a la investigación y a la aplicación realizada hace que sea factible para su uso. Para el desarrollo del proyecto se ha comparado

plataformas informáticas de acuerdo con el objeto de estudio en este caso procesamiento de imágenes médicas y se ha decidido por Python, a continuación, en la Tabla 7 se presenta las características que este presenta para su elección.

Tabla 7. *Diferencias entre Python, Matlab y Java*

CARACTERÍSTICAS	PYTHON	MATLAB	JAVA
Software libre	X	-	X
Facilidad de programación	X	-	X
Librerías de visión artificial	X	X	-
Portabilidad	X	-	X
Velocidad	X	X	-

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5.2.2. Factibilidad Económica

El presente proyecto es económicamente factible, los costos inmersos dentro del mismo son asumidos por el investigador en cuanto se refiere a consultas médicas a expertos. Al utilizar software libre en el desarrollo del proyecto de titulación hace que la factibilidad sea positiva ya que el sistema podrá ser utilizado en cualquier ordenador sin tener que pagar por licencias.

5.2.3. Factibilidad Bibliográfica

El proyecto bibliográficamente es factible de llevar a cabo ya que se cuenta con información, cabe recalcar que no existe la suficiente información sobre el tema a investigar, por lo que se ha tomado en referencia artículos científicos, entrevistas a expertos, revistas médicas e información e internet.

5.3. Requerimientos del Sistema

El desarrollo del sistema planteado requiere contar con placas Rx de columna vertebral completas, es decir aproximadamente donde inician las vértebras y

donde éstas terminan, esto favorece a un diagnóstico más aproximado al poder contar con todas las vértebras visibles. Las características que el sistema de cumplir favorece a la detección de la desviación de columna específicamente la escoliosis y el grado de deformidad que la columna posee, así mismo clasificarla por su gravedad según el método de Cobb.

A continuación, se describen las etapas que conforman el desarrollo del tema de investigación, se muestra en la Figura 18.

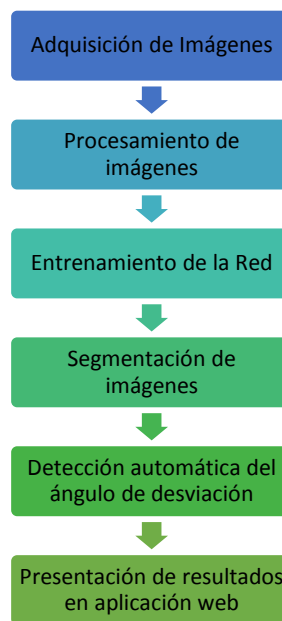


Figura 18. Esquema de etapas del proyecto

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5.4. Lenguaje de Programación Python

El lenguaje de programación utilizado en el desarrollo del presente proyecto como ya se explicó con anterioridad es Python, en este caso la versión 2.7.15, el cual al ser un lenguaje de fácil programación y contar con funciones y librerías para la aplicación descrita se vuelve una herramienta que facilita la etapa de procesamiento y segmentación de las imágenes médicas en este caso las radiografías de columna vertebral. Al utilizar python juntamente con las librerías

de visión artificial de Opencv se convierte en un instrumento con el cual se logrará cumplir los objetivos planteados en el desarrollo, es importante mencionar las diferentes aplicaciones que se pueden realizar al contar con este entorno debido a la gratuidad de este y la portabilidad en diferentes ordenadores o plataformas.

A continuación, se describen las librerías utilizadas en python para el desarrollo del proyecto:

- **Numpy:** se encarga de añadir toda la capacidad matemática y vectorial a Python facilitando la operación con cualquier dato numérico o array, incorpora operaciones básicas como la suma o la multiplicación u otras mucho más complejas como la transformada de Fourier o el álgebra lineal. Además, incorpora herramientas que permite adicionar código fuente de otros lenguajes de programación como C/C++ o Fortran por lo que incrementa notablemente su compatibilidad e implementación.
- **Os:** permite interactuar con el sistema operativo subyacente en el que se ejecuta python.
- **Sys:** provee acceso a funciones y objetos mantenidos por el intérprete.
- **Itertools:** se basa en el lenguaje de programación “lazy functional” para expresar algoritmos basados en iteraciones más complejas y se utilice memoria de manera eficiente.
- **Random:** permite acceso a funciones que admiten ciertas operaciones y genera números aleatorios.
- **Math:** proporciona acceso a las funciones matemáticas definidas en C.
- **Re:** proporciona operaciones de coincidencia.
- **Time:** provee de funciones para trabajar con tiempo y convertir entre representaciones.
- **Tensorflow:** utilizado para aprendizaje automático, es decir se entrenan redes neuronales mediante tareas para detectar y descifrar patrones.

- **Matplotlib:** permite generar gráficas a partir de datos obtenidos en listas o en arrays.
- **Skimage:** contiene algoritmos para el procesamiento de las imágenes, entre los cuales se tiene segmentación, filtrado, características, etc.

Dentro del entorno de Python se descargará Opencv con su versión 4.0.0.

5.5 Aplicación Web

Para el desarrollo de la aplicación Web es necesario contar con los siguientes paquetes informáticos, los cuales fueron instalados para el trabajo, cabe mencionar que es software libre:

- Wampserver 3.1.7 el cual contiene a su vez Apache versión 2.4.37, PHP con versión 7.3.1 y MySQL 5.7.24.
- MySQL Workbench el cual se encarga de administrar la base de datos en la interfaz.
- Visual Studio Code 1.31.1 el cual es el IDE de programación para el proyecto.
- Node.js 10.15.1 es el entorno el cual permite el uso de librerías para javascript para el desarrollo de la interfaz web.

Estos entornos son los cuales van a permitir el desarrollo de la interfaz web en la cual se mostrarán los resultados obtenidos del procesamiento de las imágenes y el ángulo de desviación de la columna vertebral del paciente.

5.6. Diseño del Sistema

Para el desarrollo del proyecto planteado en la detección temprana de alteraciones posturales específicamente en escoliosis se presentan las fases que comprenden este desarrollo como se detalló en la Figura 17, y a continuación se describen las etapas que lo conforman con su respectiva descripción:

Primera Fase: Adquisición de Imágenes Rx

Esta primera fase es la parte fundamental para el desarrollo del sistema ya que al conseguir las radiografías completas de la columna vertebral de pacientes que presenten escoliosis se verifica la calidad de la imagen ya que depende mucho como se presente si es visible las vértebras de la columna o por la calidad no se logre identificarlas.

Las radiografías con las cuales se trabaja fueron cortesía de Wen Zhou Medical College Aff N°2 Hospital de China que tienen por formato propio DICOM y para poder utilizarlas son guardadas en formato .PNG en el ordenador en el cual se va a trabajar. Las imágenes guardadas serán importadas a Python para la siguiente etapa.

Segunda Fase: Procesamiento de Imágenes

Esta etapa trabaja directamente sobre las imágenes de RX ingresadas, en este caso con formato PNG. Inicialmente se determinan los parámetros para proceder al entrenamiento de la red, para lo cual se delimita el área de la columna en la radiografía, es decir los resultados se obtienen en un archivo .json de los puntos o posiciones (x,y) dónde se encuentra el objeto.

Con el uso del módulo “skimage.measure import find_contours”, el cual es un módulo o librería propia de python se procede a detectar los contornos de la columna vertebral, es decir los contornos del Roi de la imagen con el cual se va a trabajar.

Tercera Fase: Entrenamiento de la Red

Se hace uso del modelo de la Máscara R-CNN (Red Convolutiva), la cual cumple con los requisitos para el presente proyecto ya que es importante obtener la región de interés de la columna vertebral, esta posee 3 capas las cuales son la capa de convolución (en esta capa trabaja ResNet), la capa de reducción y la capa

clasificadora. A continuación, se muestra la selección de la Red Neuronal Convolutiva en la Tabla 8 al ser comparada con diferentes redes, por lo cual se concluye en la utilización de esta ya que cumple con los requisitos para el proyecto que es el procesamiento de imágenes de alta calidad y datos de la misma.

Tabla 8. Comparación de Redes Neuronales

	Red Neuronal Convolutiva	Red Neuronal Profunda	Red Neuronal Recurrente
Trabaja con imágenes	X	X	-
Codificación de propiedades	X	-	-
Escalamiento de imágenes	X	-	-
Imágenes con alta resolución	X	-	-
Multicapa	X	X	X

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Se muestra los pasos anteriores al entrenamiento juntamente con la Máscara Rcn y ResNet. ResNet trabaja con 5 capas de convolución para detectar las características del objeto encontrado según los tamaños definidos en la arquitectura que esta posee. Para trabajar con esta Máscara Rcn es importante la importación de ciertos parámetros dentro de ella como se muestra en la Figura 19.

```

42 # Importar Mask RCNN
43 sys.path.append(ROOT_DIR) # Para encontrar la versión local de la librería
44 from mrcnn.config import Config
45 from mrcnn import model as modellib, utils

```

Figura 19. Importación de parámetros Rcn

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Se procede a configurar los parámetros según la necesidad del proyecto, en este caso el nombre de la configuración, el ajuste del CPU (depende de la capacidad del ordenador) en este caso para 2 imágenes, el número de clases, el número de pasos de entrenamiento por epoch y finalmente el grado de confianza, para este caso de 0.9, estas configuraciones se las observa en la Figura 20.

```
59 class RayosConfig(Config):
60     """Configuration for training on the toy dataset.
61     Derives from the base Config class and overrides some values.
62     """
63     # Dar a la configuracion un nombre
64     NAME = "columna"
65
66     # Ajuste del CPU, en este caso con 12GB de memoria, para 2 imágenes.
67
68     IMAGES_PER_GPU = 2
69
70     # Numero de clases (incluido background)
71     NUM_CLASSES = 1 + 1 # Background + columna
72
73     # Numero de pasos de entrenamiento por epoch
74     STEPS_PER_EPOCH = 100
75
76     # Omitir detecciones con < 90% confianza
77     DETECTION_MIN_CONFIDENCE = 0.9
```

Figura 20. Configuración de entrenamiento hardware

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Para el entrenamiento y validación del modelo se procede a ejecutar las líneas de código descritas en la Figura 21, en las cuales se relacionan con la librería del modelo de la máscara Rcn.

```
181 def train(model):
182     """Entrenamiento del modelo"""
183     # Entrenamiento de datos.
184     dataset_train = RayosDataset()
185     dataset_train.load_rayo_x(args.dataset, "train")
186     dataset_train.prepare()
187
188     # Validacion de datos
189     dataset_val = RayosDataset()
190     dataset_val.load_rayo_x(args.dataset, "val")
191     dataset_val.prepare()
```

Figura 21. Entrenamiento de modelo

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Se procede al entrenamiento de esta de acuerdo con las características de la columna vertebral de pacientes que presenten desviaciones lumbares, para lo cual se procede de la siguiente manera:

- Disponer del archivo descargado con los puntos que contengan las máscaras de la sección de interés.
- Con la siguiente instrucción se entrena al modelo con los puntos antes mencionados, se muestra en la Figura 22.

```
Ale@lp-PC MINGW64 /c/wamp64/www/scoliosisocv (master)
$ python3 rayos.py train--dataset=www/scoliosisocv/appPython/Mask_RCNN/datasets/rayos --height=coco
```

Figura 22. Entrenamiento con python

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Una vez ingresado el comando para entrenamiento del sistema se procede a utilizar el modelo de la Máscara Rcnm como se muestra en la Figura 23.

```
364     # Train or evaluate
365     if args.command == "train":
366         train(model)
367     elif args.command == "splash":
368         detect_and_color_splash(model, image_path=args.image,
369                                 video_path=args.video)
370     else:
371         print("{} is not recognized. "
372               "Use 'train' or 'splash'".format(args.command))
373
```

Figura 23. Ejecución del entrenamiento

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Finalmente se procede a verificar si el entrenamiento es correcto y las máscaras se generan, en este caso se observa en la Figura 24 la máscara generada de la radiografía en cuestión.

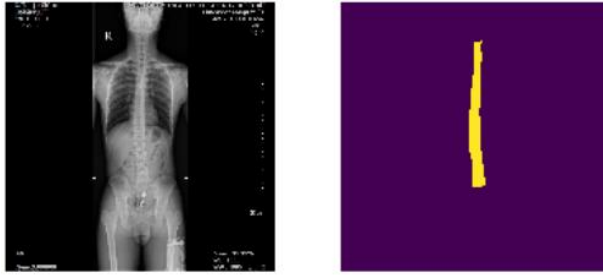


Figura 24. Generación de la máscara

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Cuarta Fase: Segmentación de Imágenes

En esta etapa se procede a la detección de la deformidad de la columna del paciente siguiendo los siguientes pasos como se muestra en la Figura 25, y se describen a continuación:



Figura 25. Diagrama de Segmentación

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

1. Con la aplicación de la RPN (Region Proposal Network), la cual es una red neuronal ligera que es propia del modelo de red Convolutacional, se procede a escanear la imagen detectando las regiones en las cuales se detecten objetos, las regiones de llaman “Anchors”, los cuales son cuadrados distribuidos a lo largo de toda la imagen de diversos tamaños, se muestra en la Figura 26.

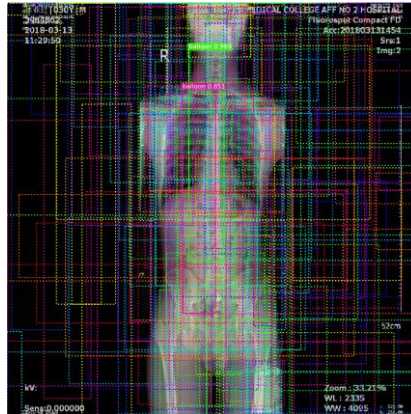


Figura 26. Detección de Anchors

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

2. Se presentan dos clases la de primer plano y la de fondo, la de primer plano detectar que es posible que exista un objeto dentro del cuadrado, se muestra en la Figura 27.

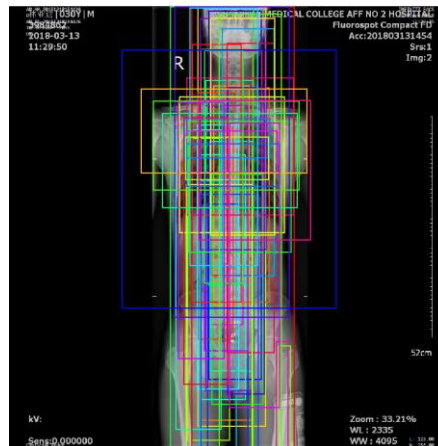


Figura 27. Anchors plano frontal y posterior

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

3. Si el cuadrado en el cual “se encuentra el objeto” no está totalmente centrado la red procede a refinar el cuadro (x e y), gracias a la predicción de la Red se procede a tomar el recuadro que se aproxime más al primer plano y los demás se descartarán. Al final se obtendrá la región de interés sobre la cual se va a trabajar, se muestra en la Figura 28.

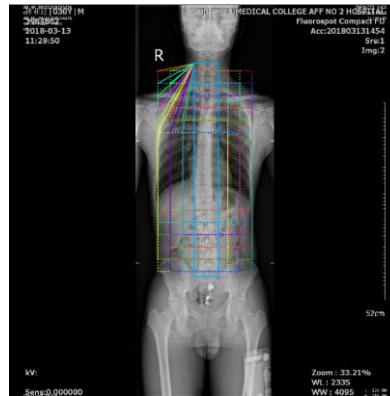


Figura 28. Reajuste de anchors para la detección de la CV

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

4. Los cuadros obtenidos en referencia al Roi de la imagen se presentan de diferentes tamaños para lo cual se aplica una interpolación bilineal, para lo que se redefine el tamaño del roi, esto de lo realiza con la librería Tensorflow, y con la Red Convolutiva antes mencionada, se muestra en la Figura 29.

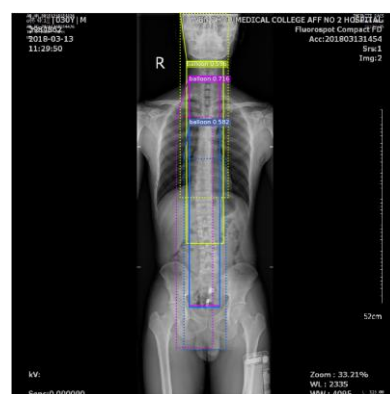


Figura 29. Detección de Roi en diferentes secciones

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5. La red Convolutacional toma las regiones positivas seleccionadas por el Roi y genera la nueva máscara del roi encontrado, estas máscaras son binarias, se muestra en la Figura 30.

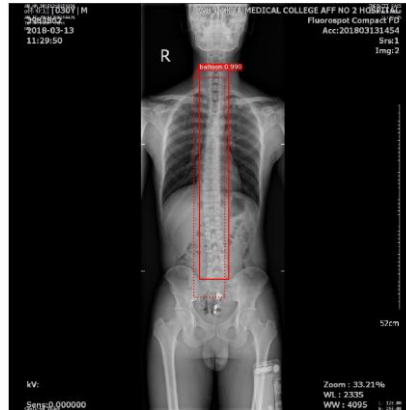


Figura 30. Roi detectado de la columna vertebral

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

6. Finalmente se procede a cambiar de color cada pixel que compone la máscara detectada en el Roi de la imagen, cabe mencionar que la máscara detectada se muestra de acuerdo con el entrenamiento previo de la red, se muestra en la Figura 31.

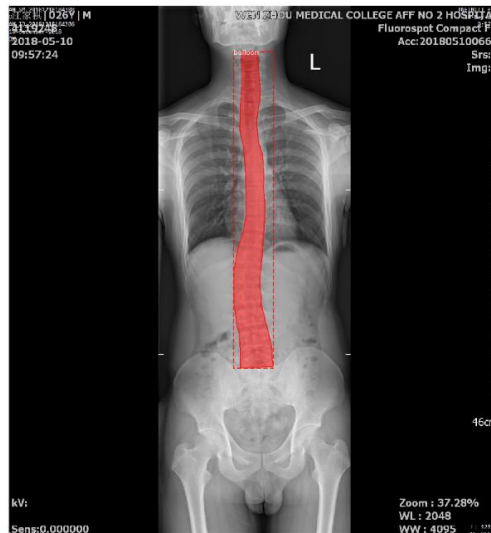


Figura 31. Detección de columna vertebral según máscara

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Quinta Fase: Detección Automática del Ángulo de Desviación

Esta etapa se presentan los resultados que pueden ser tanto para el paciente como para el médico, los mismos que facilitan un diagnóstico previo para el profesional de la salud tratante y la ventaja de direccionar al paciente lo antes posible para que reciba un tratamiento adecuado.

Para esta etapa se parte de la detección de la columna vertebral en la cual se va a realizar el cálculo del ángulo de desviación, para lo cual el primer paso es determinar la mitad de la máscara detectada como se muestra en la Figura 32.

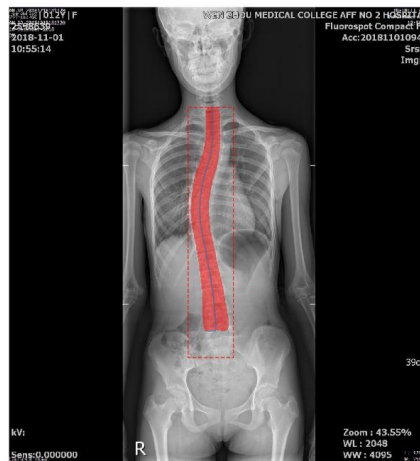


Figura 32. Detección parte media de la CV

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

El segundo paso la detección del ángulo de desviación es realizar un ajuste polinomial de grado 8, el cual se optó por trabajar con este ya que al utilizar grados inferiores no logró ajustar el resultado necesitado, a más de ellos se realiza el cálculo mediante pendientes del punto dónde inicia y finaliza la desviación, obteniendo el valor de acuerdo con la desviación de columna presente en el paciente, se muestra en la Figura 33.

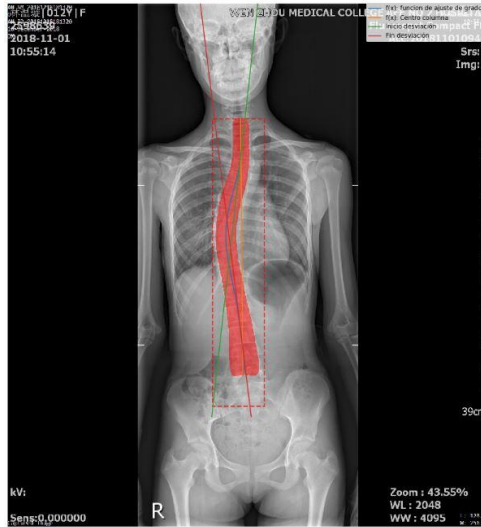


Figura 33. Detección de ángulo de desviación

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Sexta Fase: Desarrollo de la Aplicación Web

Es importante la creación de una interfaz amigable con el cliente en la cual se muestre los campos necesarios para el uso de este sistema, en este caso se desarrolla una aplicación web, en la Figura 34 se puede visualizar la estructura que presenta. A continuación, se detallan los pasos para el desarrollo de esta.

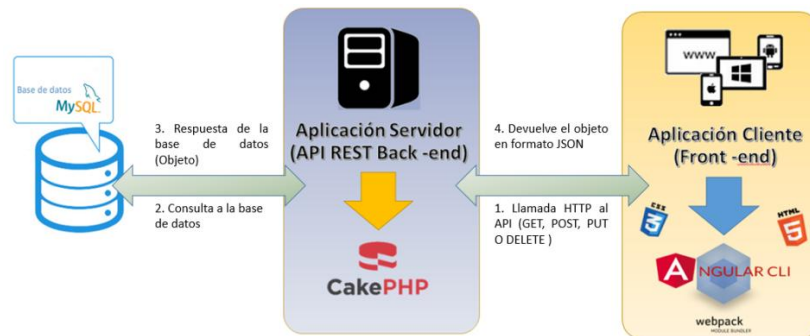


Figura 34. Estructura de la Aplicación Administrativa

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

1. Análisis del proceso y creación de la base de datos, en este paso se analiza el requerimiento del sistema y se definen los grupos y los campos que cada uno de los grupos va a tener, para ello se utiliza el software Power Designer versión 16.5, en el cual se facilita el desarrollo de la base de datos tanto en físico, lógico y conceptual. A continuación, en la Figura 35, se muestra el esquema físico de la base de datos para este proyecto.

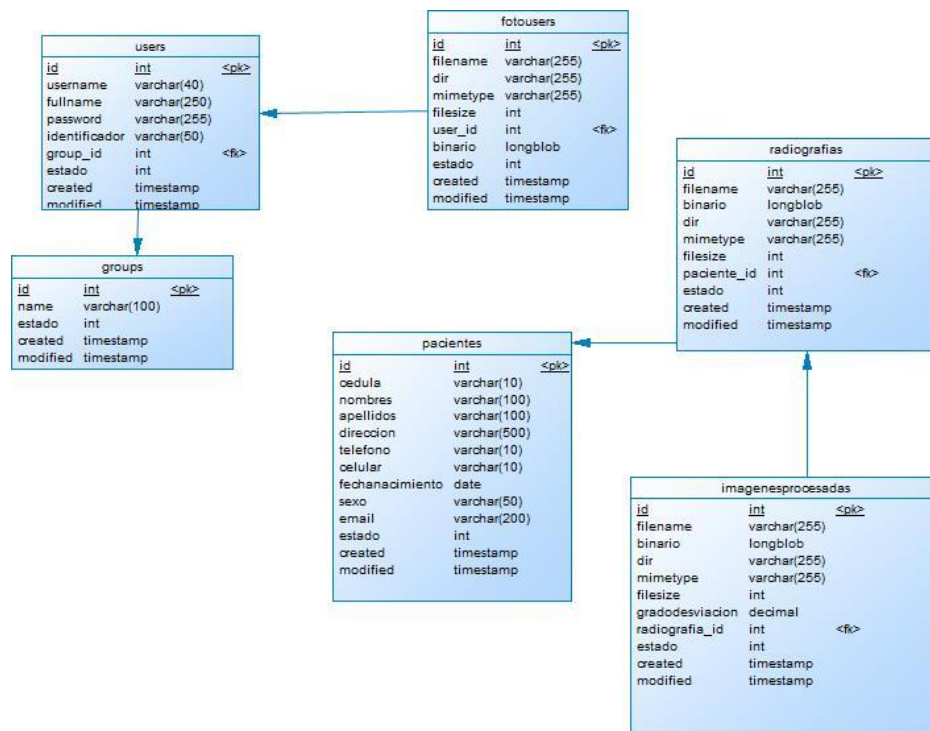


Figura 35. Esquema Físico de la base de datos

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

2. Desarrollo de la aplicación administrativa, una vez estructurada la base de datos del esquema físico se procede a generar la propia base de datos (script) en formato .sql, como se muestra en la Figura 36.

```

37  /*=====*/
38  /* Table: groups */
39  /*=====*/
40  • create table groups
41  (
42     id                int not null auto_increment,
43     name              varchar(100),
44     estado            int,
45     created           timestamp,
46     modified          timestamp,
47     primary key (id)
48  );
49

```

Figura 36. Base de datos .sql

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

3. Instalación de software para el desarrollo de la aplicación del servidor, a continuación, se detallan los pasos a seguir:

- Se procede a instalar el framework en el cual se va a trabajar para el desarrollo de la aplicación web, para ello se instala “Cake PHP” versión 3.7, el cual se lo utilizará por su rapidez para PHP a más de ser libre y de código abierto.
- Se instala MySQL Workbench descrito con anterioridad el cual facilita la programación de la base de datos.

4. Una vez instalado MySQL Workbench se procede a cargar la base de datos definida con anterioridad en el paso 1 mencionado con anterioridad.

5. Generar la estructura de Back End la cual contiene la conexión a la base de datos, esto se genera al instalar el framework como app.php.

6. Se procede a modificar el archivo app.php en el cual se ingresan los campos de usuario, contraseña y el nombre de la base de datos con la cual se está trabajando.

Es importante modificar dentro del controlador y el modelo cada tabla generada en la base de datos, dentro de las cuales se ingresan los campos, los cuales devuelven servicios web:

- Visualizar

- Agregar
 - Editar
 - Eliminar
7. Realizar las validaciones de cada tabla de la base de datos, es decir definir el tipo de variable, la longitud de esta.
 8. Generar la aplicación del Cliente o Front End la cual trabaja con los siguientes complementos: angular cli, html y css. En este caso Angular cli se debe instalar el cual es un lenguaje de programación el cual define el funcionamiento de la app.

Por cada una de las vistas existen 3 archivos principales, los cuales son:

- Html: visualización de la interfaz
- Scss: son archivos en cascada, es decir sirven para dar estilo a botones, letras, etc., de la aplicación web.
- Ts: describe el funcionamiento (typescript)

Sexta Fase: Presentación de Resultados en Aplicación Web

Una vez desarrollado el sistema de detección de alteraciones posturales: escoliosis, se procede a la presentación de los resultados en la aplicación web, cuyo entorno se lo muestra en la Figura 37.



Figura 37. Entorno de App Web

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Para ingresar a la aplicación se determinan los siguientes pasos como son:

1. Colocar el localhost para direccionar a la página web.
2. Ingresar el usuario y la contraseña (previamente registrado).
3. Ingresar los datos del paciente: cédula, nombres, apellidos, dirección, teléfono, celular, día, mes y año de nacimiento, sexo y el correo electrónico, como se muestra en la Figura 38.

Añadir paciente

Cédula Nombres
La cédula es requerida, no debe estar vacía.

Apellidos Dirección

Teléfono Celular

dd/mm/aaaa

Email

Figura 38. Entorno de ingreso de nuevo paciente

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

4. Seleccionar el botón “Datos del paciente” para ingresar a los mismos y una vez dentro seleccionar el botón “Browse” para cargar la radiografía del paciente al sistema, como se muestra en la Figura 39, las radiografías son guardadas con la fecha en la cual se sube al sistema.

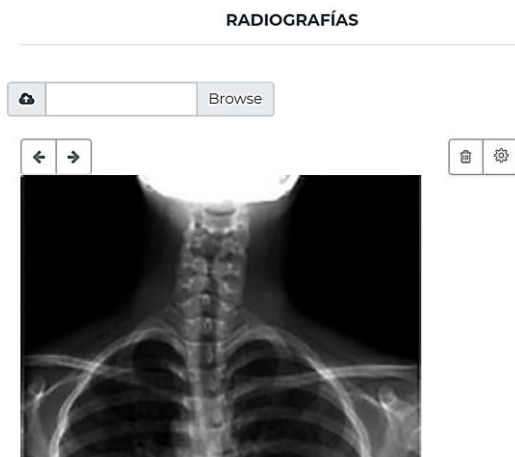


Figura 39. Subir radiografía del paciente

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5. Seleccionar el botón “Engranaje” para obtener los resultados de la desviación del ángulo de desviación que posee la columna del paciente. A continuación, se muestra en la Figura 40 el entorno el cual muestra:

- Imagen original
- Imagen procesada
- Imagen segmentada
- Ángulo de desviación de la CV del paciente.

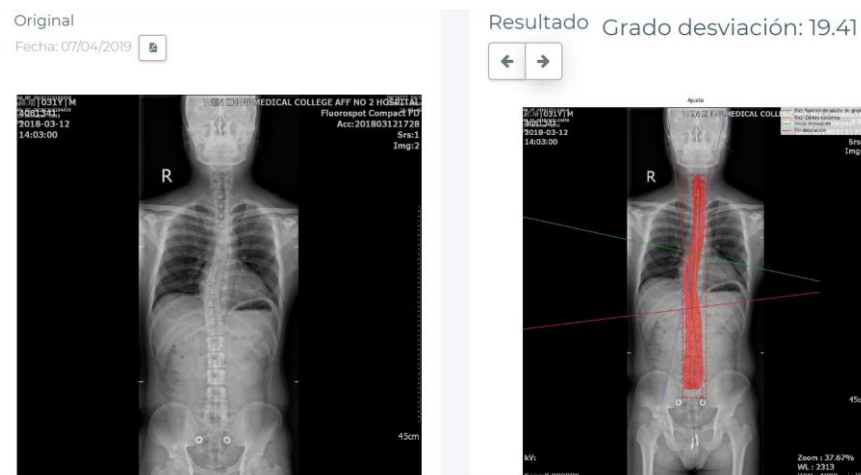


Figura 40. Resultados de la detección de escoliosis (grado)

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

6. Seleccionar el botón “pdf” para descargar el informe de la desviación de la CV del paciente, el modelo se muestra en la Figura 41.

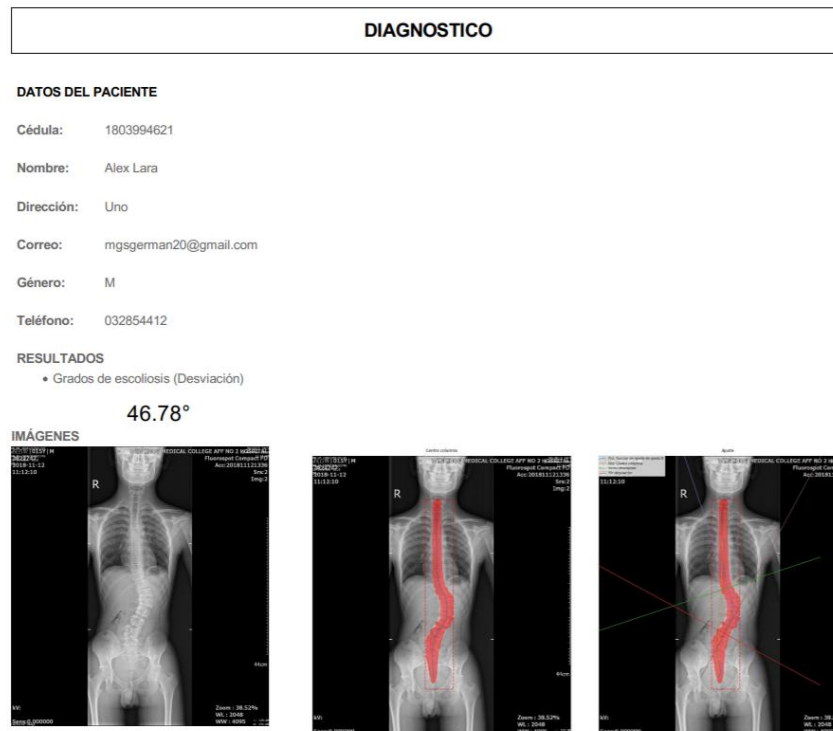


Figura 41. Resumen de diagnóstico del paciente

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

7. Finalmente se cierra sesión en la aplicación si el trabajo ha finalizado.

5.7 Pruebas de Funcionamiento del Sistema

Las pruebas realizadas al sistema se las probó en un computador cuyas características son Core i7, 3GHz, 8Gb en RAM, es importante mencionar dichas características ya que al procesar depende mucho de éstas para su rapidez de procesamiento. Se definió 30 capas de predicción por cada imagen para entrenamiento por lo cual, por cada una de las imágenes se demora un promedio de 25-30 segundos, por todos los servicios que están en uso el tiempo aumenta en un 40%. El tiempo de procesamiento depende tanto de la capacidad del equipo

como de las dimensiones de las imágenes y la calidad de información que estas presenten.

La detección del ángulo de desviación lo realiza de forma correcta ya que al hacer un barrido longitudinal por la forma presentada de la columna de estudio se obtiene la desviación máxima, evitando cálculos manuales y subjetividad en cuanto a la vértebra dónde inicia y finaliza la desviación presente.

A continuación se muestran tres ejemplos del desarrollo del sistema.

5.7.1. Ejemplo 1: Se analiza la radiografía de un paciente cuyo ángulo de desviación es de categoría leve, con un cálculo de ángulo de 10.96° , se muestra en la Figura 42.

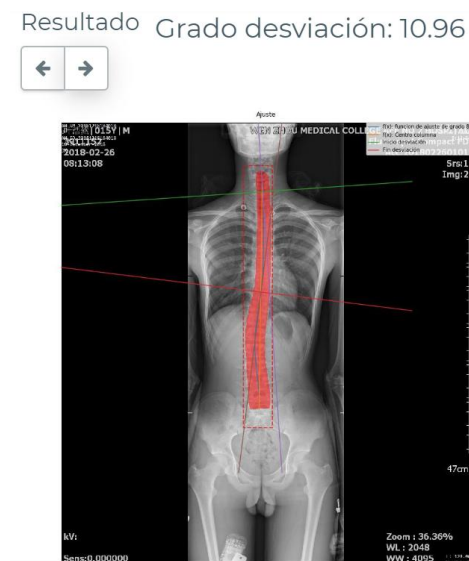


Figura 42. Detección de desviación leve

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5.7.2. Caso 2: Se analiza la radiografía de un paciente cuyo ángulo de desviación es de categoría media, con un cálculo de ángulo de 22.14° , se muestra en la Figura 43.

Resultado Grado desviación: 22.14

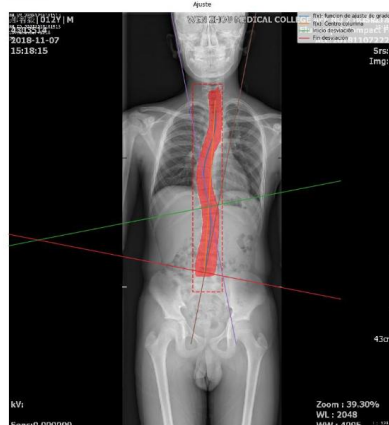


Figura 43. Detección de desviación media

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5.7.3. Caso 3: Se analiza la radiografía de un paciente cuyo ángulo de desviación es de categoría grave, con un cálculo de ángulo de 46.78° , se muestra en la Figura 44.

Resultado Grado desviación: 46.78

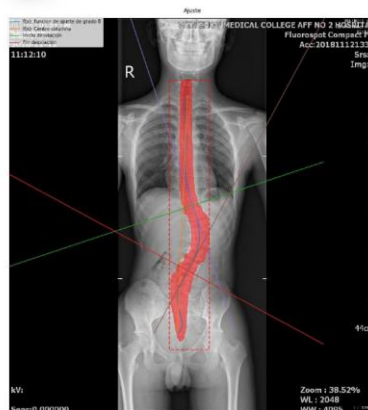


Figura 44. Detección de desviación grave

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5.8 Procesamiento de Datos

Es importante realizar un análisis estadístico para verificar la funcionalidad del sistema frente al diagnóstico manual que en la mayoría de las ocasiones los

médicos realizan y constatar la fiabilidad de este al emitir un diagnóstico al paciente tratante, se trabaja con 30 radiografías de pacientes que presentan diversos grados de escoliosis.

El grado de desviación de la columna vertebral de las radiografías analizadas han sido medidos por tres personas, Doctora María Guamán, Fisioterapista Gabriela Romero y Srta. Patricia Moreno estudiante de noveno semestre de medicina, para lo cual cada una realizó dos mediciones y para obtener un ángulo aproximado se obtuvo el promedio de las seis mediciones, y se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Grados de desviación medidos manualmente vs Grado de desviación del sistema

N° Radiografía	Grado de Desviación Manual (°)	Grado de Desviación Sistema (°)
1	29.44	30.37
2	14.43	15.32
3	22.50	22.14
4	25.41	25.05
5	15.02	15.06
6	48.81	46.78
7	27.83	32.39
8	9.21	24.13
9	13.32	12.55
10	17.88	20.49
11	21.62	30.15
12	13.47	14.81
13	14.75	21.97
14	13.95	16.66
15	11.77	22.45
16	12.93	22.10
17	32.62	41.05

18	21.86	22.50
19	16.60	18.82
20	7.37	19.73
21	29.59	35.98
22	17.84	26.26
23	16.32	10.96
24	25.57	28.30
25	12	16
26	19.30	25.02
27	14.92	21.91
28	34.99	44.87
29	10.67	11.48
30	18.98	19.41

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

En la Figura 45 se muestra la variación existente entre el ángulo obtenido manualmente por los tres observadores (promedio) vs el valor del ángulo obtenido por el sistema, se observa que la variación es mínima de acuerdo con las mediciones. Es importante mencionar que la medición del ángulo de Cobb es subjetiva y varía de acuerdo con el criterio de las personas que lo midan, es decir para una persona la vértebra donde inicia y termina la desviación es distinta para una segunda y tercera persona.

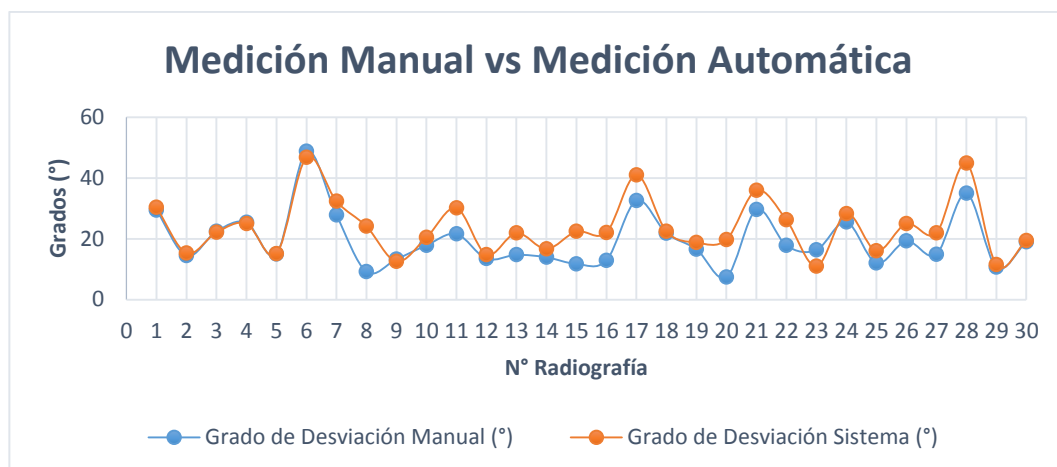


Figura 45. Ángulo medido manual vs Ángulo medido por el sistema

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5.9 Comprobación de hipótesis mediante t student

La prueba t-Student se fundamenta en dos premisas la primera: distribución de normalidad, y la segunda: las muestras deben ser independientes; esto permite comparar muestras, $N \leq 30$ y/o establece la diferencia entre las medias de las muestras, en este caso se trabaja con $N=30$.

Para comprobar la correlación y validación de las mediciones manuales de los tres observadores se procede a explicar: de las mediciones intraobservador realizadas por tres médicos que utilizan el método Cobb se muestran en la Tabla 10, se observó una variación significativa con las mediciones del tercer médico ($p < 0,005$).

Tabla 10. Mediciones intra-observador por 3 observadores utilizando el método Cobb ($n = 30$; unidad, °)

Observador	Medición	Estadística			Diferencias Pareadas			
		Promedio	Desviación Estándar	Correlación	Promedio	Desviación Estándar	t	P
1	Primero	21.00	10.15	0.863	-0.91	5.20	-0.95	0.348
	Segundo	21.90	9.63					
2	Primero	19.54	10.64	0.948	1.07	3.51	-1.67	0.106

	Segundo	18.47	9.07					
3	Primero	17.59	9.02	0.947	-1.68	3.16	-2.92	0.007
	Segundo	19.27	9.80					
	Promedio			0.919				

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

En la Tabla 11 se muestran los resultados de las mediciones entre observadores utilizando el método Cobb. Con el método Cobb, las mediciones realizadas con el Observador 1 son significativamente diferentes en comparación con el Observador 2 y 3 ($p < 0.005$).

Tabla 11. Mediciones intra-observador por 3 médicos utilizando el método Cobb ($n = 30$; unidad, °)

Observador	Correlación	Diferencias Pareadas			
		Promedio	Desviación Estándar	t	p
1 vs 2	0.926	2.43	0.67	3.61	0.001
1 vs 3	0.935	3.01	0.62	4.85	0.000
2 vs 3	0.969	0.57	0.44	1.30	0.204
Promedio	0.943				

Para comprobar la hipótesis del tema de estudio se procede a aplicar el método estadístico t student ya que al querer compara una medida observada con una teórica este método es el más adecuado, por lo cual se muestra en la Tabla 12 los valores de los ángulos de desviación medidos manualmente vs los ángulos obtenidos por el sistema.

Tabla 12. Prueba t para comprobación de hipótesis

	Grado de Desviación Manual	Grado de Desviación Sistema
Media	19,6990	23,8237
Varianza	80,6842	85,3959
Observaciones	30,0000	30,0000

Coefficiente de correlación de Pearson	0,8650
Diferencia hipotética de las medias	0,0000
Grados de libertad	29,0000
Estadístico t	-4,7655
P(T<=t) una cola	0,0000
Valor crítico de t (una cola)	1,6991
P(T<=t) dos colas	0,000049
Valor crítico de t (dos colas)	2,0452

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Realizando el análisis de la prueba t se obtiene la correlación entre los resultados obtenidos por el sistema y los datos de la medición manual del ángulo de desviación de la columna, por lo tanto, se obtiene una Correlación de 0,865 lo que significa que las mediciones son proporcionales, es decir el sistema es confiable en cuanto a los datos obtenidos por los expertos, y en cuanto a la verificación de hipótesis planteada “El desarrollo de un sistema para procesamiento de imágenes médicas incide en la detección temprana de alteraciones posturales” resulta ser verdadera.

5.10 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

El sistema es confiable de acuerdo con el dato de correlación de Pearson calculado y mostrado en la Tabla 12 cuyo valor es de 0,865. Se procede a realizar una proyección de datos con una muestra de N=100, sabiendo que 30 son datos reales y 70 son datos proyectados. En la Tabla 13 se muestran los valores proyectados de los observadores, los datos se obtuvieron a partir de la media y desviación estándar de los observadores mostrada en la Tabla 10 y 11. Los datos finales se obtuvieron de la desviación estándar obtenida al realizar la prueba t, que fue de 4.74, se muestra en la Tabla 14. En la Figura 46 la relación proyectada de los datos.

Tabla 13. *Proyección de Mediciones de Observadores*

OBSERVADOR 1		OBSERVADOR 2		OBSERVADOR 3	
1ra	2da	1ra	2da	1ra	2da
Medición(°)	Medición(°)	Medición(°)	Medición(°)	Medición(°)	Medición(°)
21	30	26	19	23	25
30	30	29	30	29	25
29	40	34	36	35	37
20	16	17	13	15	12
11	11	11	12	11	10
41	33	37	40	37	31
35	38	36	39	38	41
15	20	18	28	23	26
12	4	7	10	8	9
8	7	7	8	7	7
29	28	30	29	30	32
24	23	24	24	24	23
21	12	17	24	20	18
15	21	18	20	20	23
26	31	28	31	29	33
20	24	22	19	20	21
23	28	25	26	25	27
30	37	33	31	32	32
17	19	20	21	20	19
28	30	29	34	31	29
33	26	30	28	29	32
13	16	15	16	16	16
16	10	12	15	14	7
23	24	22	18	20	20
15	2	9	9	9	6
19	19	18	19	18	16
30	33	31	33	32	33
18	16	18	22	20	25
26	28	28	30	29	32

32	22	26	23	25	30
20	24	22	26	24	19
24	26	24	19	22	20
19	17	18	16	17	18
35	40	38	34	36	33
25	30	28	28	28	25
29	40	34	33	33	35
21	27	24	20	23	24
10	7	8	5	7	8
11	8	11	11	11	11
21	21	21	20	20	19
20	26	23	30	26	29
15	17	16	16	16	25
14	20	17	17	17	17
29	33	31	33	31	34
30	24	27	33	30	29
17	19	18	21	20	18
26	36	31	35	33	35
27	34	31	32	32	32
12	5	10	10	10	12
12	6	11	12	11	11
14	12	13	11	11	14
36	33	33	30	31	34
33	25	28	30	29	32
19	21	21	22	21	17
16	20	18	19	19	15
24	29	25	23	24	18
30	37	34	34	33	37
22	18	19	8	13	16
8	12	9	7	8	8
10	8	9	15	12	10
18	14	17	12	15	13
35	30	34	38	36	35

21	20	21	20	21	21
13	19	16	15	15	15
27	29	28	29	29	26
24	18	21	24	22	13
25	22	23	14	18	22
32	25	29	31	30	30
15	19	18	20	19	20
22	24	22	21	22	19

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

Tabla 14. *Proyección de datos 30 reales y 70 proyectados*

N° Radiografía	Grado de Desviación Manual (°)	Grado de Desviación Sistema (°)
1	29.44	30.37
2	14.43	15.32
3	22.50	22.14
4	25.41	25.05
5	15.02	15.06
6	48.81	46.78
7	27.83	32.39
8	9.21	24.13
9	13.32	12.55
10	17.88	20.49
11	21.62	30.15
12	13.47	14.81
13	14.75	21.97
14	13.95	16.66
15	11.77	22.45
16	12.93	22.10
17	32.62	41.05

18	21.86	22.50
19	16.60	18.82
20	7.37	19.73
21	29.59	35.98
22	17.84	26.26
23	16.32	10.96
24	25.57	28.30
25	12	16
26	19.30	25.02
27	14.92	21.91
28	34.99	44.87
29	10.67	11.48
30	18.98	19.41
31	24	25
32	29	27
33	35	36
34	16	14
35	11	18
36	37	33
37	38	32
38	22	26
39	8	5
40	7	3
41	30	28
42	24	26
43	19	14
44	19	19
45	30	37
46	21	24
47	26	28
48	32	38

49	19	25
50	30	22
51	30	33
52	15	12
53	12	11
54	21	23
55	8	12
56	18	15
57	32	30
58	20	11
59	29	29
60	26	24
61	22	9
62	22	23
63	17	22
64	36	40
65	27	29
66	34	33
67	23	25
68	8	13
69	11	18
70	20	24
71	26	27
72	18	16
73	17	15
74	32	34
75	29	32
76	19	8
77	33	38
78	31	30
79	10	13

80	11	16
81	12	4
82	33	39
83	29	30
84	20	14
85	18	20
86	24	23
87	34	31
88	16	11
89	9	6
90	11	7
91	15	17
92	35	28
93	20	27
94	16	20
95	28	22
96	20	18
97	21	16
98	29	30
99	19	16
100	22	24

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

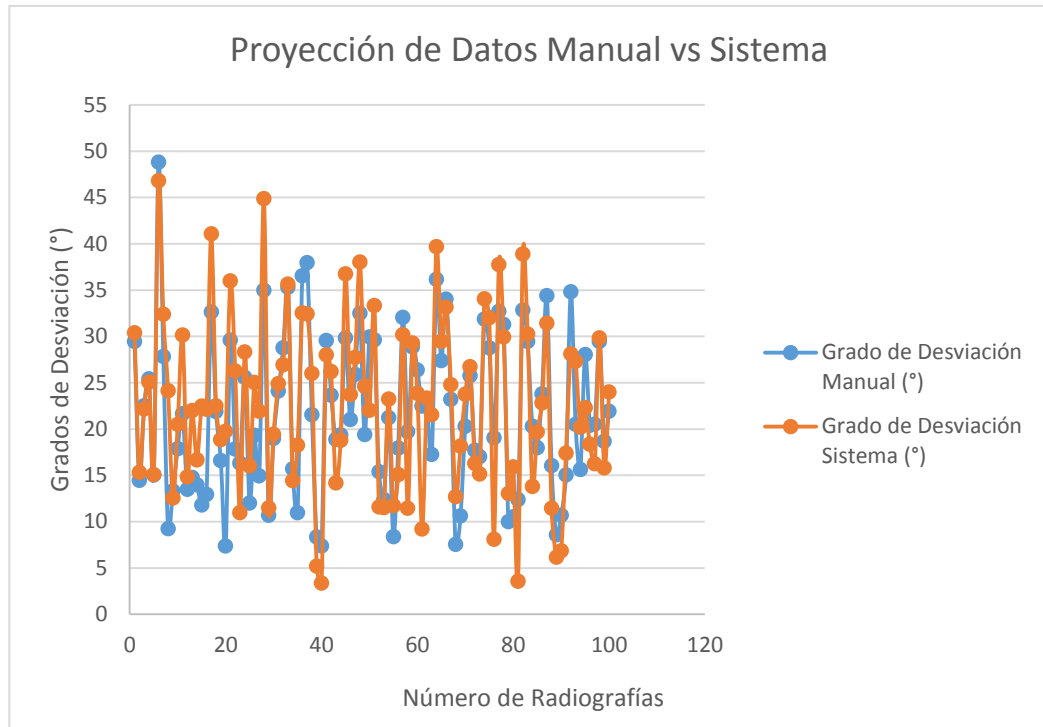


Figura 46. Proyección de Datos Manuales vs Sistema

Elaborado por: Ing. Verónica Romero

5.11 CONCLUSIONES

- El procesamiento de imágenes médicas es de gran importancia para determinar un posible diagnóstico mediante tecnología, sin dejar de lado la corroboración del médico tratante y especialista.
- Para la detección de desviación de columna vertebral es importante trabajar con radiografías de alta calidad, donde se pueda distinguir la forma de esta, tomando en cuenta que sería más preciso trabajar con columnas completas para un mejor diagnóstico.
- Con la aplicación de algoritmos matemáticos como realizar un ajuste polinomial de octavo grado, determinar la función de la curva de ajuste, determinar la derivada de la función para obtener la pendiente, el cálculo de perpendiculares longitudinalmente de la curva de la columna y el cálculo del ángulo formado entre las mismas, se logró determinar el grado de

desviación de la columna a partir de máscaras entrenadas con redes convolucionales.

- El sistema es confiable basándose en los resultados de la prueba t , ya que al ser comparada con las mediciones manuales que realizaron los observadores mencionados con antelación no tiene una variación importante, salvo aquellos casos en los cuales la medición manual puede considerarse como errónea.
- Una de las opciones de la aplicación web es la generación de una base de datos en dónde se guardan las radiografías de los pacientes según sea su evolución durante el tratamiento al que estén sometidos.
- Este sistema es aplicable en el ámbito médico debido a la alta correlación que presenta de 0,865 se verifica que el valor del ángulo detectado es proporcional a mediciones manuales realizadas, por lo tanto, el médico tratante avalúa el resultado automático emitido por el sistema.

5.12 RECOMENDACIONES

- Las radiografías con las cuales se va a trabajar de preferencia deben ser con la columna vertebral completa y no solo tórax o parte de esta, ya que se puede considerar donde inicia y termina la desviación con mayor seguridad.
- Para realizar el entrenamiento de la red se recomienda contar con una gran cantidad de radiografías para predecir casos de escoliosis en todos los niveles, desde los mínimos hasta los máximos.
- El diagnóstico médico debe ir acompañado de los resultados que el sistema ha arrojado para su comprobación y remitir al tratamiento de ser necesario según sea el caso del paciente.
- Es importante tener una base de datos de todas las radiografías del paciente para verificar la evolución de la enfermedad con la que el médico especialista está tratando.

5.13 REFERENCIAS

- A. B. Schultz, D. N. (2010). Mechanical Properties of Human Lumbar Spine Motion Segments—Part I: Responses in Flexion, Extension, Lateral Bending, and Torsion. *American Society of Mechanical Engineers*.
- A. K., J. P., & R. S. (2015). Medical image processing using fuzzy logic . *IEEE Xplore*.
- A., D. (1991). *Ortopedia pediátrica cotidiana*. Barcelona.
- Abramoff, M., Magalhães, P. J., & Ram, S. J. (2004). Image processing with ImageJ. *Utrecht University Repository*.
- Antonius Rohlmann, T. Z.-J. (2006). Analysis of the influence of disc degeneration on the mechanical behaviour of a lumbar motion segment using the finite element method. *Journal of Biomechanics*.
- Asif Khan, J.-P. L. (2015). Medical image processing using fuzzy logic . *IEEE*.
- Basantes, G. (2018, agosto 31). ¿Qué es Apache? Descripción completa del servidor web Apache. Recuperado 17 de febrero de 2019, de Tutoriales Hostinger website: <https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-apache/>
- Bakhous, C., Aubert, B., Vazquez, C., Cresson, T., Parent, S., & Guise, J. D. (2018). Automatic pedicles detection using convolutional neural network in a 3D spine reconstruction from biplanar radiographs. *Medical Imaging 2018: Computer-Aided Diagnosis*, 10575, 105750L. <https://doi.org/10.1117/12.2293763>
- Chahin, N. (2006). *MANUAL DE POSTURA Y ALTERACIONES DE COLUMNA VERTEBRAL*. Universidad Mayor.

- Díaz J, J., Schröter G, C., & Schulz I, R. (2009). ACTUALIZACION DE LA EVALUACION RADIOLOGICA DE LA ESCOLIOSIS. *Revista chilena de radiología*, 15(3), 141-151. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082009000300007>
- Dimeglio, A. (1991). *ORTOPEDIA INFANTIL COTIDIANA*. Barcelona: MASSON SA.
- Donald R. Murphy DC, D. B. (2006). Interexaminer Reliability Of The Hip Extension Test For Suspected Impaired Motor Control Of The Lumbar Spine. *Journal of Manipulative & Physiological Therapeutics*.
- El-Kareh, R., Hasan, O., D Schiff, G. (2015). Use of health information technology to reduce diagnostic errors. <http://qualitysafety.bmj.com>.
- Ernesto, G., & Patricio, V. (22 de Agosto de 2002). *MANUAL DE PEDIATRIA*. Obtenido de ISSUU: <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/Portada.html>
- F., S. (1992). *Reconocimiento del aparato locomotor durante la edad escolar. Valoración médico-deportiva del escolar*. Murcia.
- Fernández, J. (2014). .- TI-RADS classification of thyroid nodules based on a score modified regarding the ultrasound criteria for malignancy. *Servicio de Radiología y Medicina Nuclear, Robert-Bosch-Krankenhaus, Hospital Universitario de la Universidad de Tübingen, Stuttgart, Alemania*.
- Furfaro, A. (2010). Manejo de Bibliotecas Opencv. 33.
- GRUPO. (Junio de 2011). *Introducción al reconocimiento de objeto*. Obtenido de Reconocimiento de patrones: <http://grupo.us.es/gtocom/pid/tema7.pdf>

- Grupo El Heraldo. (22 de Diciembre de 2015). No hay edad para el cáncer. *El Heraldo*.
- Grupo Infobae. (25 de MAYO de 2015). Día Mundial de Tiroides: las cinco claves de la enfermedad. *Infobae.com*.
- Grupo La Hora. (2012). Casos de Cáncer en aumento. *La Hora*.
<http://escuela.med.puc.cl>. (s.f.). <http://escuela.med.puc.cl>.
- Hresko, M. Timothy, Talwalkar, Vishwas, Schwend, Richard. (2016). Early Detection of Idiopathic Scoliosis in Adolescents : JBJS. Recuperado 3 de febrero de 2019, de https://journals.lww.com/jbjsjournal/subjects/spine/Citation/2016/08170/Early_Detection_of_Idiopathic_Scoliosis_in.15.aspx
- IAGRUP07. (20 de Abril de 2012). *Reconocimiento de Imágenes por IA*. Obtenido de WordPress: <https://iagrup07.wordpress.com/>
- Jimena, G., Verónica , T., & Tatiana , T. (2013). *VALORACIÓN POSTURAL Y PROGRAMA DE INTERVENCIÓN EDUCATIVA EN LOS NIÑOS/AS DE LA UNIDAD EDUCATIVA “CARLOS CUEVA TAMARIZ”*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Khan, A., Li, J.-P., & Shaikh, R. A. (2015). Medical image processing using fuzzy logic. 2015 12th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP), 163-167. <https://doi.org/10.1109/ICCWAMTIP.2015.7493967>
- Karen Simonyan, A. Z. (2015). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *Cornell University*.

- Luis Tomalá, B. O. (2015). Hospital de Niños Roberto Gilbert pionero en cirugías de escoliosis en la región costa. Recuperado 31 de enero de 2019, de <https://www.juntadebeneficencia.org.ec/en/home/2586-hospital-de-ninos-roberto-gilbert-pionero-en-cirugias-de-escoliosis-en-la-region-costa>
- Lydia Manikonda, M. D. (s.f.). Modeling and Understanding Visual Attributes of. *Arizona State University*.
- M. A., J. G., & G. A. (s.f.). LA LIBRERÍA DE VISIÓN ARTIFICIAL OPENCV APLICACIÓN A LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN.
- Marengoni, M., Stringhini, D. (2011). High Level Computer Vision using OpenCV. *24th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns, and Images Tutorials*.
- Milan Sonka, V. H. (2008). *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*.
- Moreta, M. (13 de Octubre de 2016). Estudios del agua para determinar si tiene incidencia con los casos de cáncer en Tungurahua. *El Comercio*.
- Omar AlOkashi, HongboDu, HishamAl-Assam. (2017). Automatic spine curvature estimation from X-ray images of a mouse model - *ScienceDirect*. Recuperado 3 de febrero de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260716309464>
- Palacios, J. R. (2007). Sistema Respiratorio: Anatomía. En *Infermera Virtual* (pág. 27). Barcelona.
- Qing Chen, E. P. (2004). A comparative study of Fourier descriptors and Hu's seven moment invariants for image recognition. *IEEE*.

- Rae S. Alqhtani, M. M. (2015). Correlation Of Lumbar-Hip Kinematics Between Trunk Flexion And Other Functional Tasks. *Journal of Manipulative & Physiological Therapeutics* .
- Rahnamayan, S., Mohamad, Z. (2010). Tissue Segmentation in Medical Images Based on Image Processing Chain Optimization.)/ *IEEE NPSS (Toronto), UOIT, Oshawa, ON, 25 & 26 June, 2010 International Workshop on Real Time Measurement, Instrumentation & Control [RTMIC]*.
- Rossum, G. v. (2017). *El tutorial de Python*. Argentina.
- Ruiz Santiago, F., Guzmán Álvarez, L., Tello Moreno, M., & Navarrete González, P. J. (2010). La radiografía simple en el estudio del dolor de la columna vertebral. *Radiología*, 52(2), 126-137.
<https://doi.org/10.1016/j.rx.2009.12.010>
- Santoja, F. (1992). Reconocimiento del aparato locomotor durante la edad escolar. *1992*, 259-277.
- Sik-Ho Tsang. (2018). Review: ResNet — Winner of ILSVRC 2015 (Image Classification, Localization, Detection). Recuperado 16 de abril de 2019, de <https://towardsdatascience.com/review-resnet-winner-of-ilsvrc-2015-image-classification-localization-detection-e39402bfa5d8>
- Suk, S.-I. M., Chung, E.-R. M., Kim, J.-H. M., Kim, S.-S. M., Lee, J.-S. M., & Choi, W.-K. M. (2005). Posterior Vertebral Column Resection for Severe Rigid Scoliosis. *SPINE*.

Thornton, J., Savvides, M., Kumar V. (2007). A Bayesian Approach to Deformed Pattern Matching of Iris Images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 29, No. 4.

Yan Meng, E. C. (2003). Enhancing DPF for near-replica image recognition. *IEEE*.