

# CONESCAPANHONDURAS2025paper101.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

---

## Document Details

### Submission ID

trn:oid:::14348:477763120

### Submission Date

Jul 31, 2025, 10:40 PM CST

### Download Date

Aug 12, 2025, 3:00 PM CST

### File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper101.pdf

### File Size

1.1 MB

6 Pages




4,392 Words

23,913 Characters

# 19% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Top Sources

- 19%  Internet sources
- 12%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags




### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## Top Sources

- 19%  Internet sources
- 12%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

## Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	publications.polymtl.ca	2%
2	Internet	www.elsevier.es	1%
3	Internet	hub.hku.hk	<1%
4	Internet	rua.ua.es	<1%
5	Publication	Amira Talha, Tarek Frikha, Jalel Ktari, Habib Hamam. "Revolutionizing Tunisian A...	<1%
6	Publication	Jason Wong, Marek Reformat, Edmond Lou. "Applying Machine Learning and Poin...	<1%
7	Internet	joiv.org	<1%
8	Publication	Aishu Xie, Ervin Gubin MOUNG, Xu Zhou, Zhibang Yang. "A fully automatic curve lo...	<1%
9	Internet	www.coursehero.com	<1%
10	Internet	mejorconsalud.as.com	<1%
11	Internet	arxiv.org	<1%

12	Internet	www.preprints.org	<1%
13	Publication	Katarzyna Zaborowska-Sapeta, Tomasz Giżewski, Anna Binkiewicz-Glińska, Anna ...	<1%
14	Publication	Teng Zhang, Yifei Li, Jason P. Y. Cheung, Socrates Dokos, Kwan-Yee K. Wong. "Lear...	<1%
15	Internet	c.coek.info	<1%
16	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
17	Internet	digitum.um.es	<1%
18	Internet	doczz.es	<1%
19	Internet	oa.upm.es	<1%
20	Internet	gabocycling.wixsite.com	<1%
21	Internet	www.frontiersin.org	<1%
22	Publication	S.L. Infante Ruiz, J. Rodríguez García, J.J. Ríos García, J.M. Fernández Torrico et al. "...	<1%
23	Internet	repositorio.unphu.edu.do	<1%
24	Internet	repositorio.usj.es	<1%
25	Internet	www.fesc.edu.co	<1%

26	Internet	docs.bvsalud.org	<1%
27	Internet	pesquisa.bvsalud.org	<1%
28	Internet	www.carestream.com	<1%
29	Internet	www.palestinos.com	<1%
30	Internet	www.tic.udc.es	<1%
31	Internet	escoliosisweb.wordpress.com	<1%
32	Internet	www.dropbox.com	<1%
33	Internet	www.jove.com	<1%
34	Internet	www.lachealthaccounts.org	<1%
35	Internet	1library.co	<1%
36	Internet	deshocks.pagaloo.com	<1%
37	Internet	doaj.org	<1%
38	Internet	hdl.handle.net	<1%
39	Internet	pt.slideshare.net	<1%

40	Internet	www.ems-sema.org	<1%
41	Internet	www.lqvelqo.com	<1%
42	Internet	www.oalib.com	<1%
43	Internet	documentop.com	<1%
44	Internet	qdoc.tips	<1%

# Estimación de la Curvatura y Medición Automatizada del Ángulo de Cobb en Escoliosis Idiopática a través de Python y Matlab

**Abstract** - La escoliosis idiopática en adolescentes es una deformidad de la columna vertebral que se presenta en forma de curvas en C o S, causando problemas respiratorios y posturales. La forma más común de diagnosticarla es mediante radiografías completas de la columna para determinar la gravedad de la curvatura. El tratamiento varía según factores como la edad del paciente y el nivel de curvatura, siendo la medición del ángulo de Cobb el método estándar para cuantificar dicha curvatura. Tradicionalmente, esta medición se realiza manualmente, lo que puede ser lento y sujeto a variabilidad. En este estudio se desarrolló un algoritmo automatizado usando Python y Matlab para optimizar la medición del ángulo de Cobb en imágenes radiográficas de pacientes adolescentes con escoliosis idiopática. Las imágenes fueron preprocesadas con filtros para mejorar la visualización de la columna, y se seleccionaron puntos clave que definen el inicio y final de la columna para generar la trayectoria de la curvatura. Se identificaron los puntos de inflexión para calcular el ángulo mediante el trazado de normales y líneas perpendiculares, obteniendo una imagen segmentada con la curva, los puntos y líneas calculadas. Finalmente, el algoritmo calcula el ángulo formado, ofreciendo una medición objetiva y eficiente.

**Keywords** - Ángulo de Cobb, Escoliosis idiopática, Medición automática, Procesamiento de imágenes, Python.

## I. INTRODUCCIÓN

La columna vertebral es una estructura ósea cuyas funciones se basan principalmente en proporcionar soporte estructural, proteger la médula espinal y facilitar la flexibilidad y el movimiento al cuerpo humano. Estas funciones son llevadas a cabo por un total de treinta y tres vértebras las cuales se dividen en: siete vértebras cervicales, cinco lumbares, doce torácicas, además de cinco vértebras que forman el sacro y los elementos coccigeos cuya fusión genera al hueso cóccix ubicado en la base de la columna vertebral. Estos elementos poseen una estructura básica que se encuentra sujeta a ligeras variaciones en sectores específicos de la columna vertebral, sin embargo su composición típica se basa en dos componentes conocidos como el cuerpo vertebral y el arco. Cada vértebra se encuentra ubicada de forma tal que pueda proporcionar flexibilidad, estabilidad y amortiguación durante el movimiento del organismo. La importancia de la columna vertebral radica en el sostén que brinda al cuerpo humano, sin embargo esta no se encuentra abstenida a ser afectada por diversas deformidades que influyan negativamente en el desarrollo de sus funciones anatómicas. [1] [2]

La escoliosis idiopática se define como una deformidad del esqueleto axial en el plano anteroposterior con una angulación mayor a diez grados, descartando otras causas como congénitas, neuromusculares, tumorales o sindrómicas. Esta deformidad se diagnostica por exclusión es decir, cuando no se encuentran causas específicas evidentes en la historia clínica y los hallazgos radiológicos. La etiología de la escoliosis idiopática

sigue siendo desconocida, aunque se ha sugerido una base multifactorial que involucra factores genéticos, alteraciones discuales, alteraciones del sistema nervioso y desequilibrios en el crecimiento óseo y muscular. Comúnmente el diagnóstico de esta deformidad incluye una fase de exploración clínica y posteriormente una fase de exploración radiológica. La evaluación clínica incluye una inspección estática cuyo fin se basa en la búsqueda de valores asimétricos en los hombros y escápulas, por último se evalúa si existen discrepancias en la longitud de los miembros inferiores. Posteriormente se realizan técnicas de evaluación como el Test de Adams, la cual es una exploración de cribado comúnmente utilizada en la atención primaria. Esta consiste en la valoración de la asimetría del tronco por medio de la flexión del paciente, usualmente se emplea un instrumento denominado como escoliómetro de Bunell para acompañar al Test de Adams, el resultado se determina como positivo en caso de que el tronco del paciente no se encuentre totalmente paralelo al suelo. [3]

La exploración radiográfica suele ser indicada cuando el Test de Adams resulta positivo. El estudio radiográfico estándar consiste en una radiografía anteroposterior (AP) de la columna vertebral, lo que permite evaluar el alineamiento de la columna bajo carga gravitacional. La información obtenida permite confirmar el diagnóstico y caracterizar la curvatura en términos de localización, patrón y severidad. Uno de los parámetros claves que se calcula a partir de esta imagen es el ángulo de Cobb, que permite cuantificar la magnitud de la desviación lateral. [4], [5]

El ángulo de Cobb es la medida estándar utilizada para cuantificar la deformidad angular en casos de escoliosis. Fue introducido en 1948 por el Dr. John Cobb [6] y desde entonces se ha consolidado como el principal criterio radiológico para evaluar la magnitud de la curvatura. Su medición se realiza identificando las vértebras más inclinadas por encima y por debajo del ápice de la curva. A partir de sus placas terminales se trazan líneas, y el ángulo formado por la intersección de sus perpendiculares define el ángulo de Cobb. Esta medición es esencial tanto para establecer el diagnóstico como para clasificar la severidad de la escoliosis y monitorizar su progresión a lo largo del tiempo. [7] Generalmente este cálculo se realiza de manera manual, involucrando el trazado de líneas sobre la radiografía y el uso de un transportador para medir el ángulo. [8] A pesar de ser el método estándar este trae consigo ciertas limitaciones o desventajas por ejemplo, la variabilidad interobservador e intraobservador, ya que la identificación precisa de las vértebras límite y el trazo de las líneas pueden diferir ligeramente entre evaluadores o incluso en mediciones repetidas por la misma persona. Esta variaciones pueden generar diferencias de hasta 5°, lo cual es clínicamente significativo para el seguimiento de la progresión de la curva [9].

Ante las limitaciones inherentes a la medición manual del ángulo de Cobb, resulta fundamental atender esta brecha mediante el uso de sistemas semiautomatizados de análisis radiográfico. Estas herramientas buscan mejorar la eficiencia y estandarización del diagnóstico, reduciendo significativamente la variabilidad entre observadores [10]. Adicionalmente los avances en procesamiento de imágenes radiográficas permiten ajustar parámetros como el contraste, el brillo, y la nitidez en las radiografías, lo cual facilita la identificación precisa de las vértebras límite y mejora la medición del ángulo de Cobb. [11]

Dentro de los métodos semiautomatizados se encuentra por ejemplo el estudio desarrollado por la Universidad de Staffordshire en 2002, donde se empleo Matlab utilizando un total de nueve radiografías, el programa consistió de una interfaz que permitía la selección manual de puntos en la radiografía para segmentar la columna vertebral en ocho regiones, posteriormente al seleccionar estos puntos se generaba la curva característica en la imagen gracias al sistema de coordenadas de Matlab. Una vez generada la curva los investigadores calcularon todos los ángulos posibles entre las rectas perpendiculares a las vértebras y tomaron el ángulo mayor como el ángulo de Cobb. Los resultados obtenidos demostraron que este sistema poseía un coeficiente medio de fiabilidad de 0.985, es decir que las medidas obtenidas a lo largo de la investigación eran 98% libres de error. [12]

En 2019, el Departamento de Ciencias de Computación e Ingeniería de Información de la Universidad Nacional de Pingtung en Taiwán, desarrolló un estudio donde se propuso un sistema automatizado para la medición de la curvatura de la columna vertebral, utilizando una base de datos de radiografías en la vista anteroposterior de los pacientes. Dentro de los métodos utilizados se destaca el uso de las redes neuronales por aprendizaje profundo: U-Net, Dense- Unet y Residual U-net, para poder reducir las influencias de las distribución inconsistente de las vértebras en la imagen anteroposterior. Esta investigación se desarrolló en cuatro pasos, iniciando con la entrada de las imágenes de la columna vertebral por la red neuronal, se prosiguió con la segunda fase que consistió en aislar la región de interés de la columna. Siguiendo el patrón de otras investigaciones, la tercera fase consistió en la segmentación de las vértebras y por último en la cuantificación de la curvatura. El estudio comparó las tres redes neuronales utilizados concluyendo que la que obtuvo mejores resultados en la segmentación de las imágenes fue Residual U-Net con un coeficiente de similitud de Dice de 0.951. [13]

En el año 2022, Wahyu Caesarendra [9] utilizó dos bases de datos de radiografías en el plano anteroposterior para el entrenamiento de una red neuronal convolucional que permitiera el cálculo automático del ángulo de Cobb. Se utilizaron un total de 551 radiografías de pacientes con escoliosis idiopática. Este estudio fue dividido en tres fases siendo estas: 1) Desarrollo del algoritmo para redimensionar y estandarizar el tamaño de las imágenes de rayos X. 2) Detección de las vértebras utilizando una red neuronal convolucional. 3) Desarrollo de algoritmo para la detección de la vértebra superior e inferior para la medición del ángulo de Cobb. Los resultados demostraron obtener una precisión de 93.6 % al compararse con los resultados de un neurocirujano con conocimiento especializado.

En 2023, la Universidad de Keio de la Escuela de Medicina en Tokyo Japón, desarrollaron un algoritmo para la automatización del ángulo de Cobb utilizando el aprendizaje de transferencia profunda, que involucra el uso de modelos pre entrenados de redes neuronales convolucionales para generar la región de interés y segmentar la columna vertebral. El modelo utilizado es el denominado como Residual Network (ResNet), el estudio consistió en cuatro fases: 1) Entrada de imagen a la red neuronal convolucional. 2) Detección de región de interés. 3) Segmentación de vértebras. 4) Medición del ángulo de Cobb. Los resultados obtenidos al comparar las mediciones entre seis doctores y la Inteligencia Artificial desarrollada determinó un coeficiente de correlación de interclase de 0.973. [14]

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una herramienta tecnológica para la evaluación cuantitativa de la escoliosis idiopática, mediante un enfoque combinado de preprocesamiento de imágenes en Python y cálculo del ángulo de Cobb en Matlab. Este enfoque pretende reducir la variabilidad interobservador, aumentar la reproducibilidad de las mediciones y proporcionar una herramienta confiable que apoye el diagnóstico, tratamiento y seguimiento clínico de pacientes con escoliosis idiopática.

## II. METODOLOGÍA

El estudio se realizó con un enfoque cuantitativo, por la medición de diferentes puntos en distintas imágenes de la columna vertebral para poder calcular el ángulo de Cobb y por ende, calcular promedios con la respectiva desviación estándar. Tiene un alcance descriptivo, explicando la medición del ángulo de Cobb de forma automática.

### A. Adquisición de base de datos

La base de datos utilizada proviene del estudio titulado “Uso del aprendizaje de transferencia profunda para detectar escoliosis y espondilolistesis a partir de imágenes de rayos X”, desarrollado por Mohammad Fraiwan, Ziad Audat, Iuay Fraiwan y Tarek Manasreh [15].

Las imágenes radiográficas fueron recolectadas en el Hospital Universitario Rey Abdullah, perteneciente a la Universidad de Ciencia y Tecnología de Jordania. El conjunto de datos incluye radiografías de 338 sujetos, con edades comprendidas entre los 9 meses y los 79 años. Sin embargo, para los fines de este proyecto, se seleccionaron únicamente las imágenes correspondientes a pacientes adolescentes, definidos como aquellos con edades entre 10 y 19 años.

La base de datos está disponible públicamente a través de la plataforma Kaggle, un repositorio de ciencia de datos de acceso libre que ofrece diversas herramientas y recursos útiles para la investigación y el desarrollo de modelos de aprendizaje automático. independent document. Please do not revise any of the current designations.

### B. Desarrollo de algoritmo

El algoritmo propuesto para la medición automática del ángulo de Cobb se divide en dos fases principales:

1. Preprocesamiento de la imagen radiográfica - Esta fase se desarrolla utilizando Python, específicamente mediante el entorno colaborativo Google Colaboratory. El objetivo es cargar las imágenes radiográficas de la columna vertebral y aplicar



técnicas de preprocesamiento empleando las bibliotecas OpenCV y NumPy. Estas herramientas permiten mejorar la calidad de la imagen, resaltar estructuras relevantes y preparar los datos para su análisis posterior.

2. Cálculo del ángulo de Cobb - Una vez procesadas las imágenes en Python, estas se exportan e importan en MATLAB para realizar el cálculo automático del ángulo de Cobb. Esta etapa aprovecha las capacidades matemáticas de MATLAB para detectar las vértebras clave, trazar las líneas necesarias y calcular el ángulo de deformación de manera automática sobre la imagen previamente procesada.

El flujo general del algoritmo puede observarse en el siguiente diagrama de bloques:

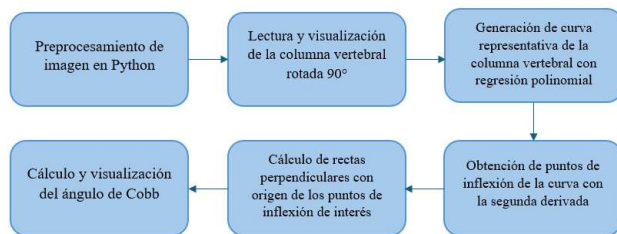


Fig. 1. Cálculo del ángulo de Cobb.

### C. Preprocesamiento de imágenes

La segmentación de las imágenes radiográficas se realiza utilizando el lenguaje de programación Python, a través del entorno colaborativo Google Colaboratory. En primer lugar, se importan todas las bibliotecas necesarias para el procesamiento de imágenes, siendo las más relevantes OpenCV (cv2) y NumPy.

La biblioteca cv2 permite llevar a cabo diversas operaciones sobre la imagen, tales como detección de bordes, rotación, redimensionamiento y mejora del contraste, entre otras transformaciones esenciales para el preprocesamiento. Por otro lado, NumPy facilita la manipulación de matrices, estructura en la que se representan tanto las imágenes como las máscaras utilizadas durante el procesamiento.

Estas herramientas permiten preparar adecuadamente las imágenes para su posterior análisis y cálculo del ángulo de Cobb en MATLAB.

### D. Medición automatizada

Una vez segmentada la imagen de la columna vertebral en Python, esta es importada en MATLAB para su procesamiento. Se realiza una rotación horizontal de la imagen con el fin de facilitar la identificación y trazado de la curvatura vertebral. Posteriormente, se delimita manualmente el área de análisis seleccionando dos puntos extremos: uno en el borde izquierdo y otro en el derecho de la imagen. Con base en estos puntos, se generan ocho líneas verticales equidistantes, dividiendo la columna en siete segmentos iguales.

En cada línea vertical se marcan manualmente los bordes superior e inferior de la columna, y se calcula su punto medio.

Los puntos medios obtenidos sirven como base para generar una curva ajustada que represente la trayectoria de la columna, utilizando una regresión polinomial de grado seis. Esta curva se representa mediante una expresión simbólica obtenida a partir de los coeficientes calculados con polyfit.

A través de la segunda derivada de la curva, se identifican los puntos de inflexión, los cuales indican los cambios de curvatura más significativos de la columna. En estos puntos, se generan rectas normales calculando las pendientes tangentes y sus respectivas pendientes normales. Debido a que el punto de intersección entre estas rectas frecuentemente queda fuera del área visible, se trazan rectas perpendiculares a las normales desde los puntos de inflexión.

El ángulo de Cobb se calcula mediante la fórmula:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{|m_1 - m_2|}{1 + m_1 m_2} \right) \quad (1)$$

Donde  $m_1$  y  $m_2$  corresponden a las pendientes de las rectas perpendiculares generadas. Finalmente, el valor del ángulo se muestra sobre la imagen junto a una clasificación automática de la curvatura, determinando si se trata de una curvatura normal, escoliosis leve, moderada o severa, según el valor obtenido.

### E. Demostración de la Congruencia de Ángulos en la Medición del Ángulo de Cobb

Siendo los puntos E y D los puntos de inflexión de la curva generada sobre la columna vertebral y las rectas AB y BC las normales en dichos puntos, se forma el triángulo ABC, donde el ángulo ABC se denomina como  $\alpha$ . Al trazar las rectas perpendiculares AD y EC, se generan los triángulos rectángulos ABD y AEF, donde el ángulo BAD es igual a EAF y se denomina  $\beta$ . Como en ambos triángulos los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ , y  $\beta$  y  $\theta$  son complementarios respectivamente, se concluye que  $\alpha$  y  $\theta$  son congruentes. Por lo tanto, el ángulo  $\theta$  representa correctamente el ángulo de Cobb de la columna vertebral.

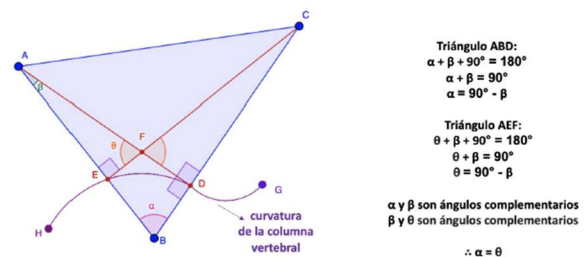


Fig. 2. Demostración de congruencia de ángulos.

## III. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS

Con base en el algoritmo descrito en la sección de metodología, se procesaron cinco imágenes radiográficas de columna vertebral. Una de ellas corresponde a una columna etiquetada como normal, es decir, sin presencia de escoliosis, según la base de datos utilizada en la investigación "Uso del aprendizaje de transferencia profunda para detectar escoliosis y espondilolistesis a partir de imágenes de rayos X". Las otras cuatro imágenes corresponden a casos con diagnóstico de escoliosis, también provenientes de la misma fuente.

El algoritmo fue implementado en dos fases, utilizando dos lenguajes de programación. La primera fase, realizada en

Python, consistió en el preprocesamiento de las imágenes, mientras que la segunda fase, ejecutada en Matlab, permitió el cálculo automático del ángulo de Cobb a partir de las imágenes segmentadas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada caso, de acuerdo con los objetivos planteados, permitiendo verificar la funcionalidad del sistema propuesto y la precisión en la clasificación del grado de escoliosis.

#### A. Preprocesamiento de imágenes radiográficas de columna vertebral en Python

El objetivo principal del preprocesamiento en Python es aplicar transformaciones que permitan distinguir las características principales de la columna vertebral. Esto facilita la visualización óptima para medir el ángulo de Cobb.

Una vez obtenida la imagen, se realiza un recorte y centrado de la columna vertebral para obtener la región de interés (ROI), visualizando únicamente el objeto principal, como se muestra en la Fig. 3

Seguidamente, se aplica un filtro Gaussiano para suavizar los bordes de la imagen. Con los bordes suavizados, se procede a ecualizar el histograma para resaltar la zona de la columna vertebral con una tonalidad diferente en escala de grises (Fig. 3)

Cuando el histograma está ecualizado, se puede realizar la segmentación de la columna vertebral. En imágenes médicas, existen diversos métodos para segmentar. En esta investigación se utilizaron métodos basados en bordes y en píxeles.

El primer método aplicado fue la detección de bordes mediante el operador Sobel. Sin embargo, debido a la presencia de otros elementos (costillas, pericardio), el operador detecta también estos bordes, además de los de la columna vertebral. El segundo método fue la umbralización, que segmenta basándose en la intensidad de píxeles dentro del área de interés (Fig. 4).

Ambos métodos permiten visualizar las características principales de la columna vertebral, pero presentan pérdida de información durante la segmentación. Por ello, las imágenes segmentadas no son óptimas para medir el ángulo de Cobb en Matlab. Por lo tanto, para la medición se utilizó la imagen recortada con el histograma ecualizado.

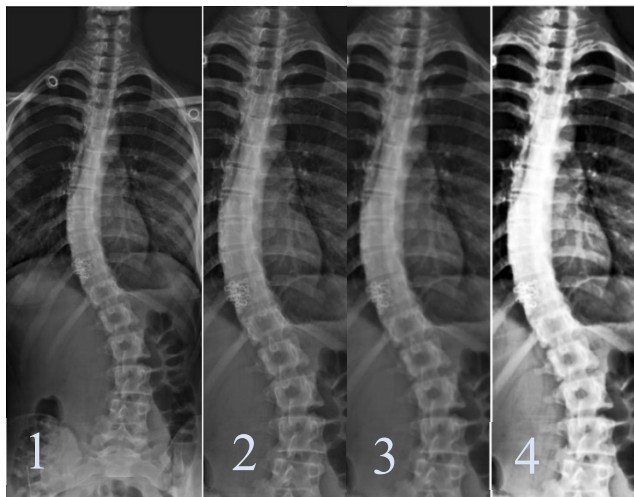


Fig. 3. Imagen original (1), imagen ROI (2), aplicación de filtro Gaussiano(3) e histograma (4)

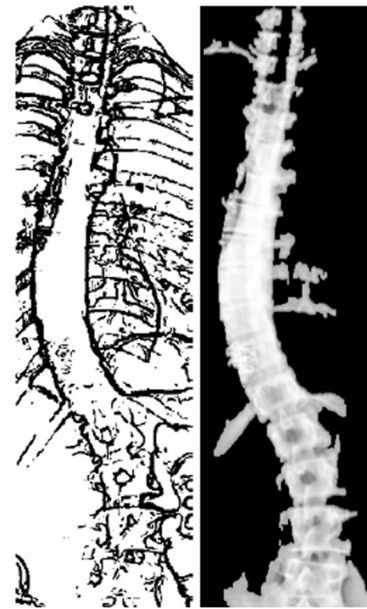


Fig. 4. Imagen con operador Sobel (izq.) e imagen con umbralización (der.)

#### B. Procesamiento de las imágenes radiográficas en Matlab

Como se explicó en la sección de metodología, el procesamiento en Matlab está destinado a medir el ángulo de Cobb, ya que el programa facilita funciones matemáticas para este cálculo. Se procesaron cinco imágenes: una corresponde a una columna vertebral normal y cuatro a columnas con escoliosis, todas obtenidas de la misma base de datos.

El programa muestra el ángulo calculado sobre la imagen y determina la gravedad de la escoliosis según rangos establecidos en la literatura:

TABLE I. CLASIFICACIÓN DE ESCOLIOSIS

Ángulo de Cobb (°)	Gravedad de escoliosis
< 10	Curvatura normal
10 – 20	Escoliosis leve
20 – 40	Escoliosis moderada
> 40	Escoliosis severa

Para el cálculo, la imagen se divide originalmente en ocho partes iguales. Además, se hizo un análisis comparativo dividiendo la imagen en diez partes iguales para observar variaciones en las mediciones. Para cada división, se realizaron diez mediciones manuales por imagen, para calcular promedios y desviaciones estándar.

#### C. Medición del ángulo de Cobb en imágenes separadas en ocho y diez partes iguales

La tabla II y tabla III presentan la información asociada a los ángulos medidos al separar las imágenes tanto en 8 como en 10 partes.

Una separación de 10 partes de la imagen ecualizada tiene una menor desviación y un tiempo mayor de aproximadamente 7 segundos, pero se reduce la desviación estándar en un 48.11% por cada medida.

TABLE II. MEDICIONES DE IMÁGENES EN 8 PARTES

Intentos	Normal (°)	Escol1 (°)	Escol2 (°)	Escol3 (°)	Escol4 (°)
1	0.34	46.31	27.26	44.51	36.80
2	0.68	50.51	27.89	41.68	37.30
3	0.78	53.79	25.30	43.28	39.40
4	0.64	52.93	27.51	44.14	37.59
5	0.72	53.87	23.49	41.71	35.11
6	0.41	52.09	26.47	41.32	36.90
7	0.53	51.57	31.10	42.48	36.56
8	0.71	53.41	27.64	43.45	38.22
9	0.94	46.34	26.48	43.96	39.52
10	1.33	51.76	26.46	43.31	38.02
Promedio	<b>0.70</b>	<b>51.30</b>	<b>27.00</b>	<b>43.00</b>	<b>37.50</b>
Desviación	<b>0.28</b>	<b>2.81</b>	<b>1.95</b>	<b>1.12</b>	<b>1.33</b>

TABLE III. MEDICIONES DE IMÁGENES EN 8 PARTES

Intentos	Normal (°)	Escol1 (°)	Escol2 (°)	Escol3 (°)	Escol4 (°)
1	0.82	49.21	24.51	43.92	41.93
2	0.33	49.58	25.73	44.57	42.02
3	0.98	51.23	26.94	45.17	42.84
4	0.14	51.32	25.70	43.88	43.74
5	0.92	51.30	25.06	44.36	42.24
6	0.21	49.50	26.23	45.60	42.14
7	1.05	48.66	25.07	42.57	42.98
8	0.41	48.75	26.11	44.90	42.57
9	0.16	49.39	26.00	45.69	43.05
10	1.47	49.14	26.13	44.72	42.53
Promedio	<b>0.60</b>	<b>49.80</b>	<b>25.70</b>	<b>44.50</b>	<b>42.60</b>
Desviación	<b>0.46</b>	<b>1.06</b>	<b>0.70</b>	<b>0.93</b>	<b>0.56</b>

La Fig. 5 y Fig. 6, muestran una curva azul que representa la aproximación de la curvatura de la columna. Los puntos rojos son los puntos de inflexión, las líneas punteadas verdes son las normales a esos puntos, y las líneas punteadas moradas son perpendiculares a las normales, utilizadas para calcular el ángulo de Cobb.

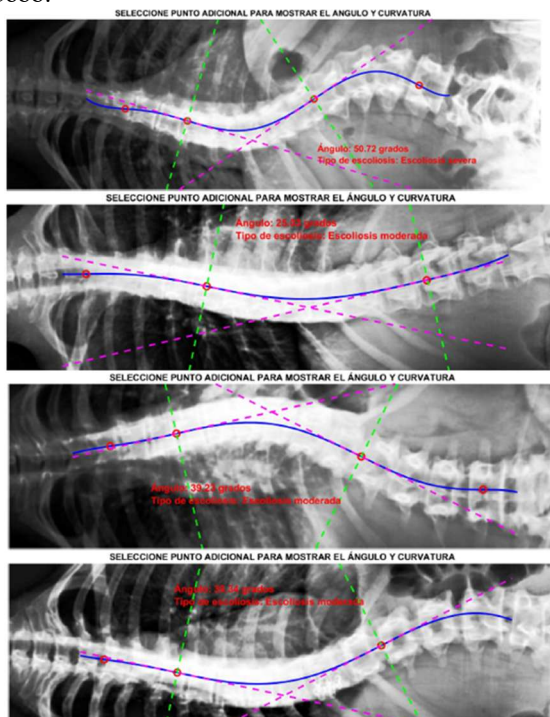


Fig. 5. Análisis de algoritmo con 8 partes.

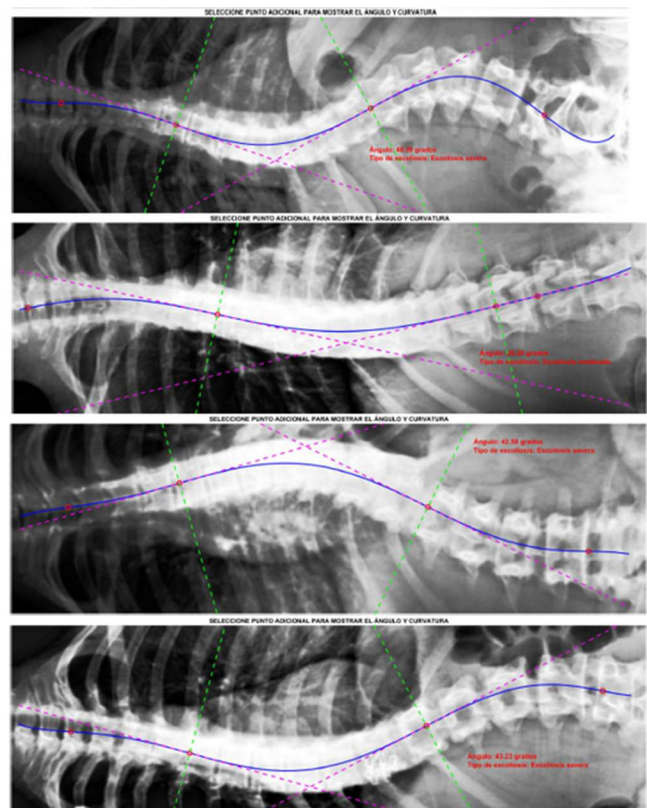


Fig. 6. Análisis de algoritmo con 10 partes.

#### IV. CONCLUSIÓN

La escoliosis idiopática representa una condición clínica compleja cuya evaluación depende, en gran medida, de una medición precisa del ángulo de Cobb. Este proyecto logró automatizar dicha medición a través de técnicas de procesamiento digital de imágenes aplicadas en Python y Matlab, permitiendo establecer una herramienta semiautomática que facilita el análisis radiográfico.

Durante el preprocesamiento en Python, se aplicaron técnicas de reducción de ruido, recorte, filtración y ecualización del histograma para resaltar las características de la columna vertebral. Posteriormente, en Matlab se ejecutó el análisis cuantitativo mediante la división equidistante de la imagen, el trazado de curvas polinómicas y la identificación automática de los puntos de inflexión para el cálculo del ángulo de Cobb.

Los resultados obtenidos indican que la segmentación de la imagen en diez partes proporciona mayor estabilidad y precisión en las mediciones, con una desviación estándar 48.11% menor en comparación con la segmentación en ocho partes. Aunque el tiempo de procesamiento se incrementó en aproximadamente 7 segundos, esta diferencia es aceptable considerando la mejora significativa en la confiabilidad del resultado.

No obstante, se reconocen diversas limitaciones, como la pérdida de detalles entre vértebras tras la ecualización, la interferencia de elementos anatómicos como costillas durante la segmentación, y restricciones técnicas del entorno de programación. A pesar de ello, los hallazgos del estudio



demuestran que es posible estandarizar la medición del ángulo de Cobb con un margen de error reducido y reproducible.

Este trabajo abre la puerta a futuras investigaciones enfocadas en el uso de imágenes tridimensionales, la correlación clínica del ángulo con variables funcionales y de calidad de vida, así como el desarrollo de tratamientos personalizados con apoyo tecnológico. También se recomienda fortalecer la capacitación del personal médico en el uso de estas herramientas digitales para mejorar la precisión diagnóstica y terapéutica en el manejo de la escoliosis idiopática.

## REFERENCES

- [1] J. K. Ortiz-Maldonado, "Anatomía de la columna vertebral. Actualidades", *Revista Mexicana de Anestesiología*, vol. 39, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2016/cmas161bh.pdf>
- [2] M. Li, Q. Nie, J. Liu, y Z. Jiang, "Prevalence of scoliosis in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis", *Front. Pediatr.*, vol. 12, p. 1399049, jul. 2024, doi: 10.3389/fped.2024.1399049.
- [3] L. I. Álvarez García De Quesada y A. Núñez Giralda, "Escoliosis idiopática", *Pediatría Aten. Primaria*, vol. 13, núm. 49, mar. 2011, doi: 10.4321/s1139-76322011000100014.
- [4] T. A. Sardjono, M. H. F. Wilkinson, A. G. Veldhuizen, P. M. A. Van Ooijen, K. E. Purnama, y G. J. Verkerke, "Automatic Cobb Angle Determination From Radiographic Images", *Spine*, vol. 38, núm. 20, pp. E1256–E1262, sep. 2013, doi: 10.1097/brs.0b013e3182a0c7c3.
- [5] S. A., P. H., Z. A., y P. B., "A Semi-Automatic Algorithm for Estimating Cobb Angle", *J. Biomed. Phys. Eng.*, vol. 9, núm. 3, pp. 317–326, jun. 2019, doi: 10.31661/jbpe.v9i3Jun.730.
- [6] S. Srinivasalu, H. N. Modi, S. SMehta, S.-W. Suh, T. Chen, y T. Murun, "Cobb Angle Measurement of Scoliosis Using Computer Measurement of Digitally Acquired Radiographs-Intraobserver and

- Interobserver Variability", *Asian Spine J.*, vol. 2, núm. 2, pp. 90–93, dic. 2008, doi: 10.4184/asj.2008.2.2.90.
- [7] Y. Pan *et al.*, "Evaluation of a computer-aided method for measuring the Cobb angle on chest X-rays", *Eur. Spine J.*, vol. 28, núm. 12, pp. 3035–3043, dic. 2019, doi: 10.1007/s00586-019-06115-w.
- [8] R. Ritter, Y. Nagasse, I. Ribeiro, C. Yamazato, F. M. D. Oliveira, y R. Kusabara, "COMPARISON OF COBB ANGLE MEASUREMENT IN SCOLIOSIS BY RESIDENTS AND SPINE EXPERTS", *Coluna/Columna*, vol. 15, núm. 1, pp. 13–16, mar. 2016, doi: 10.1590/s1808-185120161501147274.
- [9] W. Caesarendra, W. Rahmiani, J. Mathew, y A. Thien, "Automated Cobb Angle Measurement for Adolescent Idiopathic Scoliosis Using Convolutional Neural Network", *Diagnostics*, vol. 12, núm. 2, Art. núm. 2, feb. 2022, doi: 10.3390/diagnostics12020396.
- [10] S. Langensiepen *et al.*, "Measuring procedures to determine the Cobb angle in idiopathic scoliosis: a systematic review", *Eur. Spine J.*, vol. 22, núm. 11, pp. 2360–2371, nov. 2013, doi: 10.1007/s00586-013-2693-9.
- [11] C. Jin, S. Wang, G. Yang, E. Li, y Z. Liang, "A Review of the Methods on Cobb Angle Measurements for Spinal Curvature", *Sensors*, vol. 22, núm. 9, p. 3258, abr. 2022, doi: 10.3390/s22093258.
- [12] N. Chockalingam, P. H. Dangerfield, G. Giakas, T. Cochrane, y J. C. Dorgan, "Computer-assisted Cobb measurement of scoliosis", *Eur. Spine J.*, vol. 11, núm. 4, pp. 353–357, ago. 2002, doi: 10.1007/s00586-002-0386-x.
- [13] M.-H. Horng, C.-P. Kuok, M.-J. Fu, C.-J. Lin, y Y.-N. Sun, "Cobb Angle Measurement of Spine from X-Ray Images Using Convolutional Neural Network", *Comput. Math. Methods Med.*, vol. 2019, p. 6357171, 2019, doi: 10.1155/2019/6357171.
- [14] Y. Maeda, T. Nagura, M. Nakamura, y K. Watanabe, "Automatic measurement of the Cobb angle for adolescent idiopathic scoliosis using convolutional neural network", *Sci. Rep.*, vol. 13, núm. 1, p. 14576, sep. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-41821-y.
- [15] M. Fraiwan, Z. Audat, L. Fraiwan, y T. Manasreh, "Using deep transfer learning to detect scoliosis and spondylolisthesis from x-ray images", *PLOS ONE*, vol. 17, núm. 5, p. e0267851, may 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0267851.