

Prototipo para la asistencia en la detección temprana de deformaciones de columna utilizando redes neuronales profundas

Angeles Piotroski^{1*}, Damián Stetson¹, Diego A. Godoy¹ y Enrique M. Albornoz²

¹CITIC, Universidad Gastón Dachary, Posadas, Misiones

² Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional *sinc(i)*, UNL-CONICET, Santa Fe, Santa Fe

* piotroskiangeles@gmail.com

Resumen. En la actualidad, los métodos de inspección para diagnóstico de desviaciones anormales en la columna (escoliosis, cifosis, lordosis, etc.) son principalmente visuales, permiten tener un indicador temprano pero resultan ser limitadas y fuertemente influenciadas por la experticia del especialista. Esto se complementa con estudios más complejos y precisos que utilizan otras modalidades de imágenes (RX, TAC, RMN, 3D, etc.), los que necesitan software específico semi-automático. En este trabajo se presenta el estudio, diseño y desarrollo de una herramienta automática para la asistencia en el prediagnóstico y el seguimiento de desviaciones anormales corporales posteriores del cuerpo humano, a partir de fotografías obtenidas con cualquier dispositivo. Se propuso un método novedoso que utiliza imágenes de espaldas de las personas que son procesadas para obtener puntos relacionados al esqueleto de la persona a través de redes neuronales profundas. A partir de estos señaldadores anatómicos se calculan diferentes medidas que se utilizan para estimar la condición de la persona. La definición, diseño y desarrollo del trabajo estuvo acompañado por un especialista en estas patologías, y coincidió en que los resultados son prometedores aunque se requiere la realización de una mayor cantidad de pruebas.

Palabras claves: Escoliosis, Redes Neuronales Convolucionales, Prediagnóstico.

1 Introducción

La escoliosis es una curvatura lateral de la columna vertebral que puede manifestarse en cualquier momento de la vida de una persona. Estas curvaturas anormales pueden tener una apariencia corporal similar a una "S" o de "C" (figura 1). La escoliosis también puede causar que algunas vértebras de la columna roten, por lo cual la persona tendrá un hombro, un omóplato y/o un lado de la cadera por encima del otro. Alrededor del 3% de los adolescentes tienen escoliosis, de los cuales la mayor parte de los casos son leves, aunque en algunos casos las curvas de la columna vertebral aumentan con el pasar del tiempo a medida que los niños crecen [1]. Para obtener el diagnóstico, los médicos utilizan varias técnicas desarrolladas desde tiempos inmemorables (como el balance sagital de la columna planteada por Hipócrates alrededor del 460 a.C. [2]) que evalúan la gravedad de la escoliosis del paciente en caso de poseer el padecimiento.

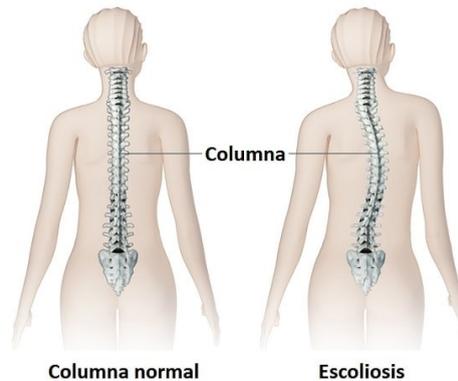


Figura 1. Columna vertebral normal y con forma de “C” (fuente <https://www.familiaysalud.es>)

Dichos diagnósticos son decisivos para el tratamiento temprano y a su vez, para justificar la ejecución de un análisis más complejo y para la planificación de un plan fisioterapéutico [2]. Entre los instrumentos más tradicionales podemos nombrar al goniómetro o la plomada, mientras que los procedimientos actuales más habituales utilizados en el cribado utilizan radiografías, tomografías computarizadas y resonancias magnéticas, entre otros. Con estas modalidades de imágenes se recurre a diferentes software que permiten el análisis semi-automático y cómputo de diferentes métricas. Algunos ejemplos son¹: *CobbMeter* para iPhone que permite calcular el ángulo de Cobb usando RX, el Oxford Cobbometer un dispositivo manual para utilizar con RX [3], *ADiBAS Posture* que es un software de medición y diagnóstico con imágenes 3D que utiliza el dispositivo Microsoft Kinect v2, y sistemas asistidos por el usuario para evaluar la postura como SAPO, APECS Pro y ACPP Core2. Finalmente, a partir de los resultados visuales y las métricas es posible inferir el estado del paciente. El ángulo de Cobb es una medida muy utilizada con la que se puede determinar la gravedad de la escoliosis (leve, moderada y grave), y con base en esto se orientan diferentes tratamientos que van desde ejercicios de fisioterapia hasta intervenciones quirúrgicas [4].

El objetivo general de este trabajo es desarrollar un sistema que permita detectar desviaciones en la columna de forma automática. Una de las motivaciones principales es la de utilizar la menor cantidad de hardware posible y lograr la portabilidad del sistema, es por eso que se consideró utilizar sólo una fotografía. Los primeros trabajos que dieron respuesta a esto generaron sistemas semi-automáticos (asistidos por el especialista) basados en fotogrametría [5,6]. De forma sencilla se puede decir que su funcionamiento consiste en obtener la imagen de la persona, marcar manualmente determinados puntos en el cuerpo y obtener determinadas métricas con el software. Con el advenimiento de métodos computacionales más potentes basados en redes neuronales convolucionales, es posible pensar en realizar métodos completamente automáticos. Por una parte, se ha avanzado en automatizar los análisis de las deformaciones espinales y la medición de ángulos en RX [7,8]. Existen algunos

¹ Disponibles en <http://prodalis.fr/CobbMeter/>, <https://apecs.newbodytechnology.com/>, <http://physicaltech.com/>, <https://acpp-core2-posture-measurement.en.aptoide.com/>

trabajos que utilizan imágenes y redes neuronales profundas para la detección de escoliosis. En [9] utilizan imágenes de las espaldas descubiertas de personas, en un primer paso detectan las espaldas con un modelo faster-RCNN y luego estiman la severidad de la curvatura a partir de un mapa de calor generado con una Resnet. Explican que logran resultados más precisos que las estimaciones de los especialistas en casos con una curva $\geq 20^\circ$, y clasificación de la gravedad en 2 y 4 clases. En [10] utilizan imágenes obtenidas con un sensor de profundidad 3D y una CNN para calcular el ángulo de Cobb.

En este trabajo se propone un método novedoso que a partir de imágenes de espalda de una persona estima un esqueleto y aproximando señaladores anatómicos computa ángulos que permiten estimar la gravedad de las anomalías en la espina dorsal. El resultado final es un primer prototipo que implementa este sistema, por lo que no está disponible para ser utilizado sin la supervisión de un profesional.

2 Materiales y métodos

A continuación se presentan los métodos y herramientas que se seleccionaron para el desarrollo del sistema. Se seleccionó Python como lenguaje de desarrollo porque se consideró la mejor opción para proyectos que incluyen investigación y desarrollo, sumado al hecho de que existe una gran cantidad de librerías muy potentes que permiten ahorrar tiempo durante el desarrollo, e integrarlas con análisis de datos e inteligencia computacional. La codificación se realizó en Visual studio code, ya que permite realizar pruebas unitarias, depuración del código y brinda un eficiente tiempo de ejecución y respuesta. Particularmente, para la parte de métodos para la detección de esqueletos de las personas se evaluaron varias alternativas basadas en redes neuronales profundas debido a su gran robustez. El entrenamiento de una red desde cero fue descartado debido a la gran demanda de datos y cómputo que conlleva, entonces se evaluaron diferentes modelos ya entrenados²: *TensorFlow-Pose*, *Open Pose based neural network*, *OpenVino.ai Human Pose Estimation* y *MediaPipe Pose*. Se optó por MediaPipe Pose que es una solución de Machine Learning para el seguimiento de la pose del cuerpo de alta fidelidad, que infiere treinta y tres puntos de referencia de todo el cuerpo (pueden verse como la representación de un esqueleto) a partir de una foto.

Luego de las interacciones con el especialista, se decidió utilizar 3 señaladores anatómicos (SA) representados por aquellos puntos asociados a los hombros, los codos y ambos lados de la cintura (figura 2a). Los SA se unen con una línea y se calcula el ángulo respecto de la horizontal, y la “gravedad” estimada (‘diagnostico’) estará determinada por el ángulo mayor (v_{max}) de acuerdo a

$$\text{diagnostico} = f(v_{max}) = \begin{cases} \text{“leve”} & \text{si } 0.5 < v_{max} \leq 1.5 \\ \text{“moderada”} & \text{si } 1.5 < v_{max} < 4 \\ \text{“grave”} & \text{si } v_{max} \geq 4 \end{cases}$$

² Más información disponible en: <https://www.tensorflow.org/>, <https://docs.openvino.ai/>, <https://modelplace.ai/>, <https://developers.google.com/mediapipe/>

4

Se decidió incluir a las orejas en los SA y así simular el “método de la plomada” y que su presentación visual sirva para identificar si la postura está equilibrada o desequilibrada. Entonces, la línea central comienza en el punto medio entre las dos orejas del paciente y finaliza en la cintura, lo que puede servir para identificar una desviación que comience desde las vértebras cervicales. Durante el desarrollo del sistema se consideró interesante incorporar el “triángulo de talla” que ayuda a identificar la simetría de la persona, y se estima a partir de comparar las distancias de los codos respecto al segmento de recta central con lo que se determina de qué lado se forma el triángulo. Un resultado gráfico puede verse en la figura 2b.

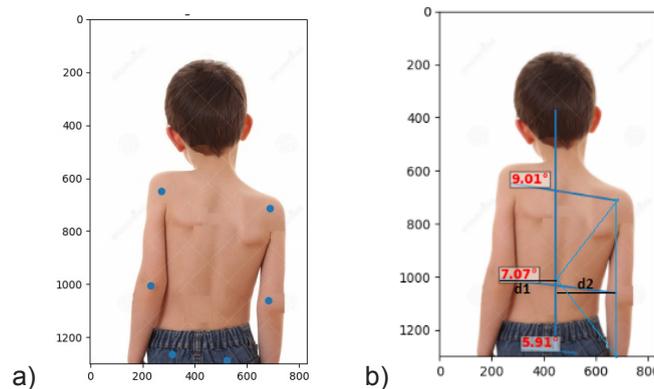


Figura 2. Resultados gráficos obtenidos por el sistema

3 Experimentos y resultados

Para realizar los experimentos se recolectaron más de 200 imágenes, de internet y generadas por nosotros simulando las posturas que son congruentes con las de un paciente con escoliosis, todo fue validado y etiquetado por el kinesiólogo. En la Figura 3 se presentan a modo de ejemplo algunos resultados obtenidos con el sistema, ilustrando las 3 condiciones: leve (A), moderada (B) y grave (C). En esta etapa se evaluó la factibilidad de la propuesta y que el diseño del sistema de medición y clasificación de gravedades coincida con las que tiene el especialista.

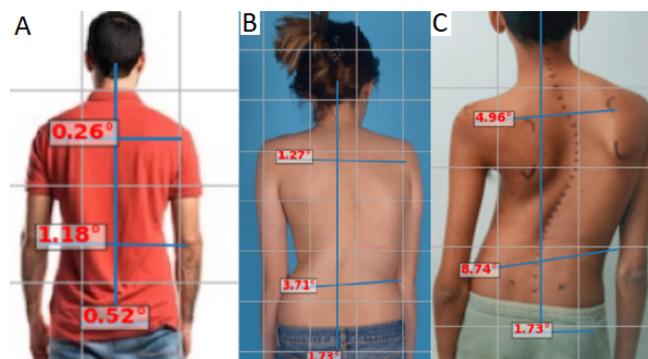


Figura 3. Resultados para los 3 tipos de condiciones.

La parte automática del método debe ser revisada ya que existen casos en que las condiciones de la fotografía afectan mucho a los cálculos de los ángulos.

4 Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se presentaron algunos avances en el desarrollo de un método novedoso para la estimación de desviaciones en la columna vertebral a partir del cómputo de ángulos entre señaladores anatómicos. Se propuso la utilización de redes neuronales profundas para la automatización del método. Las imágenes utilizadas y los resultados fueron validados con un especialista pero se requiere realizar pruebas más exhaustivas. Los resultados son prometedores ya que se comprobó que se aproximan a las evaluaciones de los especialistas con métodos tradicionales.

Como trabajos futuros se pretende desarrollar un método que combine los resultados de MediaPose con mapas de calor generados con ResNet [9]. Además, se pretende desarrollar una CNN para identificar las escápulas y las espinas ilíacas, lo que lograría una estimación más precisa de los señaladores anatómicos.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al kinesiólogo-especialista Lic. Ricardo R. Rodríguez por su colaboración, a UGD (bajo Proyecto de Investigación 2022 A11004) y a UNL (bajo CAI+D UNL 2020 50320220100159LI).

Referencias

1. Romano M, et al. Exercises for adolescent idiopathic scoliosis. Cochrane Database of Systematic Reviews, Issue 8. Art. No.: CD007837. John Wiley & Sons Ltd (2012).
2. Weiss, Hans-Rudolf, and Manuel Rigo. Fisioterapia para la escoliosis basada en el diagnóstico. Editorial Paidotribo (2004).
3. ELFIKY, Tarek, et al. Oxford cobbometer versus computer assisted-software for measurement of cobb angle in adolescent idiopathic scoliosis. Neurospine, vol. 17 (1) p. 304. (2020)
4. Ortopedia Plantia, "Ángulo de Cobb y Escoliosis," <https://plantiaortopedia.com/angulo-de-cobb-y-escoliosis/>, último acceso 19/04/2023
5. Penha, Patrícia Jundi, et al. "Posture alignment of adolescent idiopathic scoliosis: photogrammetry in scoliosis school screening." Journal of manipulative and physiological therapeutics 40(6), 441-451 (2017)
6. Aroeira, Rozilene Maria C., et al. "Non-invasive methods of computer vision in the posture evaluation of adolescent idiopathic scoliosis." Journal of bodywork and movement therapies 20(4), 832-843 (2016)
7. Galbusera, Fabio, et al. "Fully automated radiological analysis of spinal disorders and deformities: a deep learning approach." European Spine Journal 28, 951-960 (2019)
8. Alharbi, Roa H., et al. "Deep learning based algorithm for automatic scoliosis angle measurement." In: 3rd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS). IEEE (2020).
9. YANG, Junlin, et al. Development and validation of deep learning algorithms for scoliosis screening using back images. Communications biology, vol. 2 (1), p. 390 (2019)
10. Kokabu, Terufumi, et al. "An algorithm for using deep learning convolutional neural networks with three dimensional depth sensor imaging in scoliosis detection." The Spine Journal 21(6), 980-987 (2021)