

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

Departamento de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Desarrollo de una herramienta computacional para el diagnóstico y seguimiento del proceso de corrección de la escoliosis.

Autora: Yuliet Gómez Machado

Tutora: Dra. CT. Ing. Kirenia Abreu González.

Dr. CT. Ing. Yamill Campos Pérez

Santa Clara

2017

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a:

Mis padres, por estar siempre ahí, a mi lado apoyándome y brindándome su cariño.

Mi tutora y amiga, la Dra. CT. Ing. Kirenia Abreu González por ser quien realmente con mucho aprecio y cariño dedicó días conmigo, un amigo siempre está ahí, y tú lo hiciste muy bien, gracias por haber estado en las buenas y malas.

Mi tutor, el Dr. CT. Ing. Yamill Campos Pérez

Mi amiga Irma Teoslia Mesa Fleites, a quien quiero como si fuera mi hermana por siempre estar ahí para mí en las buenas y malas.

Mis familiares y amigos.

Todos los que de una forma u otra han colaborado para la realización de este trabajo.

A todos: ***¡MUCHAS GRACIAS!***

DEDICATORIA

A mis padres, porque siempre soñé con poderle hacer este regalo.

A mi esposo y amigo, por creer en mí, por creer que yo si podía.

A todos mis familiares.

A todos ellos les dedico mis esfuerzos porque son parte de mi vida.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE SOBRE LA ESCOLIOSIS.....	4
1.1 Introducción	4
1.2 Planos y ejes en que se divide el cuerpo humano.	4
1.3 Anatomía y biomecánica de la columna.	6
1.4 Desviaciones de la columna vertebral.	8
1.4.1 Clasificación de los tipos de curvas en las escoliosis idiopáticas.	11
1.5 Conclusiones parciales:	13
CAPÍTULO II: MÉTODOS DE MEDICIÓN EN BIOMECÁNICA.....	14
2.1 Clasificación de los métodos de medición.....	14
2.2 Métodos de medición en biomecánica.	14
2.2.1 Antropometría.....	14
2.2.2 Cinemetría o Videogrametría.	15
2.2.3 Dinamometría	16
2.2.4 Electromiografía.	17
2.2.5 Fotogrametría.....	17
2.3. Software utilizados en el estudio de la biomecánica del cuerpo humano.	18
2.3.1. Abiomo.....	19
2.3.2 Kinovea	19
2.3.3 SkillSpector.....	20
2.3.4 Human.....	20
2.3.5 CorporisPro	21

2.3.6 ADiBAS Posture	21
2.4 Conclusiones parciales	23
CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO CLÍNICO DE LA ESCOLIOSIS.....	24
3.1 Introducción	24
3.2 Instrumentos de medición empleados para el diagnóstico clínico de la escoliosis.	24
3.3 Métodos empleados en el diagnóstico clínico de la escoliosis	25
3.3.1 Test de Adams.	26
3.3.2 Desnivel de los hombros	27
3.3.3 Descentrado del tronco o maniobra de la plomada.....	28
3.3.4 Estudio radiológico.	29
3.4. Descripción y uso de la herramienta computacional implementada para el diagnóstico y seguimiento de la corrección de la escoliosis.	31
3.4.1. Pasos para el uso de la aplicación.....	32
3.4.1.1. Método de la plomada.....	32
3.4.1.2 Método del contorno	33
3.4.1.3. Asimetría del triángulo de la talla.....	35
3.4.1.4. Nivel hombro-cadera	36
3.4.1.5. Test de Adams	36
3.5. Conclusiones parciales	37
CONCLUSIONES:	39
RECOMENDACIONES:	41
BIBLIOGRAFÍA:	42

Resumen

En el presente trabajo se realiza un estudio de la biomecánica de la columna vertebral y las principales desviaciones que se presentan en la misma. Se analizan los diferentes métodos de medición en biomecánica y los software utilizados en el estudio de la biomecánica del cuerpo humano. Se realiza un análisis de los instrumentos de medición y los métodos empleados para el diagnóstico clínico de la escoliosis. Como resultado del trabajo se obtuvo una herramienta computacional, basada en la técnica de la fotogrametría la cual permite a los especialistas determinar las desviaciones de la columna de una forma rápida y precisa empleando varios métodos de diagnóstico. Mediante el uso de la herramienta propuesta se puede realizar un análisis cuantitativo de los avances del paciente luego del tratamiento. Además de los métodos tradicionales reportados en la literatura científica para el diagnóstico clínico de la escoliosis se desarrolló e implementó un nuevo método llamado método del contorno.

Summary

In the present paper of the biomechanics of the spine and the main deviations are presented in the same one. We analyze the different measurement methods in biomechanics and the software used in the study of the biomechanics of the human body. An analysis of the instruments of measurement and the methods used for the clinical diagnosis of scoliosis is carried out. As a result of the work, a computational tool was obtained, based on the technique of photogrammetry, which allows specialists to determine deviations of the column quickly and accurately using various diagnostic methods. Using the proposed tool, a quantitative analysis of the patient's progress after treatment can be performed. In addition to the traditional methods reported in the scientific literature for the clinical diagnosis of scoliosis, a new method called the contour method was developed and implemented.

Introducción

Actualmente existe una emergente necesidad en disponer de sistemas y plataformas que potencien estudios en diferentes ámbitos de investigación, que permitan establecer y configurar una serie de experimentos para explorar en aspectos relativos al cuerpo humano, mediante un análisis biomecánico.

La Biomecánica es una disciplina que estudia los sistemas biológicos (seres vivos) mediante la aplicación de las Leyes y Principios de la Mecánica Clásica o Newtoniana. **(Hainaut, 1992)**

A pesar de las distintas clasificaciones que se le han podido dar a la Biomecánica esta engloba cuatro grandes áreas, como son: Biomecánica médica, Biomecánica deportiva, Biomecánica ocupacional y Biomecánica industrial **(Pantoja, 2015)**.

Todo estudio biomecánico depende de la determinación de los parámetros mecánicos, es por eso, que las técnicas de medición de los parámetros geométricos y físicos del cuerpo humano son esenciales para llevar a cabo estudios biomecánicos. Los métodos utilizados en biomecánica para realizar mediciones de determinados parámetros físicos, geométricos o mecánicos son: antropometría, cinemetría o videogrametría, dinamometría, electromiografía y fotogrametría.

La escoliosis es una deformidad de la columna que se presenta como una curva estructural que determina un grado variable de deformidad del tronco, la forma más común es la escoliosis idiopática del adolescente que se desarrolla en la columna, en la fase de crecimiento y puede tener importantes efectos cosméticos y funcionales **(Pantoja, 2015)**.

Es muy importante diagnosticar la escoliosis precozmente, y comenzar un tratamiento de fisioterapia lo antes posible, para disminuir su avance e incluso llegar a corregirla, de forma parcial o total, evitando así el tratamiento quirúrgico, por lo que el seguimiento clínico y radiológico seriado es clave en la decisión de tratamiento **(Vázquez, 2017)**.

Debido al bloqueo económico impuesto por los Estados Unidos, nuestro país presenta dificultades para la compra en el exterior y por tal motivo en ocasiones los servicios médicos se han visto afectados. Esto trae consigo que no se cuenta con los medios necesarios para la realización de un seguimiento radiológico seriado de niños con escoliosis, lo cual conlleva a que sea más difícil su tratamiento.

Mediante la fotogrametría es posible determinar las desviaciones de la columna vertebral a partir de una fotografía digital, esta técnica brinda la posibilidad de un mejor seguimiento a niños con este padecimiento mediante tecnologías no invasivas e inocuas, aportando además un ahorro económico al país.

Problema científico: ¿Cómo desarrollar una herramienta computacional que permita el diagnóstico y el seguimiento del proceso de corrección de la escoliosis, empleando técnicas inocuas y no invasivas?

Por lo que se puede plantear la siguiente **hipótesis**:

“Es posible desarrollar una herramienta computacional que permita el diagnóstico y el seguimiento del proceso de corrección de la escoliosis, empleando técnicas inocuas y no invasivas como la fotogrametría”.

Por lo que se propone como **Objetivo General**: **desarrollar una herramienta computacional mediante la cual se pueda diagnosticar y dar seguimiento al proceso de corrección de la escoliosis, empleando como técnica la fotogrametría.**

Para dar cumplimiento al objetivo general, se trazaron los siguientes **objetivos específicos**:

- Realizar un estudio del estado del arte sobre la escoliosis.
- Realizar un estudio de los métodos de medición en biomecánica.
- Realizar un análisis de los software más utilizados en biomecánica, que emplean la técnica de fotogrametría.
- Analizar los diferentes métodos empleados para el diagnóstico clínico de la escoliosis.
- Desarrollar una herramienta computacional que permita el diagnóstico y el seguimiento del proceso de corrección de la escoliosis, empleando técnicas inocuas y no invasivas.

Justificación:

La investigación desarrollada provee una herramienta que permite realizar el diagnóstico y el seguimiento del proceso de corrección de la escoliosis, empleando técnicas inocuas y no invasivas.

Viabilidad de la investigación:

La investigación es viable ya que se cuenta con profesionales y estudiantes de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas capacitados y profesionales del Hospital Pediátrico Universitario "José Luis Miranda" para llevar a cabo la investigación.

Estructura del trabajo.

El trabajo de diploma presenta un resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

Capítulo 1: Se presenta una fundamentación teórica sobre la biomecánica y las principales desviaciones de la columna vertebral.

Capítulo 2: Se analizan los diferentes métodos de medición en biomecánica y los softwares utilizados en el estudio de la biomecánica del cuerpo humano.

Capítulo 3: Se realiza un análisis de los instrumentos de medición y los métodos empleados para el diagnóstico clínico de la escoliosis, así como la descripción y uso de la herramienta computacional desarrollada para el diagnóstico y seguimiento de la corrección de la escoliosis.

Capítulo I: Estado del arte sobre la escoliosis.

1.1 Introducción

Las deformidades de la columna son importantes de reconocer debido a dos hechos principales: en general, tienden a agravarse con el crecimiento y cuando alcanzan un grado severo, su tratamiento suele ser complejo. Si bien aquellas curvas, incluso severas, suelen ser llamativamente bien toleradas por los niños y adolescentes que las presentan, su evolución natural implica un riesgo significativo de compromiso de la calidad de vida del paciente como adulto que justifica su corrección quirúrgica. **(Pantoja, 2015)**

1.2 Planos y ejes en que se divide el cuerpo humano.

Para estudiar el cuerpo humano, desde el punto de vista biomecánico, es necesario establecer un sistema de referencia, para lo cual son empleados los planos y ejes. (Ver figura 1.1) **(Farez, 2015)**.

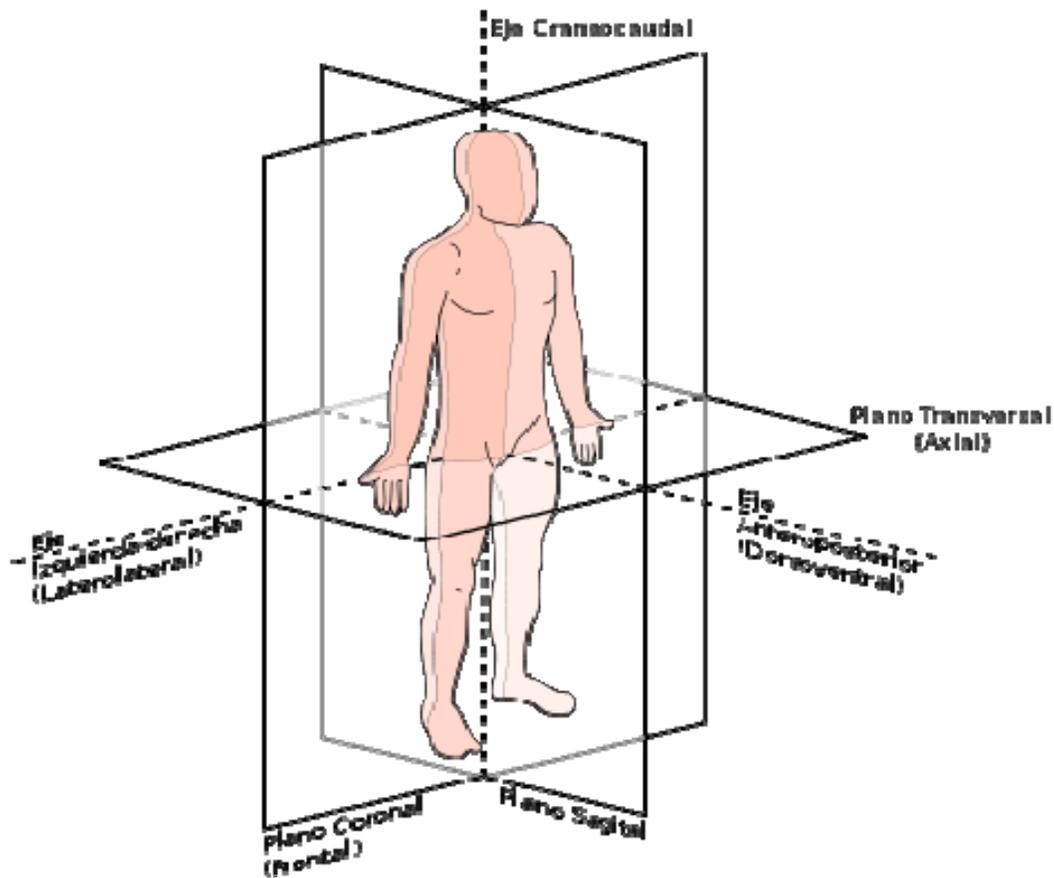


Figura 1.1 Plano anatómico del cuerpo humano

El estudio se inicia con el cuerpo en lo que se conoce como posición anatómica estándar. La persona debe estar de pie, con la cabeza y el cuello erecto, los brazos a ambos lados del cuerpo (extendidos hacia el piso y con las palmas de las manos vueltas hacia delante), y la mirada hacia el frente. Las piernas tienen que estar extendidas y ligeramente separadas, con los pies y los tobillos también extendidos. **(Bravo, 2012)**

Los principales planos anatómicos son; el Plano Sagital que divide el cuerpo en mitad derecha y mitad izquierda, mientras que el Plano Frontal o Coronal, divide el cuerpo en mitad anterior y mitad posterior. (Ver figura 1.2)

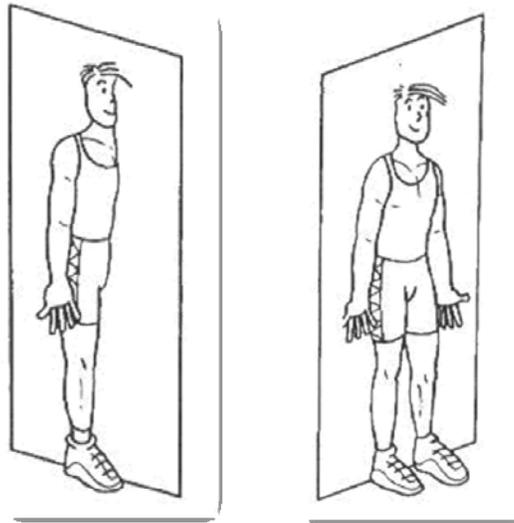


Figura 1.2 a) Plano Sagital b) Plano Frontal o Coronal

El plano transversal divide el cuerpo en parte superior e inferior. (Ver figura 1.3)



Figura 1.3 plano transversal

La posición anatómica puede estudiarse de acuerdo a tres ejes: el eje craneocaudal o vertical (de la cabeza a los pies), el eje laterolateral o transversal (de lado a lado) y el eje anteroposterior (de adelante hacia atrás). (Ver figura 1.1)

1.3 Anatomía y biomecánica de la columna.

La columna vertebral, también denominada raquis, es una estructura ósea en forma de pilar que soporta el tronco, compuesta de diferentes componentes pasivos y activos. **(García, 2012)**

Tiene una estructura lineal, formada por 33-34 vértebras, alternadas con discos fibrocartilagosos, unido todo por ligamentos. (Ver figura 1.4)

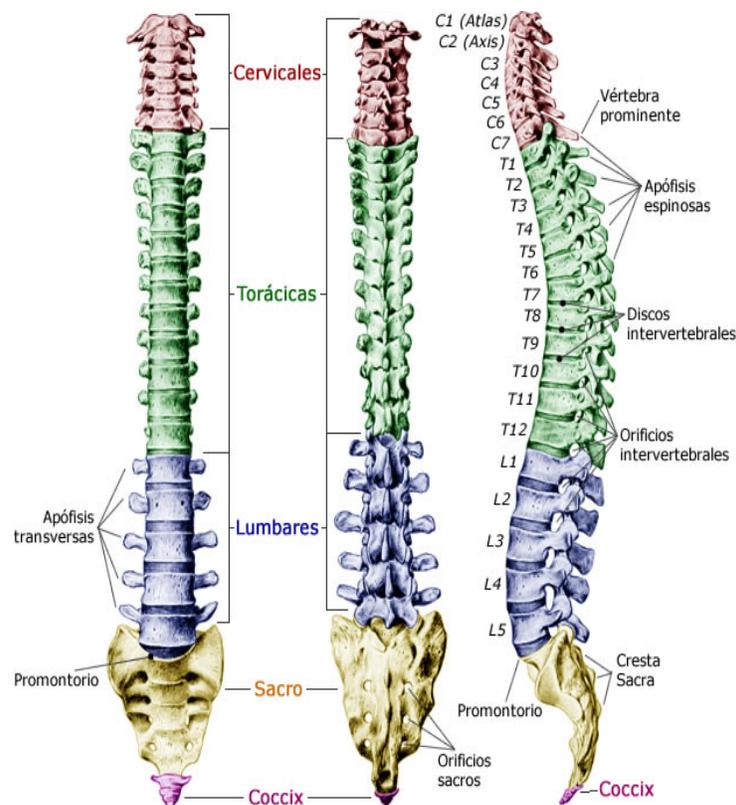


Figura 1.4 Estructura de la columna vertebral.

Las vértebras cervicales se denominan con la letra C y van desde C₁ hasta C₇. Las torácicas se denominan con la letra T y van desde T₁ hasta T₁₂ y las lumbares con la letra L y van desde L₁ hasta L₅, el sacro que está formado por cinco vértebras soldadas en el extremo inferior de la columna vertebral denominadas con la letra S y que forma la parte posterior de la pelvis y el coxis que es un hueso formado por la unión de las 4 vértebras inferiores de la columna vertebral y que se articula con el hueso sacro.

En el plano sagital, la columna vertebral presenta 4 curvas (Ver figura 1.5):

- Curvatura cervical (formada por las 7 vértebras cervicales).
- Curvatura torácica (formada por las 12 vértebras torácicas).
- Curvatura lumbar (formada por 5 vértebras lumbares).
- Curvatura sacra (formada por el sacro y el coxis).

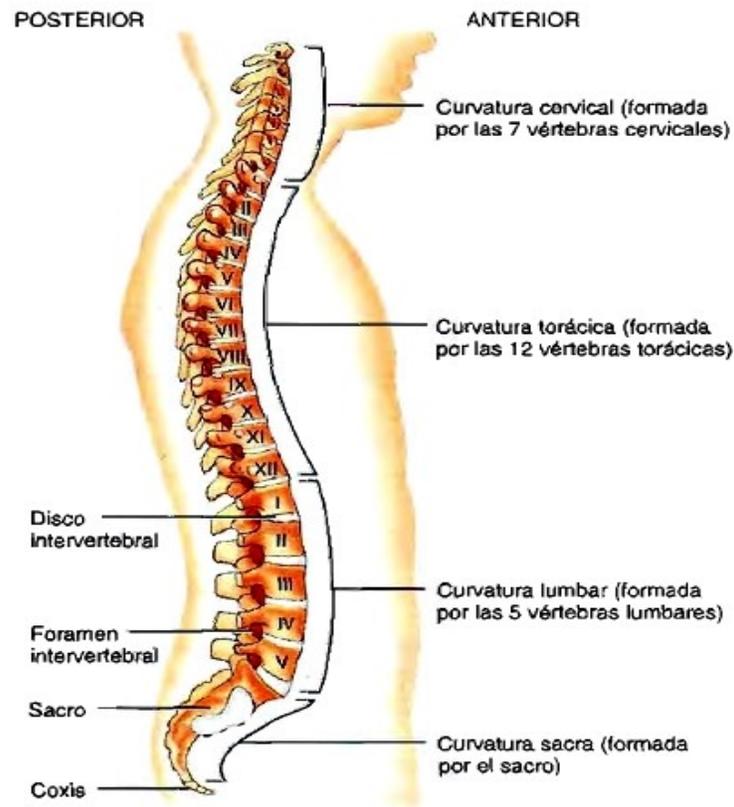


Figura 1.5 Vista derecha que muestra las cuatro curvas normales de la columna vertebral. La estabilidad raquídea la aportan; el disco intervertebral, elementos osteoligamentosos del arco posterior y anterior y la musculatura intrínseca del raquis (es la más importante). La columna tiene tres características; rigidez para soportar cargas, proteger las estructuras internas y dar una buena movilidad y flexibilidad. La misma realiza movimientos de flexión, extensión, flexiones laterales y rotaciones, con objetivo de obtener una visión binocular, que es necesaria en el ser humano, y poder obtener una interpretación consciente de los hechos y situaciones que se producen a su alrededor (**Bravo 2012**).

La rotación es el movimiento de la parte anterior del tronco de modo que él quede para la derecha o la izquierda, mientras tanto la parte posterior queda para el lado contrario. (Ver figura 1.6)

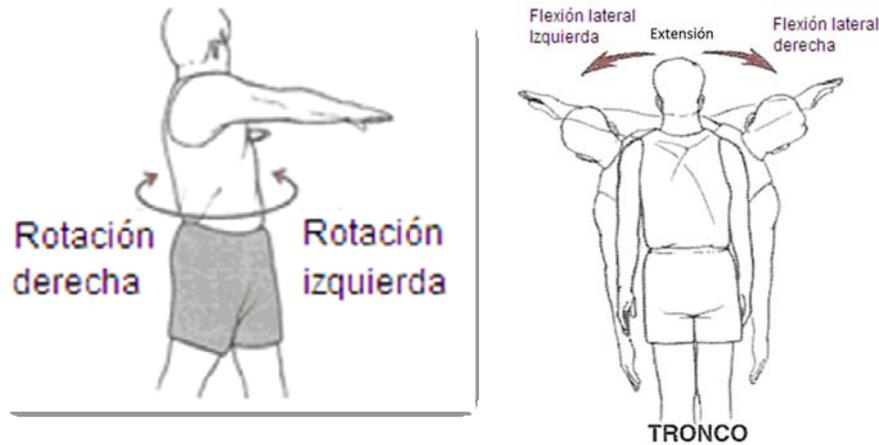


Figura 1.6 a) Movimiento de rotación b) Movimiento de flexión- extensión

Flexión lateral derecho e izquierdo, cuando la cabeza o el tronco se inclinan para un lado o para el otro, se denomina flexión lateral. Si el lado derecho de la cabeza o el tronco apuntan hacia abajo, el movimiento es llamado flexión lateral derecha, y viceversa. Ver figura 1.7)

Cuando se produce una alteración en cualquiera de estos elementos de la columna, las condiciones estáticas cambian, provocando que cualquier movimiento sea perjudicial, la unidad funcional presenta biomecánicamente dos estructuras que actúan sinérgicamente en todos los movimientos, las articulaciones facetarias y los discos intervertebrales. La degeneración de uno de ellos produce la alteración del otro (**Kapandji, 2006**).

El raquis lumbar tiene que soportar el peso de los segmentos superiores y del tronco, transmitiendo las fuerzas compresivas y de cizalla a la parte inferior durante la realización de las actividades de la vida diaria.

En el raquis lumbar se pueden realizar movimientos de flexión, extensión e inclinación lateral, pero es limitada la rotación.

El raquis dorsal desempeña fundamentalmente un papel de protección del eje medular. Biomecánicamente, el raquis torácico es más estable que el lumbar por sus estructuras óseas circundantes (costillas) y la musculatura.

1.4 Desviaciones de la columna vertebral.

Existen dos grandes grupos de desviaciones de la columna vertebral: las del plano lateral (sagital) y las del plano frontal (coronal). Dentro del plano frontal se encuentra la escoliosis. Mientras que la cifosis y la lordosis son vistas desde un plano medial (lateral). Cuando la curva fisiológica se torna patológica se denomina hipercifosis.

La cifosis se caracteriza por el aumento de la convexidad hacia atrás; se centran sobre todo en la zona dorsal y lumbar, pero menos en esta última. La cifosis anatómica es de 30°– 40°; por encima de este margen se denomina cifosis patológica **(Kim, 2010)**.

Existen dos tipos de cifosis:

- La cifosis no estructuradas, son aquellas desviaciones cifóticas en el segmento torácico que no se asocian a la deformidad de las vértebras suponen el 70% de las cifosis, pueden ser esenciales o idiopáticas que se adquiere con la edad o posturales o dorso redondo postural que se adquieren por tener una determinada postura, la cual puede ser corregida espontáneamente.
- La cifosis estructurada, son aquellas donde existen alteraciones de las vértebras que no se corrigen espontáneamente, o si se trata de hacerlo nunca se logrará corregirlas completamente. Existe cierta rigidez y presentan alteraciones morfológicas:

Las desviaciones en el plano lateral se identifican con el nombre de escoliosis y se caracteriza por presentar una curvatura lateral en el plano frontal o coronal.

La escoliosis (en griego: skoliōsis, de skolios, "torcido") es la curvatura de la columna vertebral, que se presenta en forma de "S" o de "C". Generalmente se clasifica en congénita (causada por anomalías vertebrales presentes al nacer), idiopática (de causa desconocida, sub-clasificada a su vez como infantil, juvenil, adolescente o adulto según la fecha de inicio que se produjo) o neuromuscular (habiéndose desarrollado como síntoma secundario de otra enfermedad espina bífida, parálisis cerebral, atrofia muscular espinal o un trauma físico **(WIKIPEDIA, 2017)**).

Otros autores plantean **(Navarrete, 2012)** que la escoliosis es la desviación lateral de la columna vertebral, asociada a rotación de los cuerpos vertebrales y alteración estructural de ellos, esta desviación debe superar los 10°.

Se clasifica en:

De una curva, en C o descompensada.

De dos curvas, en S o compensada.

Generalmente las escoliosis comienzan siendo una curva, para luego compensarse para mantener la horizontalidad de la visión, por lo que una escoliosis de una curva tiene un origen más reciente que una escoliosis compensada.

En la escoliosis no estructurada, o falsas escoliosis, el paciente presenta un miembro a distinta altura que el otro debido a la inclinación de la columna; esta disimetría debe corregirse, o se convertirá en una escoliosis estructurada. La curva se acentúa con la flexión. La escoliosis estructurada o escoliosis verdaderas presenta deformidad de vértebras, discos, y en consecuencia de costillas, esternón existe un componente de rotación, y no es posible la autocorrección.

La escoliosis estructurada se puede clasificar de la siguiente manera:

- Idiopáticas: son las más frecuentes (70%).
- Congénitas: por defectos de formación vertebral, defectos de segmentación vertebral o defectos mixtos (2º en orden de frecuencia).
- Neuromusculares (neuropáticas o miopáticas).
- Escoliosis de la neurofibromatosis.
- Escoliosis en distrofias y displasias (acondroplasia, enfermedad de Marfan, osteogénesis imperfecta).
- Otras escoliosis (postraumáticas, procesos infecciosos, tumores, enfermedades metabólicas).

Clásicamente se denomina a la escoliosis idiopática (EI) como una deformidad tridimensional del raquis asociándose la postero- flexión, latero-flexión y rotación vertebral (**Ramírez 2011**).

La escoliosis idiopática son las más frecuentes, el 70%. Según la edad de aparición se clasifican en:

- ✓ Infantiles, del nacimiento a los 3 años. 5 -10%
- ✓ Juveniles, que son las más frecuentes junto con las adolescentes. De los 4 a los 10 años
- ✓ Adolescentes, a partir de los 11 años

La escoliosis tiene un riesgo de progresión de 1-10º en un año; cuanto más tiempo le quede al individuo por crecer, es decir, cuanto más alejado del fin de crecimiento del esqueleto, mayor riesgo de progresión y aumento de grado.

La escoliosis idiopática del adolescente (su forma más común) tiene una incidencia estimada de alrededor de 4 x 1000 habitantes. De esta población, aproximadamente un 1% será portador de una curva severa (tabla 1.1) (**Pantoja, 2015**).

Tabla 1.1 Etiología de la escoliosis

CAUSAS	
Idiopáticas	
Infantil	Menores de 3 años
Juvenil	4-10 años
Adolescente	Mayores de 10 años
Congénitas	
Osteogénica	Fallo en la formación y/o segmentación vertebral
Neurogénica	Malformación de Chiari, diastermatomielia,iringomielia
Neuromuscular	
Neurogénica	Parálisis cerebral, disrafismo espinal
Miogénica	Distrofia muscular
Del desarrollo	
Displasia ósea	Acondroplasia, mucopolisacaridosis
Disóstosis	Neurofibromatosis tipo 1, osteogénesis imperfecta...
Secundaria	Tumores, infección, traumatismos

La escoliosis es una enfermedad que puede permanecer estable o, por el contrario, ir progresando a lo largo del tiempo aumentando el grado de curvatura. Su evolución depende de la causa adyacente en la escoliosis secundaria y del grado de maduración ósea en la escoliosis primaria (**Gil Sánchez**).

El especialista tiene que diferenciar a los pacientes con escoliosis estable o mínimamente progresiva, que no requerirán tratamiento sino únicamente revisiones periódicas de control, de aquellos con riesgo de progresión, que necesitarán un tratamiento ortopédico o quirúrgico.

1.4.1 Clasificación de los tipos de curvas en las escoliosis idiopáticas.

Existen varios tipos de curvas en la escoliosis idiopática que dependen del lugar donde está situada en sí. Estas se clasifican de la siguiente manera (**Loroño, 2000**):

- Escoliosis dorsal o curva torácica principal simple. La curva se extiende desde T4, T5 o T6, hasta T11, T12, L1 o L2.
- Escoliosis dorso-lumbar o toraco-lumbar principal simple. Esta curva es muy flexible y se extiende desde T8, T9, T10, hasta L3.
- Escoliosis lumbar o curva lumbar principal simple. El vértice está situado en la columna lumbar L2, la vértebra terminal superior puede ser dorsal T11 o T12 y con mayor frecuencia L1, la vértebra terminal inferior es L4 o L5. Existe una curva fraccionada corta entre L4, L5 y sacro.

- Escoliosis de doble curva, dorsal escoliosis de doble curva, dorsal derecha y lumbar izquierda. La curva torácica es casi siempre convexa a la derecha y el vértice está en T7 o T8, la vértebra terminal superior es T4, T5 o T6, siendo la vértebra terminal inferior T10, T11 o T12. La curva lumbar izquierda presenta su vértice en L1, L2 y se extiende a L4 o L5. Entre ambas curvas existe siempre una vértebra en rotación neutra, por lo que se le puede denominar vértebra de transición. (Ver figura 1.7)

Otros tipos de curvas son (Ver figura 1.7):

- Escoliosis dorsal.
- Escoliosis dorso-lumbar.
- Escoliosis lumbar.
- Escoliosis doble curva.
- Escoliosis cérvico-dorsal.

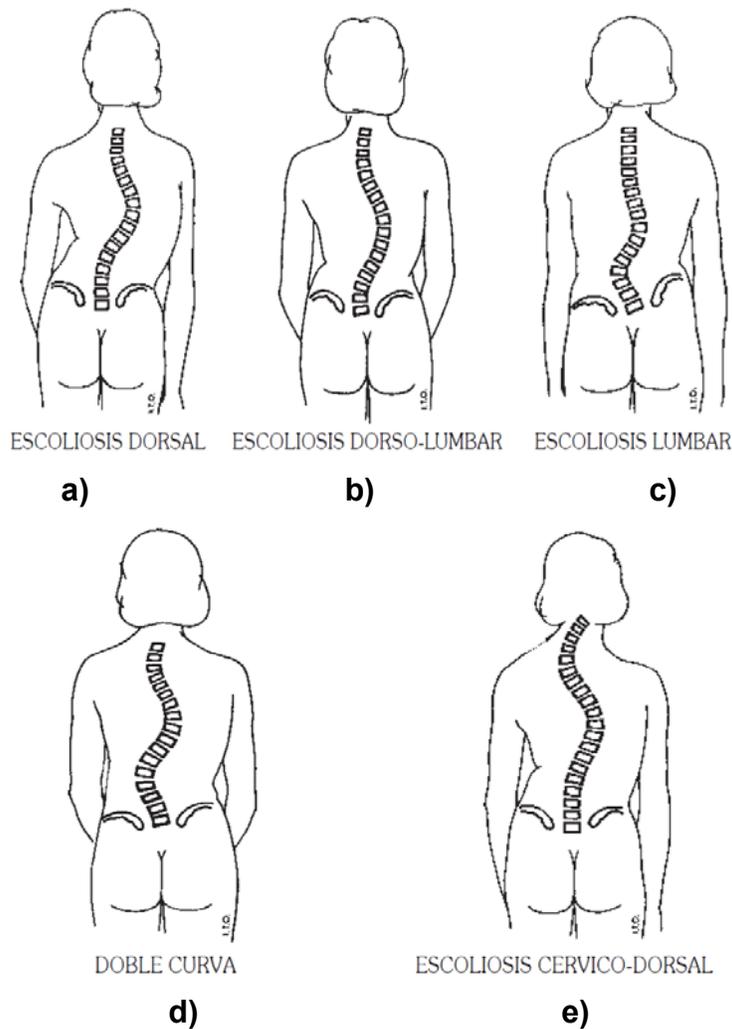


Figura 1.7 Tipos de la escoliosis

1.5 Conclusiones parciales:

- Para el estudio biomecánico del cuerpo humano es necesario establecer un sistema de referencia, para lo cual son empleados tres planos y ejes. El plano sagital, coronal (frontal) y transversal y los ejes craneocaudal o vertical, el eje laterolateral o transversal y anteroposterior.
- Las desviaciones de la columna vertebral se clasifican en dos grandes grupos, las del plano lateral (cifosis) y las del plano frontal (escoliosis).
- La cifosis se caracteriza por el aumento de la convexidad hacia atrás; se centran sobre todo en la zona dorsal y lumbar. La cifosis anatómica es de 30°– 40°; por encima de este margen se denomina cifosis patológica.
- La escoliosis se caracteriza por presentar una curvatura lateral en el plano frontal o coronal y tiene un riesgo de progresión de 1-10° en un año. La escoliosis idiopáticas es más frecuente en niños de 5-10 años y en los adolescentes.
- La columna vertebral está formada por 33 vértebras divididas en 5 partes: 7 cervicales, 12 torácicas, 5 lumbares, 5 sacras y 4 del cóccix; y entre sus funciones esta soportar cargas, proteger las estructuras internas y dar una buena movilidad y flexibilidad al cuerpo humano.

Capítulo II: Métodos de medición en biomecánica.

2.1 Clasificación de los métodos de medición.

Para la realización de estudios biomecánicos, para la determinación de los parámetros cinéticos y cinemáticos se emplean diferentes métodos de medición los cuáles generalmente pueden ser clasificados en las siguientes categorías:

- Teórico-deductivos: son los métodos basados solamente en las leyes físicas y relaciones matemáticas.
- Empírico-inductivos: son los métodos basados en relaciones estadísticas y relaciones experimentales.
- Los métodos combinados: son aquellos donde se combinan los dos métodos anteriores, en función del problema científico que se estudia.

Los procedimientos de medición en biomecánica se pueden clasificar también en las siguientes categorías:

- **Procedimientos Mecánicos** – determinación de los parámetros mediante observación directa y que no se alteran o cambian en el tiempo muy rápidamente.
- **Procedimientos Electrónicos** – determinación de parámetros mecánicos o físicos mediante el uso de instrumentos electrónicos. Este método es muy usado cuando el parámetro que se está midiendo varía o cambia rápidamente en el tiempo.
- **Procedimientos Ópticos-electrónicos (procesamiento de imagen)** – este procedimiento consiste en la representación óptica y geométrica del objeto analizado. Las mediciones son realizadas en el modelo, y son procedimientos indirectos.

2.2 Métodos de medición en biomecánica.

Dentro de los métodos más utilizados en biomecánica para realizar mediciones de determinados parámetros físicos, geométricos o mecánicos se encuentran:

- Antropometría
- Cinimetría o Videogrametría
- Dinamometría
- Electromiografía
- Fotogrametría

2.2.1 Antropometría.

La antropometría significa medida del hombre, es la subrama de la antropología biológica o física que estudia las medidas del hombre. Se refiere al estudio de las dimensiones y medidas humanas con el propósito de comprender los cambios físicos del hombre y las diferencias entre sus razas y sub-razas. (Ver figura 2.1)

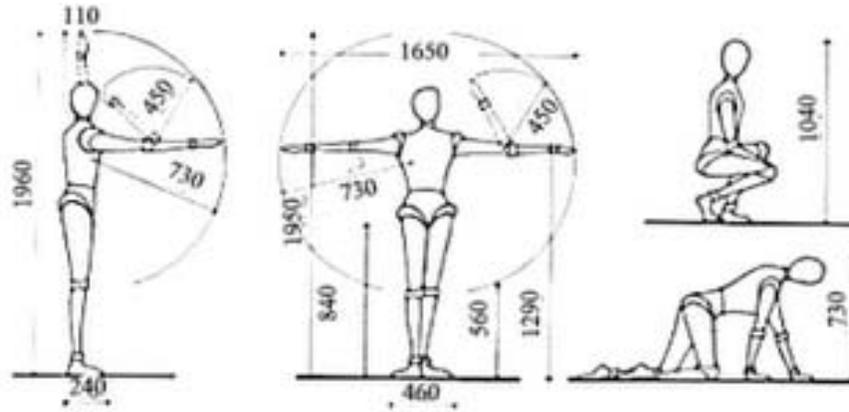


Figura 2.1. Antropometría.

Según **(Zatsiorskij, 1982)**, y **(Amadio, 1996)**, la antropometría en el ámbito biomecánico se dedica, fundamentalmente al estudio de:

- a) El centro de masa del cuerpo y de sus segmentos.
- b) El momento de inercia de cada segmento corporal.
- c) Las dimensiones de los diferentes segmentos del cuerpo.

Hoy en día la antropometría cumple una función importante en el diseño industrial, en la industria de diseños de vestuario, en la ergonomía, la biomecánica y en la arquitectura, donde se emplean datos estadísticos sobre la distribución de medidas corporales de la población para optimizar los productos.

2.2.2 Cinetría o Videogrametría.

La cinetría o videogrametría se usa para medir los parámetros cinemáticos, como son: posición, orientación, velocidad y aceleración de los segmentos del cuerpo humano, a partir de un video o secuencia de fotos. En la figura 2.2 se observa el Laboratorio para el análisis de la marcha humana del Shriners Hospitals for Children en USA.



Figura 2.2 Laboratorio para el análisis de la marcha humana. Shriners Hospitals for Children
Erie 1645 West 8th Street, Erie PA, USA 16505

2.2.3 Dinamometría

La dinamometría se utiliza para medir todos los tipos de fuerzas o presiones. La fuerza que se mide con este método son fuerzas externas, transmitidas entre el cuerpo y el medio que lo rodea. Por ejemplo, la fuerza de reacción del pie con el suelo durante la marcha.

Los instrumentos básicos son:

- Dinamómetro (se usa para medir la fuerza que ejerce un cuerpo sobre el otro). (Ver figura 2.3)
- Plataforma de fuerza (se usa para medir la fuerza de reacción del pie con el suelo). (Ver figura 2.4)
- Células de carga.



Figura 2.3 Dinamometría excéntrica



Figura 2.4 Plataforma de fuerza

2.2.4 Electromiografía.

La electromiografía consiste en el registro de las señales eléctricas asociadas a la contracción muscular. Estas señales eléctricas pueden ser detectadas por electrodos o sensores colocados sobre la piel del cuerpo humano. (Figura 2.5)



Figura 2.5 Electromiograma (EMG)

2.2.5 Fotogrametría.

La fotogrametría es una herramienta muy importante para la biomecánica, esta es una técnica para determinar las propiedades geométricas de un objeto a partir de imágenes fotográficas.

El concepto de fotogrametría es: “medir sobre fotos”. A partir de una foto se puede obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos o más fotos tomadas de diferentes ángulos se puede tener imagen tridimensional del objeto analizado.

Existen varias formas de hacer fotogrametría: fotogrametría analógica, fotogrametría analítica, fotogrametría digital, fotogrametría aérea, fotogrametría terrestre. La fotogrametría digital con la aparición de los ordenadores, se sustituye la imagen analógica por la imagen digital, del mismo modo que se empiezan a utilizar programas informáticos. En la actualidad

la fotogrametría digital convive con la analítica es la más empleada en el campo de la biomecánica.

2.3. Software utilizados en el estudio de la biomecánica del cuerpo humano.

Los avances tecnológicos a nivel audiovisual e informático hacen que las actuales cámaras y software de que disponen sean utilizados como un recurso para ayudar en el análisis biomecánico del cuerpo humano. En relación al software, existen una gran cantidad de programas informáticos que permiten realizar estudios de la biomecánica del cuerpo humano en dos o tres dimensiones, utilizando imágenes procedentes de grabaciones de vídeo o fotografías **(Arteaga, 2014)**.

Estos software permiten realizar estudios a nivel cualitativo y cuantitativo. El análisis cualitativo describe el movimiento sin la ayuda de valores numéricos. Este tipo de análisis describe el movimiento a partir de si se cumplen una serie de criterios de ejecución del movimiento. El análisis cuantitativo describe el movimiento con la ayuda de valores numéricos, este tipo de análisis aporta un valor específico y concreto.

Existen en el mercado distintos software para el procesamiento y análisis de datos de mediano-alto costo (Human, Darfish Quintic Sport Biomechanic, SportsCAD, Kinescan, Tempo, etc), y otros gratuitos (Abiomo, Kinovea, SkillSpector) que permiten mediante de un video o videograbación de la ejecución hacer un estudio más objetivo y específico del comportamiento mecánico del cuerpo.

Cada software tiene particularidades en el uso y además la capacidad para aportar resultados en variables biomecánicas, tal es el caso de los software libres que sus funciones y usos son básicas permitiendo solo medir variables cinemáticas en 2D, mientras que las funciones de software propietarios son más completas, permitiendo medir variables tanto cinemáticas como dinámicas en 2D y 3D. Para poder utilizar estos software es necesario una cámara para evaluaciones en 2D y dos o más cámaras para estudios en 3D, cada video debe pasar por un proceso llamado digitalización, que no es más que el hallazgo y marcado de puntos sobre cada imagen de vídeo de un modelo preestablecido con el fin de adquirir las coordenadas de los puntos anatómicos en dos y hasta en tres dimensiones especificados en la imagen del video.

Existen softwares que no requieren de la digitalización de la secuencia del movimiento completamente y ofrecen cálculos que se pueden hacer instantáneamente y otros que

permiten hacer una captura automática de las coordenadas de los puntos anatómicos tan solo con la ayuda de marcadores reflectantes.

A continuación, se relacionan algunos de estos software.

2.3.1. Abiomo.

El Abiomo, un software desarrollado por profesores de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Es una herramienta sencilla que permite capturar las coordenadas de los puntos del modelo anatómico con el uso "Paint" por lo que se debe descomponer previamente el video en fotogramas. Una vez obtenidas las coordenadas en x e y se procede a importar la información y obtener resultados cinemáticos como centro de gravedad, distancias, velocidades y ángulos de posición y proyección. Además, permite capturar gráficos como el ciclograma de la ejecución del movimiento (Ver figura 2.6), este programa puede ser ejecutado en sistemas operativos Windows XP y Vista y se encuentra disponible en internet (Guerrero, 2014).



Figura 2.6 Software ABIOMO

2.3.2 Kinovea

El Kinovea es otro software libre disponible en la web, presenta diferentes herramientas para la captura de video de una y dos cámaras a la vez, también tiene la opción de abrir un video guardado en la PC y editarlo dentro del mismo programa, entre las diferentes herramientas que presenta hace que su uso sea muy productivo ya que no requiere de digitalización, por lo que los análisis son directos sobre la o las imágenes que se quieren analizar, lo que hace que el proceso sea muy expedito, sin embargo este software permite medir solo variables básicas como desplazamientos, trayectorias, tiempo, velocidades y ángulos. (Ver figura 2.7). Es compatible con todas las versiones de Windows y puede descargarse gratuitamente de internet. (Kinovea, 2012)

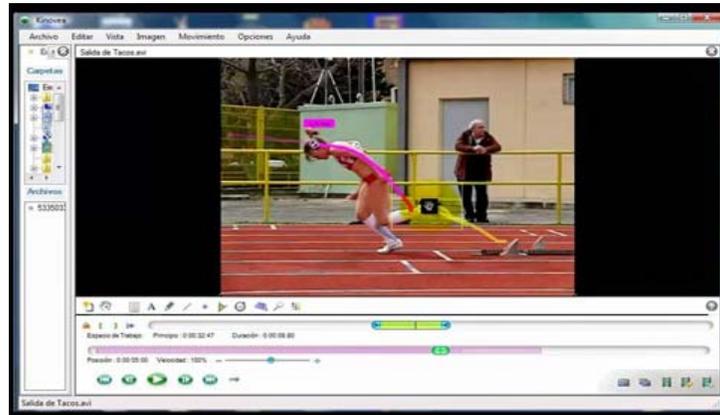


Figura 2.7 Software Kinovea

2.3.3 SkillSpector

El SkillSpector es otro de los software libres, pero que a diferencia de los anteriores solo se presenta en idioma inglés. Este programa permite análisis en 2D y 3D mediante la digitalización semi automática y permite calcular variables cinemáticas tanto lineales como angulares. Para los estudios en 3D se utilizan solo dos videos que pueden ser tomados directamente desde el programa u obtenerlos de los archivos que se encuentran en la computadora, entre otras herramientas más. (Ver figura 2.8) (Arteaga, 2014)

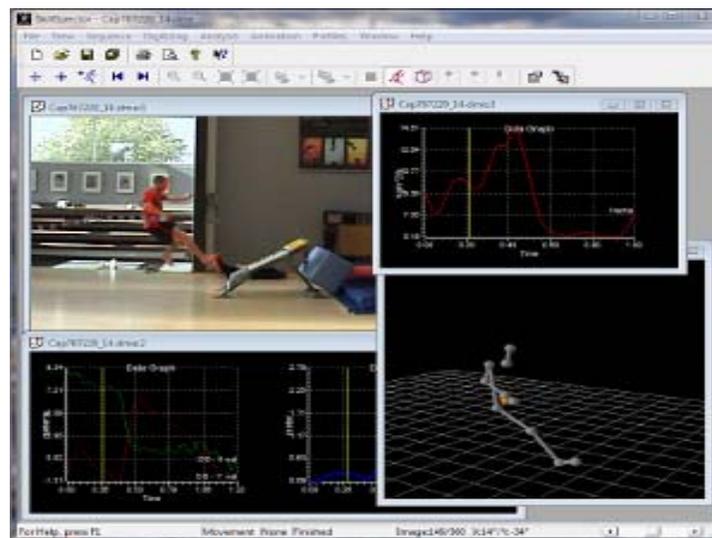


Figura 2.8 Software SkillSpector

2.3.4 Human

Por otro lado, se encuentran aquellos software con licencia paga como lo es el Human. Este software fue diseñado por el profesor Tom Duck de la escuela de kinesiología de la Universidad de York, Canadá. El autor desarrolló dicho programa bajo un enfoque de enseñanza-aprendizaje con el cual se podría aprender enseñando y viceversa, por lo que se

basó en dos cursos independientes para aprender por un lado a utilizar todas las herramientas del programa y por el otro obtener la información para analizar la mecánica del movimiento durante la ejecución de destrezas físicas y deportivas mediante un video grabado en formato “avi”. El programa cuenta con una gran disponibilidad de herramientas para hacer estudios en 2D y 3D tanto en variables cinemáticas como dinámicas (**Duck, 2011**)

2.3.5 CorporisPro

El CorporisPro es un sistema que integra el análisis de la postura del cuerpo humano de pacientes, estudia el análisis de los movimientos kinesiológicos. Además, permite estudiar los comportamientos de pacientes a partir de diferentes imágenes. (Ver figura 2.9) (**CorporisPro, 2010**)

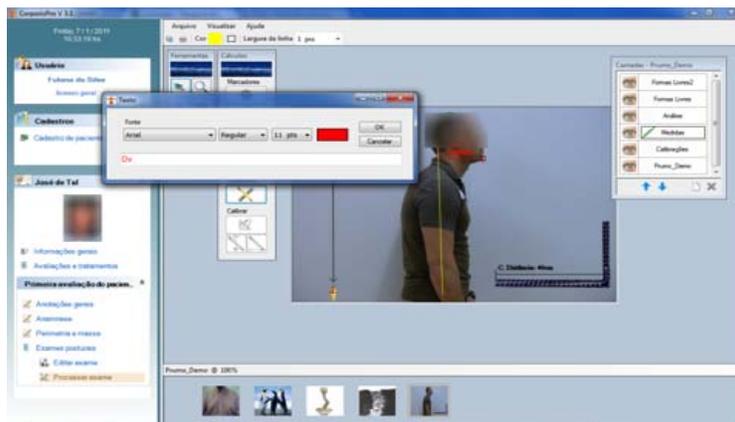


Figura 2.9. Programa CorporisPro

2.3.6 ADiBAS Posture

ADiBAS Posture es un programa específico que ofrece al profesional de la salud un sistema eficiente para comprobar la mejora de la postura corporal y del rango del movimiento. Mediante el mismo se realiza el diagnóstico clínico de la evaluación postural. (**ADiBAS Posture, 2015**)

Permite medir clínicamente ángulos y distancias corporales en 2D y en 3D. Es posible evaluar patologías relacionadas con trastornos músculo-esqueléticos y entre ellas se pueden encontrar:

- Columna vertebral: escoliosis, hiperlordosis lumbar, hipercifosis, dorso plano.
- Cinturas pélvica y escapular: versión pelviana, báscula pelviana, rotaciones de la pelvis y cinturón escapular.

- Miembros superiores: posición escapular, deformidades de la mano, etc.
- Miembros inferiores: ángulo varo/valgo rodillas, ángulo varo/valgo calcáneo, etc.
- Postura global: desplazamientos bloques corporales (cabeza, tórax y pelvis), establecer un indicador de la postura corporal global.

Además, puede realizar mediciones antropométricas de cualquier segmento corporal, analizar la flexibilidad de la cadena muscular posterior y otras muchas aplicaciones (Ver figura 2.10) **(ADIBAS Posture, 2015)**



Figura 2.10 Análisis de la postura con el ADiBAS posture.

Mediante este programa se puede establecer un diagnóstico clínico apoyado por tecnologías inocuas y nada invasivas. Se podrá visualizar rápidamente la postura en el ordenador, brindando un informe detallado. Permite visualizar de forma didáctica la patología y comprobar los resultados al finalizar el tratamiento.

ADiBAS Posture ofrece al investigador una herramienta válida y fiable para sus estudios de investigación. A partir de los datos proporcionados por el software, el investigador podrá exportar esos resultados a una hoja de cálculo para analizarlos estadísticamente. La plataforma permite medir distancias y ángulos del cuerpo humano con un porcentaje de error inferior a cinco grados y cinco milímetros **(ADIBAS Posture, 2015)**. El software soporta sistemas Tablet PC, pero tiene el inconveniente de que no es un servicio gratuito, pues hay que pagar la licencia para su uso. (Ver figura 2.11)



Figura 2.11. El software soporta sistemas Tablet PC.

2.4 Conclusiones parciales.

- Los métodos más utilizados en biomecánica para realizar mediciones de determinados parámetros físicos, geométricos o mecánicos son la cinemetría o viodeogrametría, la dinamometría, la antropometría, la electromiografía y la fotogrametría
- Mediante la fotogrametría se pueden determinar las propiedades geométricas de un objeto a partir de imágenes fotográficas
- Existen en el mercado distintos softwares que permiten mediante un video o videograbación hacer un estudio objetivo y específico del comportamiento mecánico del cuerpo. Permitiendo el procesamiento y análisis de datos de mediano- alto costo. Entre ellos se encuentran el Human, Darfish Quintic Sport Biomechanic, SportsCAD, Kinescan, Templo, etc, y otros gratuitos como Abiomo, Kinovea, SkillSpector.
- Los software Abiomo, Kinovea, SkillSpector son software libres los cuales permiten ser usados sin necesidad de comprar la licencia y además son de fácil utilización, los mismos son software de uso general para el análisis del movimiento y no cuentan con las opciones que permitan el empleo de los métodos utilizados en el diagnóstico clínico de la escoliosis.
- Mediante el ADiBAS Posture se puede establecer un diagnóstico clínico apoyado por tecnologías inocuas y nada invasivas, pero tiene el inconveniente de que el mismo no es gratuito.

Capítulo III: Diagnóstico clínico de la escoliosis.

3.1 Introducción.

La evaluación clínica de la postura del paciente en muchos casos es realizada a partir de la observación. Estudios científicos muestran que la fiabilidad de la inspección ocular es poco precisa, por lo que para resolver este problema se requieren instrumentos de medición.

3.2 Instrumentos de medición empleados para el diagnóstico clínico de la escoliosis.

Existen instrumentos de medición utilizados en el ámbito de la salud, para medir ángulos articulares o la postura en general, entre ellos se puede encontrar:

- El goniómetro o la plomada.
- Software que utilizan la fotografía digital.
- Instrumentos basados en sistemas multicámaras.
- La radiología.

El goniómetro es un instrumento para tomar medidas de ángulos, en grados y minutos. Para tomar medidas, primeramente, se apoya la regla con el extremo que mejor se acomode al ángulo que se vaya a medir, apoyando a su vez el pequeño apoyo del goniómetro en el ángulo contiguo a este o " perpendicularmente".

Los aparatos como el goniómetro o la plomada son poco eficientes para medir la postura; debido a la inexactitud de las mediciones y no permiten obtener la magnitud de la deformación.

La digitalización de la información visual de una fotografía hace posible la manipulación de la imagen fotográfica a través de unos programas especiales. Los ortopédicos aprovechan esta ventaja para usarla como una herramienta para el diagnóstico, análisis, estudio, etc. de diferentes patologías.

Los instrumentos basados en sistemas multicámaras donde se precisan unas instalaciones muy amplias para ubicar las cámaras de video, son instrumentos de alta tecnología y muy caro, de difícil acceso a países con pocos recursos económicos.

La radiología considerada como "*gold standard*", presenta el inconveniente de ser un sistema no inocuo, y selectivo en su análisis. Por lo que se hace necesario buscar instrumentos de medida que sean no invasivos, inocuos, fiables y económicos.

3.3 Métodos empleados en el diagnóstico clínico de la escoliosis.

El examen clínico para determinar la escoliosis debe ser directo y personal; el paciente debe estar de pie con las piernas extendidas, en su posición habitual y no corregida. En los niños debe ser realizado anualmente y su relevancia es máxima en el inicio del período de crecimiento acelerado que acompaña la pubertad, que tiene como primer paso la identificación de una escoliosis y determinar si ésta es estructural. Para esto se realiza una inspección del tronco buscando los signos de una escoliosis, con el objetivo de optimizar la identificación de estos aspectos el examen debe ser realizado sólo con ropa interior y el pelo recogido (Ver figura 3.1). **(Pantoja, 2015).**



Figura 3.1 Aspecto del torso de una paciente de 10 años.

Es importante destacar cuáles son los elementos clínicos que permiten realizar el diagnóstico.

En el examen clínico que realiza el especialista al paciente durante su primera consulta, mirándolo de espalda, tiene en cuenta:

- Desnivel de hombros.
- Desnivel de escápulas.
- Desnivel de pelvis. (apreciable también en las Rx),
- Descentrado del tronco (signo de Pitres o de la plomada)
- Asimetría del triángulo de la talla.
- Test de Adams.
- En algunos casos, diferencia en la longitud de los miembros.
- Percusión sobre las apófisis espinosas.

En Cuba para el diagnóstico de la escoliosis se utilizan diferentes métodos utilizados mundialmente como son:

- Test de Adams
- Desnivel de hombros, escápulas y pelvis
- Maniobra de la plomada
- Radiografías

Estos se utilizan a la hora de dar un diagnóstico, pero no es posible brindar un seguimiento detallado de los avances del paciente luego del tratamiento. Algunos de estos métodos son invasivos e implican un costo, como las radiografías y otros son poco eficientes como el test de Adams o el de la maniobra de la plomada.

3.3.1 Test de Adams.

Si se identifica una escoliosis, se debe determinar si es estructural. El examen clave para este propósito es muy simple: el Test de Inclinación del Tronco o Test de Adams (Ver figura 3.2). Para efectuarlo el médico observa tangencialmente el dorso del niño mientras se inclina en flexión con los brazos simétricamente suspendidos (**Pantoja, 2015**)



Figura 3.2 Posición para la realización del Test de Adams.

El Test de Adams, al inclinarse aparece una giba lateral a la columna, que es la expresión de la rotación vertebral y deformidad de las costillas, ambas solamente están presentes si existe una escoliosis estructurada. La distancia dedo-suelo y la existencia o no de rigidez de los tendones isquiotibiales son otros aspectos a valorar. Estos elementos pueden ser observados también radiológicamente (Ver figuras 3.3 y 3.4).

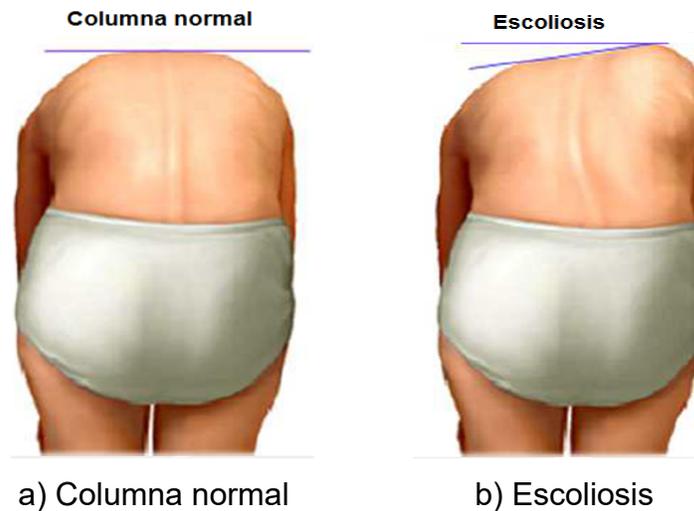


Figura 3.3. Test de Adams.

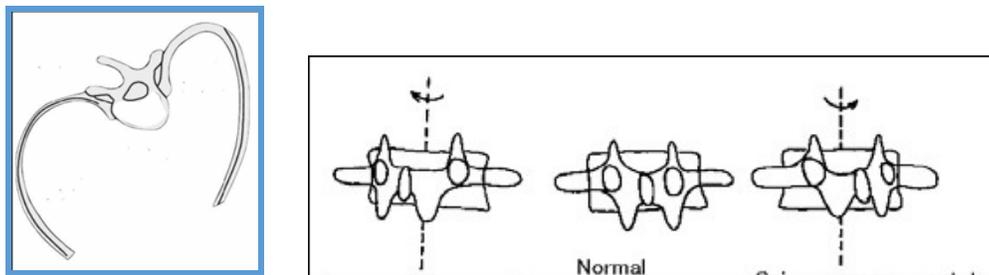


Figura 3.4. Esquema de la rotación vertebral

Para evitar referir innecesariamente el paciente al especialista, se debe excluir una escoliosis no estructural. Estas son curvaturas que son completamente corregibles cuando se elimina el factor causal; frecuentemente una diferente longitud de extremidades inferiores, contractura muscular por dolor o mala postura. En estas, al no existir rotación vertebral el Test de Adams es negativo. (Ver figura 3.4) **(Pantoja 2015)**

Es relativamente frecuente ver niños con escoliosis que se mantienen en rango leve durante años, pero que sufren un incremento importante de la curva con el crecimiento acelerado de la preadolescencia y adolescencia. Por esto, es importante un examen físico anual del niño por él/la pediatra hasta su adolescencia avanzada.

Frente al hallazgo de una escoliosis, el examen clínico busca principalmente excluir causas primarias identificables de la misma, para así confirmar que se trata de la forma más frecuente, la escoliosis idiopática.

3.3.2 Desnivel de los hombros

Para la determinación del desnivel de los hombros es muy importante la colocación correcta del paciente: siempre descalzo y en ropa interior, recto, estirado, pero flojo, con las piernas

en línea separadas el espacio de un pie y bien apoyadas, buscado la posición de "pilates" pero relajado, con el pelo recogido.

Mediante la observación se determina si existen diferencias de altura entre un hombro y el otro, si es posible entre una tetilla o pezón del otro. También se puede medir si hay diferencias entre un lado de la cadera y el otro. El desnivel de los hombros también es apreciable en las radiografías (Rx). **(Jiménez, 2011).**

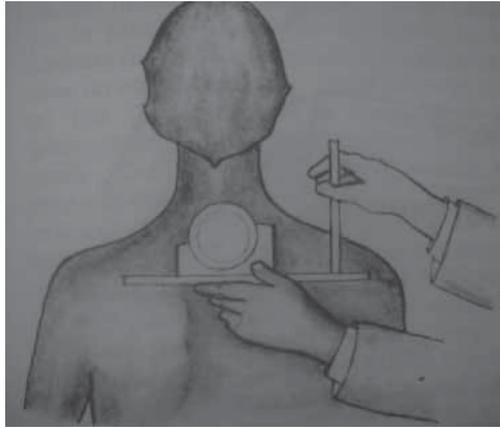


Figura 3.5. Valoración del nivel de los hombros.

3.3.3 Descentrado del tronco o maniobra de la plomada.

Para determinar el descentrado del tronco, también conocido como signo de Pitres o de La plomada, el paciente debe ser explorado adoptando su postura habitual: relajado, piernas extendidas, pies no más separados que los hombros y soportando equitativamente la carga del tronco, brazos colgando a ambos lados del tronco con hombros relajados y mirada al frente. Esta postura es fácil de reproducir y fiable, permitiendo, por tanto, la comparación entre las observaciones obtenidas por diferentes exploradores. Es importante velar durante el examen para que el explorado no modifique esta posición. Para aplicarlo basta una simple plomada y una regla. Comprobado que el sujeto mantiene la postura habitual relajada, se aproxima la plomada a su dorso, alineada medialmente frente a la protrusión de vértebra cervical # 7 (C7) y contactando con el primer saliente del perfil sagital. (Ver figura 3.6) **(Salinas, 2004).**

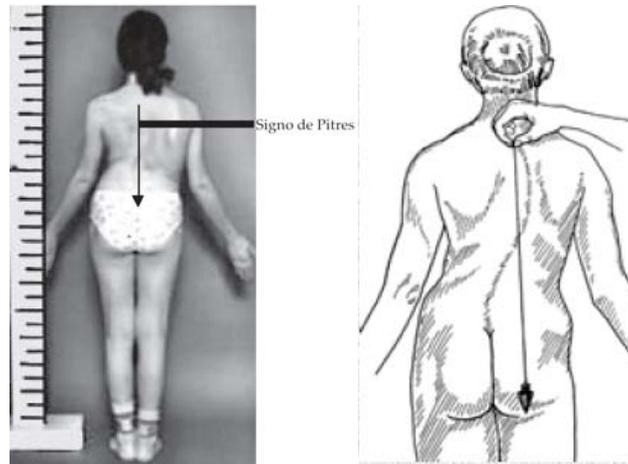


Figura 3.6. Examen de un paciente con escoliosis

3.3.4 Estudio radiológico.

El estudio radiológico se basa en la forma de una radiografía de la columna vertebral en el plano frontal y lateral. Se realiza con el paciente de pie e idealmente con protección ovárica con un cobertor plomado. Estas radiografías indican el tipo, la severidad y localización de la o las curvas, e informan el grado de maduración esquelética. (Ver figura 3.7) **(Sirvent, 2012)**

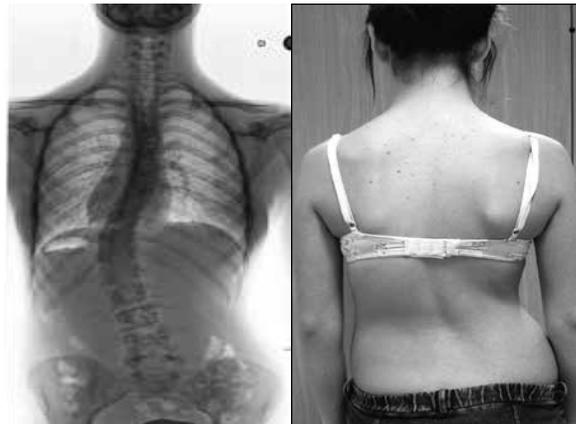


Figura 3.7. Radiografía anteroposterior de una paciente de 10 años

Los dos factores principales que permiten predecir el riesgo de progresión, son la severidad de la curva y el potencial de crecimiento remanente, los cuales se pueden obtener mediante una radiología simple **(Sastre, 2006)**.

La magnitud o severidad de la curva se determina con el ángulo de Cobb que se mide desde la placa superior hasta la placa inferior de las vértebras más inclinadas hacia la curva. Hasta hoy es el estándar aceptado para cuantificar las curvas, que se dividen en:

1. Leves (10° a 20°)
2. Moderadas ($>20^{\circ}$ a 40°)
3. Severas ($>40^{\circ}$)

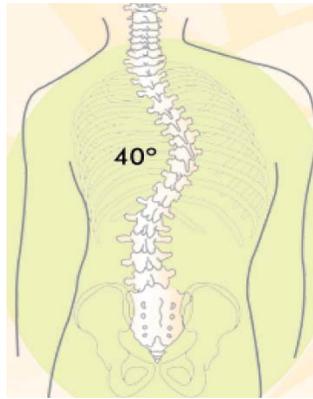


Figura 3.8. Desviación moderada de la columna vertebral

En la figura 3.8 se puede observar una columna con una desviación moderada.

Una limitante de la medición angular es que no permite evaluar el componente rotacional, el que influye directamente en la severidad de la deformidad visible al generar la prominencia (giba) costal y/o lumbar **(Pantoja, 2015)**.

El potencial de crecimiento se puede estimar en la radiografía mediante la visión de las crestas ilíacas que permite establecer el Grado de Risser de osificación del reborde ilíaco (Ver figura 3.9). Esta información se complementa con la fecha de menarquia, desarrollo de caracteres sexuales secundarios y velocidad de crecimiento en el nomograma de edad versus talla para predecir el potencial de crecimiento.

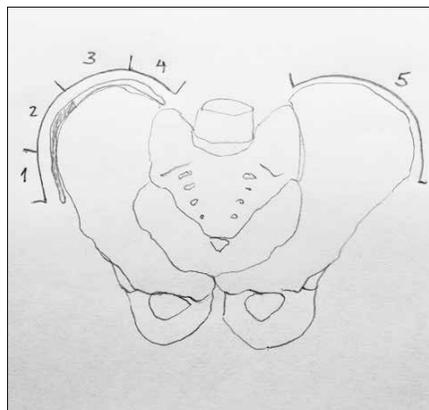


Figura 3.9. Grado de Risser

También se puede realizar la tomografía de superficie (Moiré), esta no es más que la proyección de unas líneas de luz sobre la superficie corporal. Mide la superficie, influenciada por peso, rotación, zona, etc. (Ver figura 3.10) **(Sirvent 2012)**

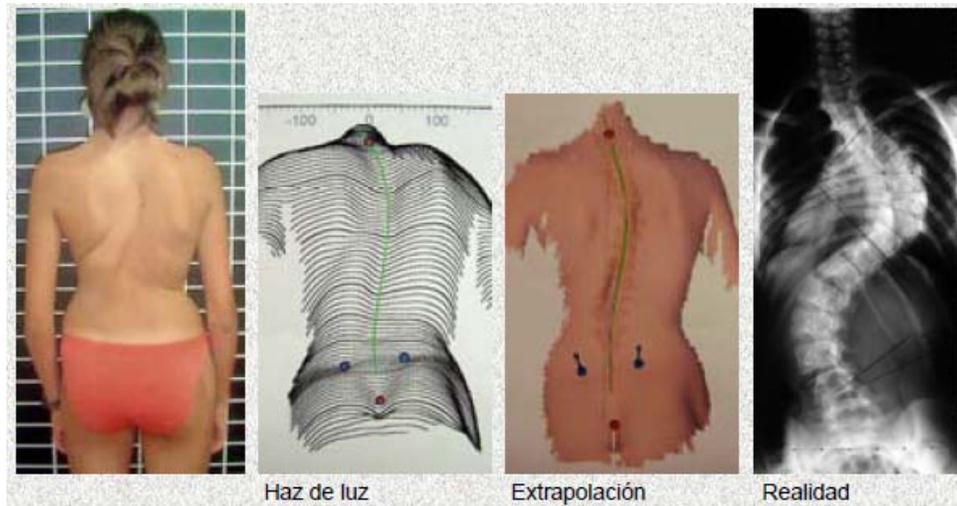


Figura 3.10. Imágenes de superficie de Moiré

Luego del pico de la pubertad, el riesgo evolutivo persiste hasta la madurez ósea. En casos de angulación superior a los 40° puede plantearse la necesidad de un tratamiento quirúrgico.

3.4. Descripción y uso de la herramienta computacional implementada para el diagnóstico y seguimiento de la corrección de la escoliosis.

Luego de un estudio detallado de los diferentes métodos utilizados y de los elementos clínicos que permiten realizar el diagnóstico de la escoliosis, se ha desarrollado una herramienta computacional mediante el análisis de fotografías digitales, para poder evaluar luego de una primera consulta, cuáles son los avances del paciente después del tratamiento. Para realizar el programa se tuvo en cuenta los principales métodos utilizados para el diagnóstico clínico de la escoliosis, los cuales son:

- Descentrado del tronco (signo de Pitres o de la plomada)
- Asimetría del triángulo de la talla.
- Test de Adams
- Desnivel de hombros.
- Desnivel de pelvis

Además, fue incluido un nuevo método propuesto por el autor del trabajo llamado ``Método del contorno'', el cual, a partir del contorno del torso del paciente arroja valores de la diferencia que existe entre un lado y otro de la columna vertebral.

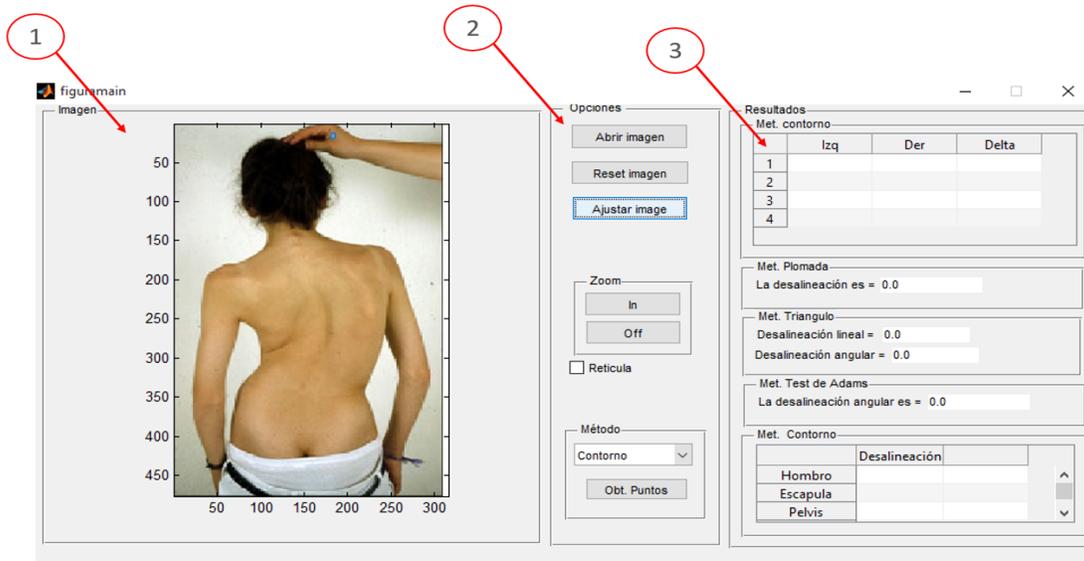


Figura 3.11. Ventana principal

En la figura 3.1 se muestra la ventana principal del programa, esta se divide en tres partes; una izquierda señalada con el número 1, una derecha señalada con el número 3 y una central señalada con el número 2. En la ventana de la izquierda aparece la imagen del paciente que se va a analizar, en el centro aparece el recuadro con las siguientes opciones.

- El botón “*Abrir imagen*” se usa para cargar la imagen.
- El botón “*Reset imagen*” se usa para resetear la imagen borrando las marcas de los métodos anteriores.
- El botón “*Ajustar imagen*” ajusta la imagen cargada a la resolución adecuada.
- Con el “*Zoom*” se puede agrandar o alejar una zona deseada.
- En el botón “*Método*” se selecciona el método deseado.
- En “*Obt Puntos*”, se oprime para seleccionar los puntos a analizar en dependencia de los diferentes métodos.

Al ventana derecha, se muestran los resultados para los diferentes métodos.

3.4.1. Pasos para el uso de la aplicación.

Primeramente, es cargada la foto del paciente y luego se oprime el botón de “Ajustar imagen” para que la foto se ajuste a la escala adecuada. Luego se escoge cuál de los métodos se va a utilizar. Si la imagen está previamente cargada se oprime el recuadro “*Reset imagen*” para borrar las marcas del método anterior.

3.4.1.1. Método de la plomada

Con la imagen previamente cargada se selecciona en el recuadro “Método” la opción “Plomada” y se oprime el botón “*Obt Puntos*”. Seguidamente se seleccionan dos puntos sobre la foto del paciente, el primer punto debe coincidir con la vértebra # 7 de la cervical (C7) y luego el segundo punto sobre la vértebra # 5 de la zona lumbar (L5) a continuación se oprime la tecla “*Enter*”. A continuación el programa calcula las diferencias de la columna vertebral en la dirección del eje x de ambos puntos, cuyo valor corresponde con el desplazamiento de la columna vertebral, como se muestra en la figura 3. 12, cuya magnitud aparece en la ventana de la izquierda en el recuadro “Método Plomada”.

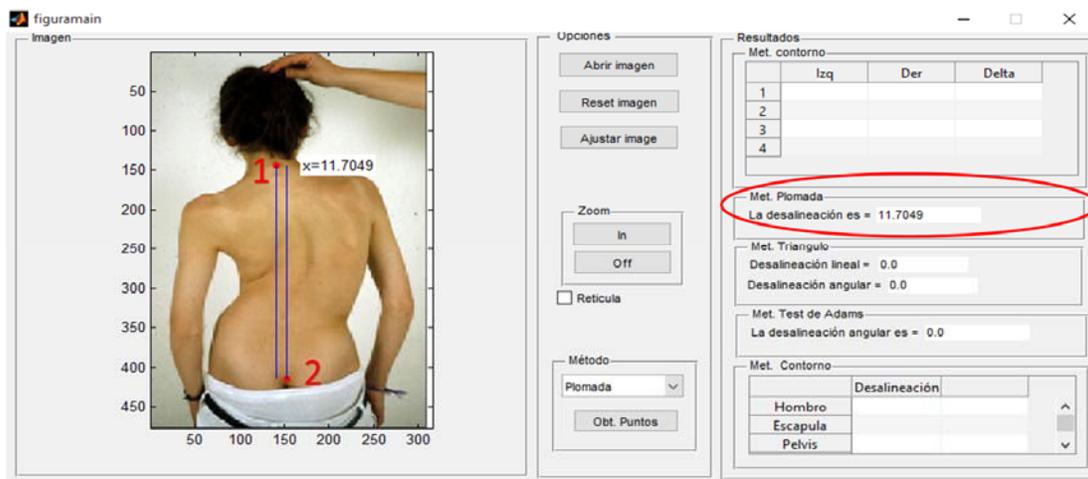


Figura 3.12 Método de la plomada

3.4.1.2 Método del contorno

Una vez que la imagen del paciente este cargada , se selecciona el método en la ventana del centro, en el recuadro “Métodos” y luego se hace clic en el botón “*Obt. Puntos*”. Seguidamente son seleccionados tres puntos sobre la imagen y se oprime la tecla “*Enter*”. Dichos puntos se seleccionan en el siguiente orden: el primero a nivel de la protuberancia de la vértebra # 7 de cervical (C7), el segundo a nivel de la escápula y el tercer punto a nivel de la quinta vértebra de la zona lumbar (vértebra L5); el segundo y tercer punto se seleccionan para determinar el área donde se van a trazar de las líneas horizontales. El programa automáticamente dibujará sobre la imagen una línea vertical que comienza en el primer punto seleccionado y termina a nivel del tercer punto, y varias líneas horizontales espaciadas entre el segundo punto seleccionado y el tercero.

A continuación el programa le solicitará 22 puntos los cuales son seleccionados donde las líneas horizontales intersectan el contorno del cuerpo del paciente. (Ver figura 3.13)

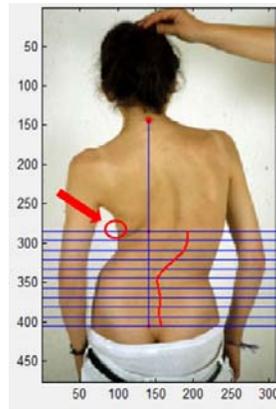


Figura 3.13. Método del contorno

Primeramente se seleccionan 11 puntos situados al lado izquierdo de la línea vertical y luego el resto de los 11 puntos correspondiente al lado derecho. Seleccionado los puntos se oprime la tecla "Enter". El programa calcula para cada línea horizontal la distancia X_i y X_d entre la línea vertical y el punto seleccionado al lado izquierdo y el lado derecho, y la desalineación (Delta) que no es más que la diferencia entre ambos valores, figura 3.14.

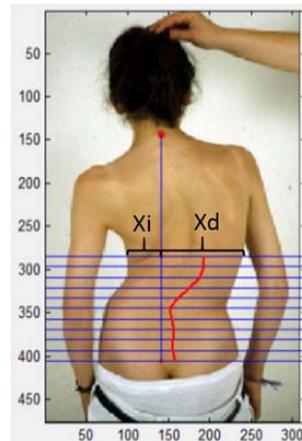


Figura 3.14 Resultados de método contorno.

Esto se realiza para cada línea horizontal y los resultados del cálculo se muestra en la ventana de la derecha, en el recuadro relacionado con el método (figura 3.15).

Los valores que están en "Izq" son los valores de la distancia X_i y en la columna llamada "Der" los valores de X_d .

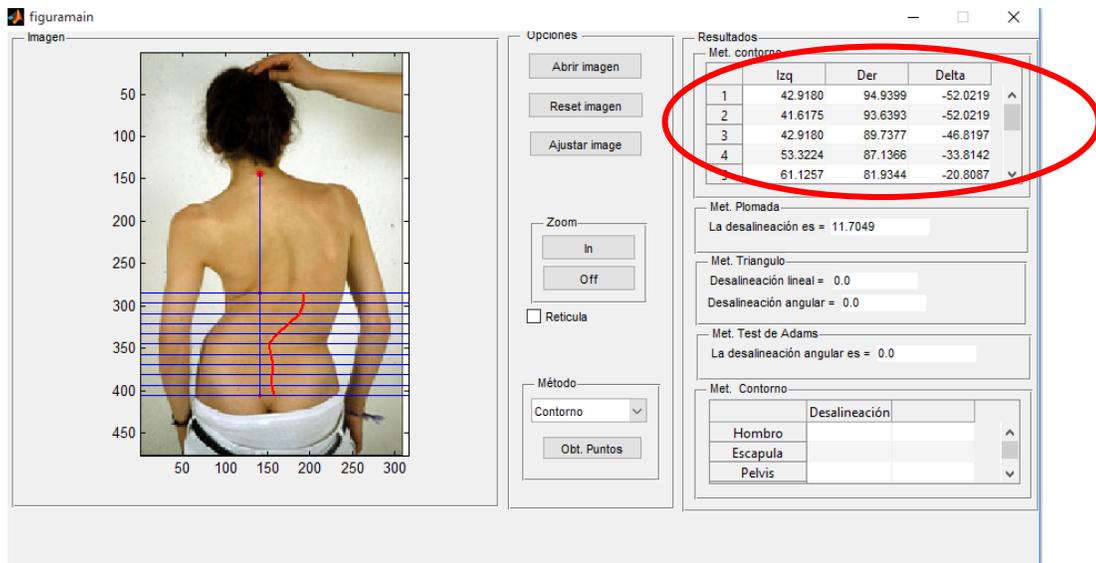


Figura 3.15 Método del contorno

Si no existen desalineaciones $X_i = X_d$ y las desalienaciones delta es igual a cero.

3.4.1.3. Asimetría del triángulo de la talla.

Para determinar la asimetría del triángulo de la talla, se recomienda que si no es visible en el paciente, el especialista debe marcar los puntos antes de ser tomada la foto, figura 3.14.

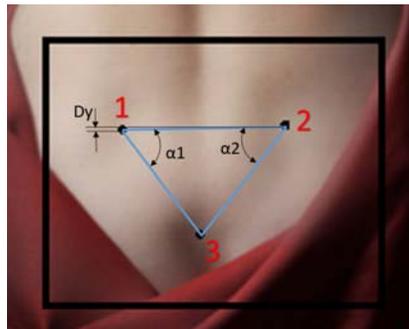


Figura 3.16. Triángulo de la talla.

Luego de seleccionar el método y con la imagen previamente cargada y ajustada se oprime el botón "Obt Puntos". Posteriormente se seleccionan los tres puntos comenzando por la izquierda y en el orden que se muestra en la figura 3.16; seleccionado los puntos se oprime la tecla "Enter". En la ventana de la derecha, figura 3.17, se muestran los resultados de la desalineación lineal (D_y) cuyo valor es igual a la diferencia de altura entre las coordenadas del eje Y de los puntos 1 y 2; y la desalineación angular que es igual a $\alpha_2 - \alpha_1$, ver figura 3.16.

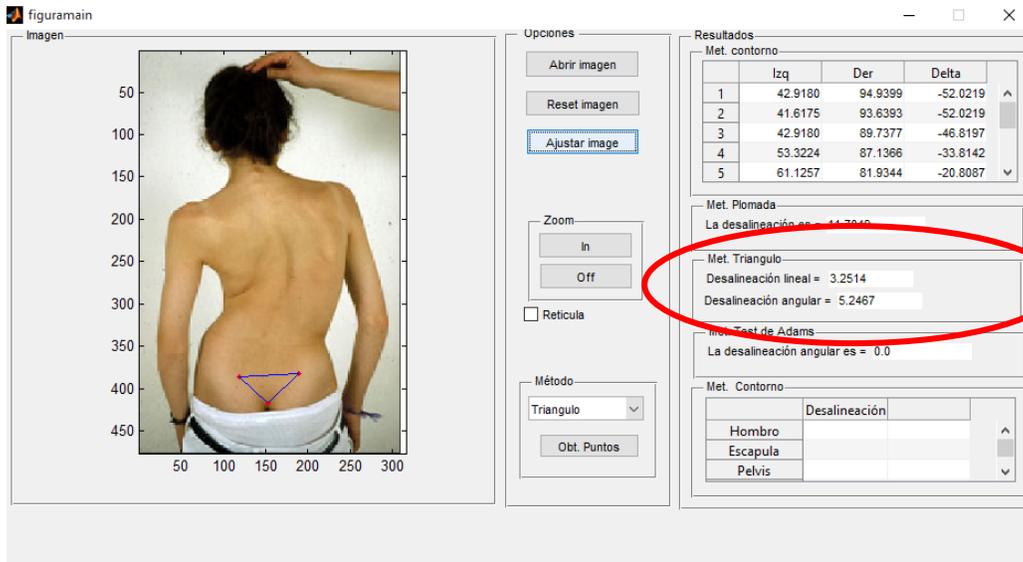


Figura 3.17 Método del triángulo

3.4.1.4. Nivel hombro-cadera

Para la realización del estudio nivel hombro-cadera, se selecciona el método “Nivel Homb-Cad” y se oprime el botón “*Obt Puntos*”. Seguidamente, se selecciona cuatro puntos, en el orden que se muestra en la figura 3.18. El primer punto se corresponde con la vértebra # 5 de la cervical (C5), el segundo punto a nivel del hombro, el tercero la escápula y el cuarto a la altura de la cadera (los puntos del 1 al 4). Seleccionado los puntos se oprime la tecla “*Enter*”. Acto seguido se seleccionan los mismos puntos, pero del lado derecho (los puntos del 5 al 6) y se oprime la tecla “*Enter*” al finalizar la selección. Posteriormente, el programa calcula los valores de las desalineaciones en el sentido del eje Y entre los puntos 2-5, los puntos 3-6 y 4-7, los cuales son mostrados en la ventana de la derecha, ver figura 3.18.

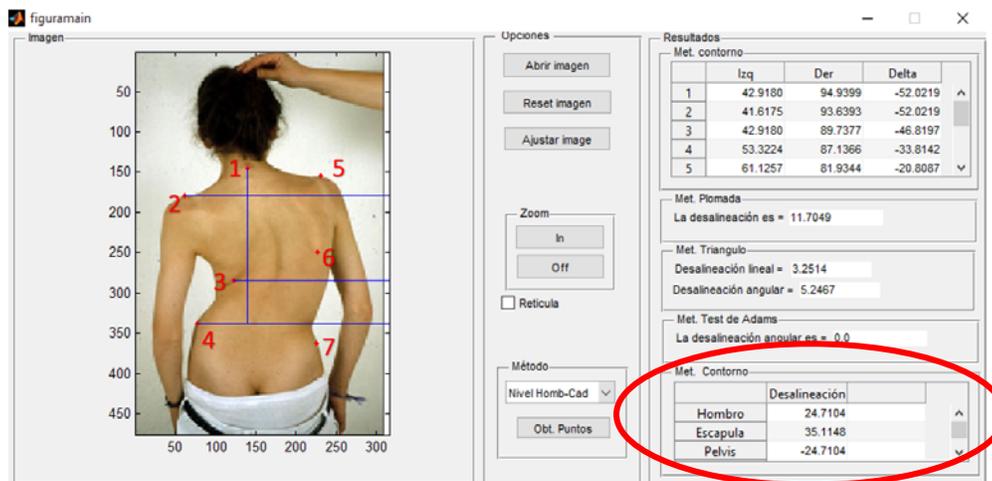


Figura 3.18 Nivel hombro-cadera

3.4.1.5. Test de Adams

Para la realización del Test de Adams la fotografía que se tomará será con el paciente de espaldas inclinado, en flexión y con los brazos simétricamente suspendidos. Luego de cargada la imagen y ajustar la misma, se selecciona el método y se hace clic en el botón “*Obt Puntos*”. Para este método es necesario marcar dos puntos 1 y 2, figura 3.19 y se obtiene como la desalineación angular, el ángulo entre el segmento 1-2 y la horizontal.



Figura 3.19 Test de Adams

Finalmente, los resultados obtenidos por este método pueden ser archivados por el especialista, para ser comparados con los resultados de estudios posteriores realizados después del tratamiento.

3.5. Conclusiones parciales

- Para un diagnóstico clínico de la escoliosis es necesario tener en cuenta varios aspectos; giba, descentrado del tronco, asimetría del triángulo de la talla, desnivel de hombros, pelvis y escápulas.
- En Cuba para el diagnóstico de la escoliosis se utilizan los siguientes métodos: Test de Adams, observación del nivel de hombros, escápulas y pelvis, maniobra de la plomada y radiografías.
- Existen instrumentos de medición utilizados para medir la postura del cuerpo humano, algunos de baja precisión como el goniómetro. De alta tecnología y muy costosos como los sistemas de multicámaras. La radiografía, que es un método no inocuo y el uso de la fotogrametría digital que es un método inocuo y para su utilización no se requiere de equipamientos especiales, siendo esta opción más ventajosa económicamente.

- Los diferentes métodos utilizados en el diagnóstico clínico de la escoliosis fueron implementados en una herramienta computacional, la cual le permite a los especialistas determinar las desviaciones de la columna de una forma rápida y precisa, mediante tecnologías inocuas. Además de los métodos tradicionales se implementó un nuevo método llamado método del contorno.

Conclusiones:

1. Las desviaciones de la columna vertebral se clasifican en dos grandes grupos, las del plano lateral llamada cifosis y las del plano frontal, escoliosis. Esta última se caracteriza por presentar una curvatura lateral cuya progresión oscila de 1-10° en un año.
2. Los métodos de medición empleados en biomecánica para la determinación de los parámetros físicos, geométricos o mecánicos son: la cinemetría o videogrametría, la dinamometría, la antropometría, la electromiografía y la fotogrametría. Mediante la fotogrametría que consiste en la determinación de parámetros geométricos a partir de imágenes fotográficas se han realizados estudios que permiten evaluar la postura del cuerpo humano, al igual que la videogrametría pero en este caso se necesitaría un video.
3. Existen en el mercado distintos software que permiten mediante un video o fotografía hacer un estudio del comportamiento mecánico del cuerpo humano. Entre los que se destacan el Human, Darfish Quintic Sport Biomechanic, SportsCAD, kinescan, templo, etc, y otros como Abiomo, Kinovea, SkillSpector que son softwares libres los cuales permite ser usados sin necesidad de licencia. Todos ellos son software de uso general para el análisis del movimiento y no cuentan con las opciones que permitan el empleo de los métodos utilizados en el diagnóstico clínico de la escoliosis.
4. El ADiBAS Posture es un software desarrollado específicamente para el diagnóstico clínico de la escoliosis, apoyado por tecnologías inocuas y nada invasivas, pero tiene el inconveniente de que el mismo requiere una licencia para su uso.
5. Para un diagnóstico clínico de la escoliosis se emplean varios métodos como: Test de Adams, método de la plomada, asimetría del triángulo de la talla, desnivel de hombros, pelvis y escápulas. Los cuales fueron implementados en una herramienta computacional, basada en un método sencillo a partir de una fotografía digital del paciente, permitiendo a los especialistas determinar las desviaciones de la columna vertebral, mediante tecnologías inocuas y sin la necesidad del uso de radiografías; brindando la posibilidad de un análisis cuantitativo de los avances del paciente

luego del tratamiento. Además de los métodos tradicionales se implementó un nuevo método llamado método del contorno.

Recomendaciones:

- Continuar perfeccionando el programa con la ayuda de los criterios de los especialistas.

Bibliografía:

1. ADiBAS Posture (2015). PhysicalTech S.L., C/ Guillem Tell 40 Ent-2, 08006 Barcelona.
En Línea: [<http://www.physicaltech.com/ambito-clinico/>] Consulta: 18-05-17
2. Adrián, M.; Cooper, J. (1995). Biomechanics of Human Movement. McGraw-Hill. Boston.
3. Amadio, A. (1996). Fundamentos Biomecânicos para a Análise do Movimento Humano. Edição da Universidade de São Paulo. São Paulo.
4. Arteaga, W. (2014). Biomecánica. Softwares para el análisis de datos. En Línea: [<http://inforbiomeca.blogspot.com/2014/10/software-para-el-analisis-de-datos.html>] Consulta: 17-05-17
5. Biomecánica. En Línea: [<https://es.wikipedia.org/wiki/Biomec%C3%A1nica>] Consulta: 8-12-16
6. Biomecánica. EcuRed. En Línea: [<https://www.ecured.cu/Biomec%C3%A1nica>] Consulta: 18-05-17.
7. Bravo, Patricia (2012). Anatomía Humana: Introducción y consideraciones generales. En Línea: [http://www.tramixsakai.ulp.edu.ar/access/content/group/02AV0974006560206599026BT/Bibliografia/Clase%201%20Generalidades%20de%20Anatomia%20_2012_.pdf] Consulta: 10-04-17.
8. Bueno Sánchez, A. M. (2014). Exploración de columna y cadera: cómo manejar la escoliosis. Rev Pediatr Aten Primaria, Madrid, v. 16, supl. 23, p. 111-117, jun. 2014 En Línea: [<http://scielo.isciii.es/pdf/pap/v16s23/taller4.pdf>] Consulta: 15-05-17.
9. Calais Germain, B. (1992) Anatomía para el movimiento. Los libros de la liebre de marzo SI, ISBN: 84-87403-13-1 En Línea: [<https://terapiapsicocorporalgd.files.wordpress.com/2012/07/anatomia-para-el-movimiento-blandine-calais-germain.pdf>] Consulta: 05-04-17.
10. Cilla, Felisa. Escoliosis Infanto-Juvenil, (2004). En Línea: [http://www.uv.es/previnfad/sesiones/GpapA10_escoliosis.pdf] Consulta: 18-05-17.
11. Climent JM, Cholbi Llobella F, Rodríguez. Ruiza C, Mulet Perrya S, Mendéjar Gómeza F, Pradas Silvestreb J. (2009). La medida de la salud en la escoliosis. Rehabilitación (Madrid). p 299-305

12. Conejero Casares, J.A. (2010). Escoliosis. *Pediatría Integral*, Madrid. En Línea: [http://www.pediatrasandalucia.org/Pdfs/Escoliosis._Pediatria_Integral_XIV._Septiembre_2010.pdf] Consulta: 10-04-17.
13. CorporisPro, (2010). En Línea: [<http://www.datahominis.com.br/corporispro/>] Consulta: 18-05-17.
14. Daniels, L. (1981). *Fisioterapia: Ejercicios correctivos de la alineación y función del cuerpo humano*. Ed. Doyma. Barcelona, 1981.
15. Donskoi, D., Zatsiorski, V. (1987). *Biomecánica de los ejercicios físicos*. Moscú. Editorial Raduga, 1987.
16. Duck, T. (2011). HMA technology, the house of Human. *Human Movement Analysis*. En Línea: [<http://www.hma-tech.com/page01b.htm>] Consulta: 8-12-16
17. Emilio I. García, J. (2012). *Biomecánica articular. Cirugía Ortopédica y Traumatología*. En Línea: [www.traumazaragoza.com] Consulta: 12-06-17.
18. Escoliosis. En Línea: [<http://kidshealth.org/es/parents/scoliosis-esp.html#>] Consulta: 18-05-17.
19. Farez A. (2015). Planos Anatómicos. En Línea: [<http://planosanatomicos.blogspot.com/2015/03/planos-anatomicos.html>] Consulta: 7-05-17
20. García, J., E. L. CIR. Ortopédica y traumatología. En Línea: [http://www.traumazaragoza.com/traumazaragoza.com/Documentacion_files/Biomecanica%20de%20la%20columna%20vertebral.pdf]. Consulta: 12-05-17
21. Giancoli, D. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna*. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2009. ISBN: 978-607-442-303-7
22. Gil Sánchez, L., Álvarez Herrero, M.C. y Sánchez Gil, J.C. (2004) *Escoliosis*. Centro de Salud V Centenario. San Sebastián de los Reyes. Madrid, España.
23. Guerrero, S. (S/F). *Biomecánica ULA*, (2014). En línea: [<http://www.biomecanica-ula.org/site/>] Consulta: 8-12-16
24. Hainaut, K. (1992). *Introducción a la biomecánica*. Barcelona: Jims, 1992.
25. Jiménez Ávila J.M. (2011). Diagnóstico de la escoliosis. *Revista Ortho-tips*, volumen 7, número 2, Abr-Jun. 2011
26. Kapandji, A.L. (2006). *Fisiología articular*. 5ta edición. Editorial médica panamericana, Madrid España, 2006.

27. Karina X. Rodríguez E. (2012). Conceptos básicos de biomecánica. Facultad de Ciencias de la Salud, Programa de Biomecánica, Universidad Mariana. En Línea: [<https://es.slideshare.net/Fershe87/conceptos-basicos-de-biomecanica1>] Consulta: 8-12-16
28. Kim H, Kim HS, Moon ES, Yoon CS, Chung TS, Song HT et al. (2010). Scoliosis imaging: what radiologists should know. *Radiographics*. 2010 Nov; 30 (7):1823-42.
29. Kinovea (S/F) Kinovea, (2012). En Línea: [<http://www.kinovea.org/>] Consulta: 8-12-16
30. Knudson D. (2007). *Fundamentals of Biomechanics, Second Edition*. Springer Science + Business Media.
31. Loroño, A. (2000). Pruebas diagnósticas en la escoliosis e indicaciones ortopédicas. Monográfico RPG - Nº 2 - ITG - Bilbao 2000. En línea: [<http://s48476aebc9c7b203.jimcontent.com/download/version/1297802055/module/4750290856/name/PRUEBAS%20DIAGNOSTICAS%20EN%20LA%20ESCOLIOSIS%20E%20INDICACIONES%20ORTOPEDICAS.pdf>] Consulta: 18-05-17
32. Navarrete Aedo, R. (2012) Guía evaluación postural. En Línea: [http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/Documentos_Digitales/600/610/41122.pdf] Consulta: 11-04-17.
33. Pantoja, S. T.; Chamorro M (2015). Escoliosis en niños y adolescentes. *Revista Medicina Clínica CONDES*, Vol. 26. Núm. 1. Enero - Febrero 2015, p 99-108. En Línea: [<http://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-escoliosis-ninos-adolescentes-S0716864015000164?referer=buscador>] Consulta: 14-10-2016
34. Ramírez Moreno, J. (2011). La patogénesis de la escoliosis idiopática y el método Mézières. Una revisión bibliográfica de la literatura. *Revista Científica Iberoamericana. Fisioglobal*.
35. Salinas Bueno, I., Roig Trenchs, R.M., Rams Gómez, M. (2004). Precisión del eje sagital según el método de medición por plomada. *Unidad de Fisioterapia. Facultat de Medicina i Ciències de la Salut. Universitat Rovira i Virgili. Fisioterapia* 2004;26(1):13-7. En línea: [<http://www.elsevier.es>] Consulta: 18-05-17.
36. Sastre Fernández, S. (2006). *Métodos de tratamiento de las escoliosis, cifosis y lordosis*. Universidad de Barcelona, España. ISBN: 84-475-3043-4 En Línea: [<https://books.google.com.cu/books?id=P6SXvgK9U7YC&pg=PA62&lpg=PA62&dq=metodo+de+la+plomada+en+fisioterapia&source=bl&ots=R7SaONnF1k&sig=9e0UPjY4qRp>]

P84YZjrXhrZK54vw&hl=es&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjXx9qljMrUAhUnwYMKHbN0B8cQ6AEIRDFAF#v=onepage&q=metodo%20de%20la%20plomada%20en%20fisioterapia&f=false] Consulta: 18-05-17.

37. Serna García, L., Santonja Medina, F. y Pastor Clemente y A. (1996). Exploración clínica del plano sagital del raquis. Facultad de Medicina. Área de Fisioterapia. Campus de Espinardo, Universidad de Murcia.
38. Sirvent Cerdá, S. I.; García Esparza, E.; López Pino, M. Á.; Solís Muñiz, I.; Albi Rodríguez, G.; Gómez Mardones, G. (2012). Estudio radiológico de la escoliosis. Curvas, ángulos y algo más. Congreso SERAM 2012. Madrid, España. En línea: [www.seram2015.com] Consulta: 8-12-16
39. Vallejos Meana, Néstor et al. (2005). Detección precoz de la escoliosis. Arch. argent. pediatr., Buenos Aires, V. 103, N. 4, p. 367-370, agosto 2005. En Línea: [http://www.scielo.org.ar/pdf/aap/v103n4/v103n4a14.pdf]. Consulta: 15- mayo- 2017.
40. Vázquez S. (2017). La escoliosis. En Línea: <https://rehabilitacionpremiummadrid.com/blog/sergio-vazquez/la-escoliosis/> Consulta: 15-05-17.
41. Videocuatrocoach (S/F). Video4Coach improving skill performance. En línea: [http://video4coach.com/] Consulta: 8-12-16
42. Weinstein S. Natural History of Scoliosis. (1999). Spine 24; 24: 2592-2600, 1999.
43. Weinstein SL, Dolan LA, Wright JG, Dobbs MB: (2013). Effects of Bracing in Adolescents with Idiopathic Scoliosis. N Engl J Med 2013; 369:1512-1521
44. Wikipedia. Escoliosis. En Línea: [https://es.wikipedia.org/wiki/Escoliosis] Consulta: 18-05-17.
45. Zatsiorsky, W.; Aruin, A.; Seluyanov, W. (1982). Massengeometrie des Menschlichen Körpers (II). Theorie und Praxis der Körperkultur. (7). pp. 533-541.