



# **UNIVERSIDAD DE MURCIA**

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

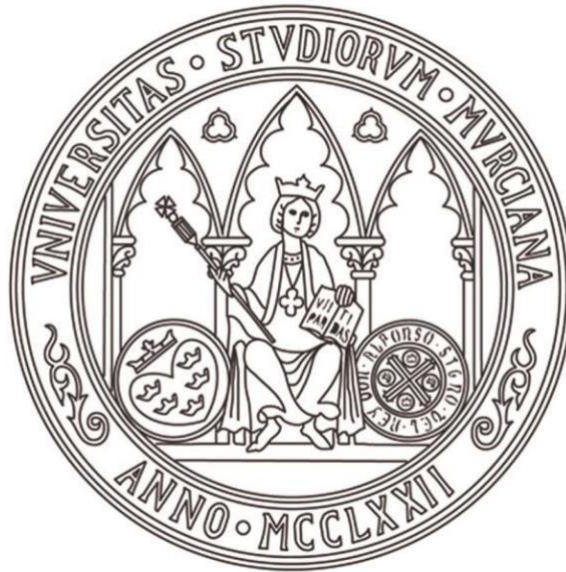
TESIS DOCTORAL

Aportaciones al estudio de la fiabilidad de aplicaciones para  
Smartphone simuladoras de inclinómetro

**D. Guillermo de la Encarnación Simarro**

**2023**





**UNIVERSIDAD DE MURCIA**

ESCUELA INTERNACIONAL DE  
DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

Aportaciones al estudio de la fiabilidad de  
aplicaciones para Smartphone simuladoras de  
inclinómetro

Autor: D. Guillermo de la Encarnación Simarro

Director: Dr. Ignacio Martínez González-Moro





**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD  
DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

*Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022*

D./Dña. Guillermo de la Encarnación Simarro

doctorando del Programa de Doctorado en

Medición y análisis del movimiento, el ejercicio físico y la discapacidad

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

Aportaciones al estudio de la fiabilidad de aplicaciones para Smartphone simuladoras de inclinómetro

y dirigida por,

D./Dña. Ignacio Martínez González-Moro

D./Dña.

D./Dña.

**DECLARO QUE:**

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

*Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:*

- La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 06 de julio de 2023

Fdo.: Guillermo de la Encarnación Simarro

*Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.*

| Información básica sobre protección de sus datos personales aportados |  |
|---|--|
| Responsable:  | Universidad de Murcia.<br>Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia.<br>Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es   |
| Legitimación:   | La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos   |
| Finalidad:  | Gestionar su declaración de autoría y originalidad   |
| Destinatarios:  | No se prevén comunicaciones de datos   |
| Derechos:   | Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia |





UNIVERSIDAD DE  
MURCIA

D. Ignacio Martínez González-Moro, Profesor Titular de Universidad del Área de Fisioterapia en el Departamento de Fisioterapia, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Aportaciones al estudio de la fiabilidad de aplicaciones para Smartphone simuladoras de inclinómetro", realizada por D. Guillermo de la Encarnación Simarro, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 22 de junio de 2023

Firmado por MARTINEZ GONZALEZ-MORO IGNACIO - \*\*\*3046\*\* el día 23/06/2023 con un certificado emitido por AC FNMT Usuarios

Mod:T-20





## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor, el doctor Ignacio Martínez González-Moro, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, por sus conocimientos y por su paciencia para reconducir mis agobios.

A Inés, por su ayuda y colaboración en el proyecto. A Lorena y Patrocinio, por ofrecerse voluntarias para participar como exploradoras. A todos los voluntarios que han participado desinteresadamente para que pudiéramos realizar las mediciones.

A mis padres, mi auténtico pilar, nada de lo que he conseguido habría sido posible sin vosotros. A mi hermana, mi “némesis”, por su ayuda y su participación. Y, en general, a toda mi familia, que siempre me ha apoyado.

A mis amigos, en especial a los que han participado en la realización del proyecto, con fotos, recomendaciones, ofreciéndose voluntarios... Todos sois una parte importante de este proyecto. A mis compañeros, Sergio y Raquel, por permitir el poder compaginar este proyecto con mi vida profesional y por su apoyo.

A Cris, mi mayor apoyo, en este y en todos mis proyectos, desde revisarme el texto, hasta ayudarme con las traducciones (no puede haber otra mejor). No puedes hacerte una idea de lo agradecido que te estoy. No exagero si digo que, sin ti, no habría sido capaz de hacer todo esto.

Y a mis abuelos, Juan y Julia, no ha pasado un día desde que os fuisteis en el que no haya pensado en vosotros, me habéis servido de inspiración y me habéis dado fuerzas hasta cuando ya no me quedaban. Esto va por vosotros.



# Índice

|   |     |
|---|-----|
| I. INTRODUCCIÓN .....   | 1   |
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 3   |
| II. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....   | 21  |
| 2. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....  | 23  |
| 2.1. Justificación .....  | 23  |
| 2.2. Hipótesis.....   | 24  |
| 2.3. Objetivos.....   | 24  |
| III. MATERIAL Y MÉTODO .....  | 25  |
| 3. MATERIAL Y MÉTODO .....  | 27  |
| 3.1. ESTUDIO 1: REVISIÓN SISTEMÁTICA SOBRE FIABILIDAD DE LAS APLICACIONES PARA <i>SMARTPHONE</i> SIMULADORAS DE INCLINÓMETRO..... | 27  |
| 3.2. ESTUDIO 2: FIABILIDAD DE LAS APLICACIONES EN LA MEDICIÓN DE LAS CURVAS DEL PLANO SAGITAL DEL RAQUIS.....                     | 32  |
| 3.3. ESTUDIO 3: FIABILIDAD INTRA E INTEROBSERVADOR EN EXPLORADORES EXPERTOS E INEXPERTOS.....                                     | 37  |
| IV. RESULTADOS.....   | 41  |
| 4. RESULTADOS.....  | 43  |
| 4.1. ESTUDIO 1: REVISIÓN SISTEMÁTICA.....   | 43  |
| 4.2. ESTUDIO 2: VALIDEZ DE LAS APLICACIONES EN COMPARACIÓN AL INCLINÓMETRO .....  | 60  |
| 4.3. ESTUDIO 3: VARIABILIDAD INTRAOBSERVADOR E INTEROBSERVADOR .....  | 66  |
| V. DISCUSIÓN.....   | 85  |
| 5. DISCUSIÓN .....  | 87  |
| VI. CONCLUSIONES .....  | 109 |
| 6. CONCLUSIONES.....  | 111 |
| VII. REFERENCIAS .....  | 113 |
| 7. REFERENCIAS.....   | 115 |
| VIII. ANEXOS.....   | 123 |
| Anexo I. Informe favorable del comité de ética .....  | 125 |
| Anexo II. Consentimiento informado segundo artículo.....  | 126 |
| Anexo III. Consentimiento informado tercer artículo .....   | 127 |
| Anexo IV. Escala PEDro. ....  | 128 |
| Anexo V. Producción científica de la tesis doctoral.....  | 130 |



## RELACIÓN DE ABREVIATURAS

AA - Asignación aleatoria

ABD - Abducción

ACV - Accidente cerebrovascular

AIT - Análisis por intención de tratar

AO - Asignación oculta

App - Aplicación

BP - Bipedestación

BVS - Biblioteca Virtual en Salud

CB - Grupos similares al inicio

CE - Criterios de elegibilidad especificados

CL - Curva lumbar

CEG - Comparación entre grupos

CMD - Cambio mínimo detectable

Cm - Centímetros

CROM - *Cervical range of motion*

CS - Curva sacra

C7 - Séptima vertebra cervical

DT - Desviación típica

ECA - Extensión cervical alta

ECB - Extensión cervical baja

ECO - Ecografía

EC - Exploradores cegados

ECE - Extensión cervical

EEM - Error estándar de la media

ELU - Extensión lumbar

EPV - Estimación de puntos clave y de variabilidad

ETL - Extensión toraco-lumbar

E - Extensión

FCB - Flexión cervical baja

FCA - Flexión cervical alta

FCE - Flexión cervical

FC - Flecha cervical

FL - Flecha lumbar

FLU - Flexión lumbar

FTL - Flexión toraco-lumbar

FS - Flecha sacra

FT - Flecha torácica

F - Flexión

H - Hombres

ICDB - Inclinación cervical derecha baja

ICIB - Inclinación cervical izquierda baja

ICC - Índice de Correlación Intraclase

IC - Intervalo de confianza

ICD - Inclinación cervical derecha

ICI - Inclinación cervical izquierda

IC - Índice cifótico

IL - Índice lordótico

IMC - Índice de masa corporal

INC - Inclinómetro

ITLD - Inclinación toraco-lumbar derecha

ITLI - Inclinación toracolumbar izquierda

Kg - Kilogramos

L2 - Segunda vértebra lumbar

M - Mujeres

m - metros

PEDro - *Physiotherapy Evidence Database*

PRISMA - *The Preferred Reported Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*

P - Pronación

RCDB - Rotación cervical derecha baja  
RCIB - Rotación cervical izquierda baja.  
RCD - Rotación cervical derecha  
RCI - Rotación cervical izquierda  
RE – Rotación externa  
RSI - *Rotating Sphere Inclinator*  
Rx - Radiografía  
SA - Seguimiento adecuado  
SC - Sujetos cegados  
S2 - Segunda vértebra sacra  
S3 - Tercera vértebra sacra  
S - Supinación  
TC - Terapeutas cegados  
T10 - Décima vértebra torácica  
US – Ultrasonidos





## **RESUMEN**

### **Objetivos**

Analizar la literatura existente en relación a la validez, fiabilidad intra-observador y fiabilidad inter-observador en la valoración de la movilidad de la columna y de las curvas sagitales del raquis mediante aplicaciones para *Smartphone* simuladoras de inclinómetro. Determinar la validez de dos aplicaciones con respecto a un inclinómetro tradicional en la medición de las curvas sagitales del raquis, y establecer si existen diferencias en función del género de los sujetos explorados. Determinar la fiabilidad intra-observador de exploradores expertos y exploradores inexpertos con una de estas aplicaciones. Establecer la influencia de la experiencia del observador sobre la fiabilidad inter-observador en el uso de estas aplicaciones.

### **Material y método**

Se realizaron tres estudios independientes: el primer estudio respondía al primer objetivo, el segundo cumplía el segundo objetivo, y el tercero daba respuesta de forma conjunta al tercer y cuarto objetivos.

El primer trabajo fue una revisión sistemática de la literatura, en la que se analizó la validez de las aplicaciones en comparación con otros instrumentos de medición, y la fiabilidad intra e inter-observador. En el segundo estudio, se realizó un análisis comparativo entre un inclinómetro tradicional y dos aplicaciones para *Smartphone* simuladoras de inclinómetro, con un grupo de voluntarios. Se midió la cifosis dorsal en tres posiciones diferentes: bipedestación relajada, sedestación relajada y flexión anterior en bipedestación.

En el tercer estudio, se realizaron las mediciones por un explorador experto y por dos exploradoras inexpertas, con un inclinómetro y con una de estas aplicaciones. Se midieron la cifosis dorsal y la lordosis lumbar en dos posiciones diferentes: bipedestación relajada y bipedestación corregida.

## **Resultados**

La mayoría de estudios analizados en la revisión sistemática reportaron correlaciones excelentes de las aplicaciones, tanto en comparación con otros elementos de valoración como con respecto a la variabilidad intra e inter-observador. Existe evidencia escasa de que la fiabilidad de las aplicaciones disminuye cuando los pacientes presentan dolor en la zona que se valora.

Las dos aplicaciones utilizadas en el estudio de validez obtuvieron una correlación excelente en las tres posiciones de medición, y no se observaron diferencias en relación al género del participante explorado.

Con respecto a la variabilidad intra-observador, el explorador experto obtuvo correlaciones excelentes con diferencias de medias bajas. Las exploradoras inexpertas obtuvieron correlaciones excelentes en las cifosis, con diferencias entre las medias de ambas mediciones bajas. En las lordosis, la exploradora parcialmente inexperta obtuvo correlaciones bajas, y la exploradora totalmente inexperta obtuvo correlaciones buenas, ambas con diferencias entre las medias similares.

En cuanto a la variabilidad inter-observador, se observaron correlaciones excelentes en las cifosis, con diferencias en las medias pequeñas. En las lordosis, entre el explorador experto y la exploradora parcialmente inexperta, se obtuvieron correlaciones bajas, y con la exploradora totalmente inexperta se obtuvieron correlaciones buenas, aunque las diferencias entre las medias fueron superiores en esta exploradora.

## Conclusiones

- Las aplicaciones muestran una alta validez y fiabilidad inter e intra-observador al valorar la movilidad del raquis y/o las curvas sagitales. Esta fiabilidad disminuye en pacientes con dolor, aunque sigue siendo elevada.
- Las dos aplicaciones analizadas muestran una correlación excelente con el inclinómetro al medir las curvas del plano sagital del raquis, y no existen diferencias en función del género del participante explorado.
- Las aplicaciones tienen una alta fiabilidad intraobservador en exploradores expertos, pero esta disminuye en exploradores inexpertos. A pesar de ello, no se observan grandes diferencias en exploradores inexpertos.
- Las aplicaciones presentan una elevada fiabilidad inter-observador al comparar exploradores expertos e inexpertos si se mide la cifosis dorsal, pero esta fiabilidad es baja si se evalúa la lordosis lumbar

**Palabras clave:** Raquis, Inclinómetro, *Smartphone*, Aplicación, Sagital



## **ABSTRACT**

### **Objectives**

To analyze the existing literature with respect to validity, intra-observer reliability and inter-observer reliability in the assessment of rachis mobility and sagittal curves of the spine using Smartphone inclinometer apps. To compare the validity between two applications and a traditional inclinometer in the measurement of the sagittal curves of the spine, and to establish whether there are differences depending on the gender of the subjects examined. To determine the intra-observer reliability of expert and inexperienced scanners with one of these applications. To establish the influence of observer experience on inter-observer reliability in the use of these applications.

### **Material and method**

Three independent studies were carried out: the first study responded to the first objective, the second fulfilled the second objective, and the third answered jointly to the third and fourth objectives.

The first study was a systematic review of the literature, which analyzed the validity of the applications in comparison with other measurement instruments, and intra and inter-observer reliability. In the second study, a comparative analysis between a traditional inclinometer and two Smartphone inclinometer apps was performed with a group of volunteers. Dorsal kyphosis was measured in three different positions: relaxed standing, relaxed sitting and anterior flexion in standing.

In the third study, measurements were performed by an expert explorer and by two inexperienced explorers, with an inclinometer and with one of these applications. Dorsal kyphosis and lumbar lordosis were measured in two different positions: relaxed standing and corrected standing.

## Results

Most of the studies analyzed in the systematic review reported excellent correlations of the apps, both in comparison with other assessment elements and with respect to intra and inter-observer variability. There is little evidence that the reliability of the apps decreases when patients have pain in the region being assessed.

The two apps used in the validity study obtained an excellent correlation in the three measurement positions, and no differences were observed according to the gender of the participant being scanned.

With respect to intra-observer variability, the expert explorer obtained excellent correlations with low mean differences between first and second measurement. The inexperienced explorers obtained excellent correlations in kyphosis, with low mean differences between both measurements. In lordosis, the partially inexperienced explorer obtained low correlations, and the totally inexperienced explorer obtained good correlations, both with similar differences between means.

Regarding inter-observer variability, excellent correlations were observed in kyphosis, with small mean differences between measurements. In lordosis, low correlations were obtained between the expert explorer and the partially inexperienced explorer, and good correlations were obtained with the totally inexperienced explorer, although the differences between the means were higher in this explorer.

## **Conclusions**

- The applications show high validity, and intra and inter-observer reliability when assessing spinal mobility and/or sagittal curves. This reliability decreases in patients with pain, although it remains high.
- The two applications analyzed show an excellent correlation with the inclinometer when measuring the sagittal curves of the rachis, and there are no differences according to the gender of the participant being scanned.
- The apps have a high intra-observer reliability in expert explorers, but this decreases in inexperienced ones. Despite this, no big intra-observer differences are observed in inexperienced explorers.
- The applications have high inter-observer reliability when comparing expert and inexperienced explorers in the measurement of dorsal kyphosis, but this reliability is low when assessing lumbar lordosis.

**Keywords:** Rachis, Inclinometer, Smartphone, App, Sagittal.





# **I. INTRODUCCIÓN**



## **1. INTRODUCCIÓN**

Una correcta alineación del raquis es aconsejable para llevar una vida saludable, exenta de dolores y patologías. Las desalineaciones del raquis, en cualquiera de sus planos, están asociadas a mayor incidencia de dolor y discapacidad, y a una disminución de la calidad de vida (1,2). Se estima que alrededor de un 80% de la población mundial tendrá dolor lumbar en algún momento de su vida (3,4), y es la primera causa de discapacidad en el mundo (3,5). La prevalencia del dolor torácico está cifrada en un 30% en la población adulta trabajadora (6), mientras que la del dolor cervical aumenta a un 42% (7). Estos datos marcan la importancia de una buena valoración de la alineación del raquis.

Se puede dividir la exploración del raquis en dos planos diferentes. El primero es el plano frontal, en el cual este presenta una disposición lineal en condiciones de normalidad. Se denomina escoliosis a la aparición de una curvatura lateral en el raquis mayor de  $10^{\circ}$ , medido sobre una radiografía anteroposterior (8). La medición de esta curva se realiza mediante el llamado ángulo de Cobb (Figura 1), el cual se mide trazando dos líneas paralelas a la parte superior del cuerpo vertebral de la vértebra superior de la curva y a la parte inferior del cuerpo de la vértebra inferior de la misma, determinando el ángulo que forman estas dos líneas (9). A pesar de que la valoración de esta curva patológica se realiza únicamente en el plano frontal, la escoliosis estructurada implica una desalineación tridimensional, ya que supone una curvatura en el plano frontal, una flexión lateral en el plano sagital y una rotación vertebral en el plano transversal (10).

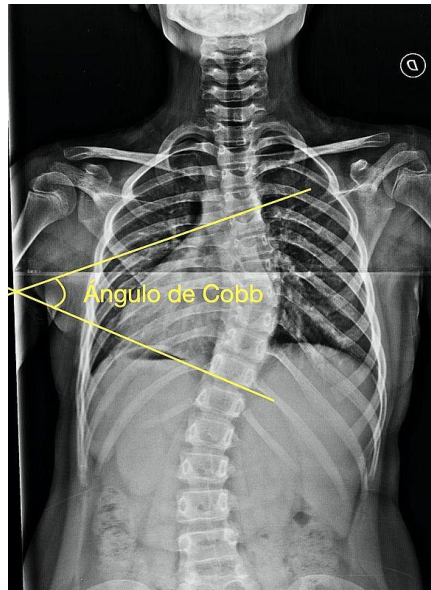
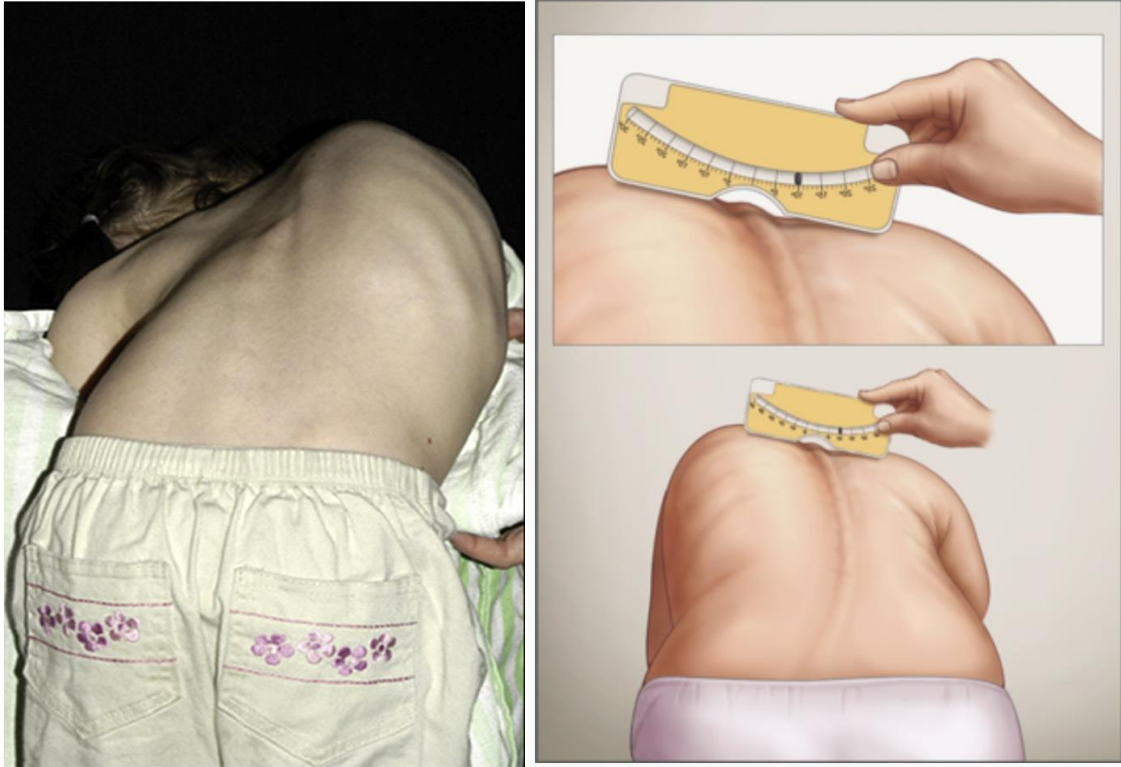


Figura 1. Ángulo de Cobb en una radiografía anteroposterior (Ortopedia Plantía. Ángulo de Cobb y escoliosis. Internet. Consultado el 26 de febrero de 2023. Disponible en <https://plantiaortopedia.com/angulo-de-cobb-y-escoliosis/>)

Como ya hemos mencionado anteriormente, la escoliosis supone una desviación en los tres planos del espacio. La rotación de los cuerpos vertebrales se produce hacia la convexidad de la curva, mientras que, por consiguiente, las apófisis espinosas rotan en dirección contraria a la convexidad. Tal hecho permite valorar la escoliosis mediante el test de Adams, que consiste en una flexión anterior del tronco, observando la prominencia que aparecerá en uno de los dos lados de la columna debido a esa rotación vertebral, lo cual se denomina giba escoliótica (figura 2) (10). Esta giba se puede medir mediante un instrumento denominado *scoliometer* (figura 3), que permite cuantificar la escoliosis sin necesidad de realizar una radiografía. La medición mediante el método mencionado ha demostrado ser fiable y comparable al cálculo del ángulo de Cobb en la radiografía (11), con una buena fiabilidad intra-observador (12).

La maniobra de la flexión anterior, además, se utiliza para comprobar si la escoliosis se encuentra estructurada o si, por el contrario, nos encontramos ante una actitud escoliótica o escoliosis funcional, de la siguiente manera: si se observa a un paciente en bipedestación en el que se aprecia una desalineación en el plano frontal, pediremos una flexión anterior; si al realizarla aparece la giba, la escoliosis será estructurada; si no, será una actitud escoliótica. Esta actitud

puede ser provocada por diversas causas, como una disimetría de miembros inferiores, una báscula pélvica de algún tipo o una posición antálgica. (10)



Figuras 2 y 3. Giba escoliótica en una flexión anterior (8) y Scoliometer (Sam Masur, Med-Ped Forum Talk. Blog en Internet. Consultado el 01 de marzo de 2023. Disponible en <https://brownmedpedsresidency.org/scoliosis/>)

El otro plano del raquis es el plano sagital, el cual presenta cuatro curvas fisiológicas en condiciones de normalidad: dos cifosis, dorsal y pélvica o sacra, y dos lordosis, cervical y lumbar. En la lordosis cervical, se considera normalidad rangos entre  $10^{\circ}$  y  $25^{\circ}$  (13). En la cifosis dorsal, el rango de normalidad se sitúa entre  $20^{\circ}$  y  $40-45^{\circ}$  (14,15). En la lordosis lumbar, este rango se cifra entre  $26^{\circ}$  y  $58^{\circ}$  (16), mientras que para la curva sacra se ubica entre  $14^{\circ}$  y  $23^{\circ}$  (17).

Se considera deformidad o desalineación al aumento de estas curvas, pudiéndose dar una hiperlordosis o hipercifosis, a la disminución o rectificación de las mismas, lo cual dará lugar a un dorso plano, e incluso la inversión de estas

curvas sagitales, lo cual dará lugar a una lordosis dorsal o una cifosis cervical o lumbar (Figura 4) (18).

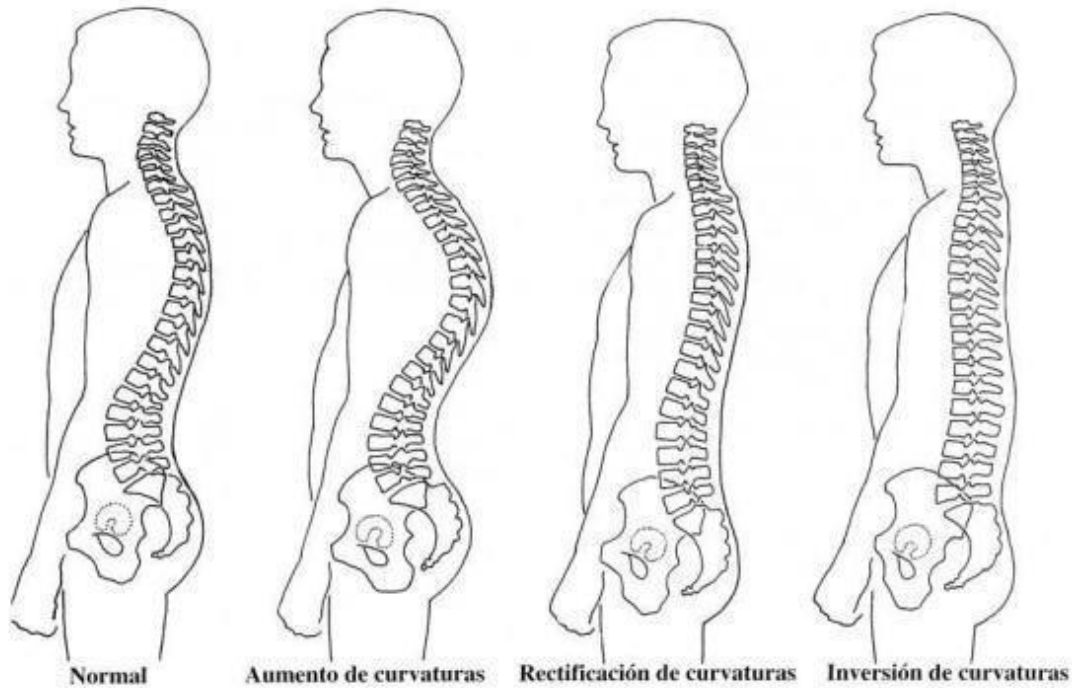


Figura 4. Distintas curvaturas del plano sagital. Tomado de (18)

La mala alineación del plano sagital del raquis está relacionada con un aumento del riesgo de lesión y/o dolor, un deterioro de la calidad de vida y la percepción de la misma, disminución del equilibrio y aumento del riesgo de caídas (19,20). Dentro de las desalineaciones del raquis, la hipercifosis dorsal es la más frecuente, la cual se define como un aumento de la convexidad de la columna dorsal de más de 40 o 45° (14,21). Esta desviación se asocia con mayor prevalencia de dolor de espalda, disminución de la movilidad, fracturas vertebrales y mayor prevalencia de dolor y patologías de hombro (19,20). La hipercifosis va en aumento con la edad (15), su prevalencia es del 20 al 40% en mayores de 60 años, y asciende hasta el 55% en mayores de 70 (21,22), y su incidencia es del 15,3% en niños de 11 años, 38% en adultos de 20 a 50 años y 35% en adultos entre 20 y 64 años (14).

En la evaluación del plano sagital del raquis, la radiografía lateral de columna está considerada el *gold standard* (9). A pesar de ello, existen otros métodos que suponen menor coste y son más rápidos, como puede ser el cálculo de las flechas sagitales, mediante la valoración con una plomada y una regla, o la medición con inclinómetro. En cuanto a la primera, consiste en colocar una plomada siguiendo la línea de las apófisis espinosas, y en contacto con la zona más prominente de la columna que, a menudo, será la zona dorsal. Desde aquí, con una regla, mediremos en milímetros la distancia desde la plomada al dorso del paciente, en cuatro puntos diferentes: flecha cervical (FC), a nivel de C7; flecha torácica (FT), a nivel de la mayor convexidad de la curva dorsal, en la mayoría de casos entre T6-T8; flecha lumbar (FL), a nivel de la zona de mayor concavidad, habitualmente L3-L4; y flecha sacra (FS), a nivel del inicio del pliegue interglúteo, que generalmente coincide con S2-S3 (18,23,24).

Estas medidas sirven para calcular los llamados índice cifótico (IC) y lordótico (IL), propuestos por Santonja (25,26). Estos se calculan de dos formas distintas, en función de que la flecha torácica sea igual a cero o mayor (18,25,27). Si el valor de la flecha torácica es igual a cero, se calculan mediante las siguientes fórmulas:

|                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| $IC = (FC + FL + FS)$ | $IL = FL - \frac{1}{2} FS$ |
|-----------------------|----------------------------|

Si el valor de la flecha torácica es mayor de cero, las fórmulas cambian a las siguientes:

|                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| $IC = (FC + FL)/2 - FT$ | $IL = FL - \frac{1}{2} FT$ |
|-------------------------|----------------------------|

Se establecen los valores de normalidad de estos índices de entre 20 y 65 para el cifótico, y entre 20 y 40 para el lordótico (24,28). La importancia del cálculo de estos índices reside, entre otras cosas, en la valoración de si existe

una estructuración o no en el aumento en las curvas del plano sagital. Esto se analiza utilizando la llamada postura de autocorrección, propuesta por Santonja (25–27). Esta posición consiste en pedir al paciente que corrija su postura, realizando un estiramiento axial de la columna, como si tratara de crecer. En los pacientes que presenten una hipercifosis, se volverán a medir las flechas sagitales en esta posición, y a calcular el índice cifótico. Para este nuevo índice, se considera normalidad entre 20 y 35; con valores entre 37 y 50 existe una tendencia a la estructuración de la curva; y con un valor superior a 50, la estructuración de la cifosis será clara (18,25,27). En caso de que la hipercifosis se corrija al realizar esta maniobra, se hablará de una actitud cifótica y no de una cifosis estructurada (18,24,26).

Por otro lado, en cuanto a la evaluación con los inclinómetros, (figura 5), estos son unos dispositivos que permiten realizar una medición angular del rango de movimiento de cualquier articulación, así como de las curvas del raquis, ya sea en el plano frontal o sagital. Estos elementos de valoración han mostrado tener una fiabilidad comparable a la que se puede obtener con la radiografía lateral en la medición del plano sagital del raquis (29).

Para medir la cifosis dorsal se dispone la pata superior del inclinómetro sobre C7, la vértebra más prominente, colocando el inclinómetro a  $0^{\circ}$ , y se desciende hasta donde se obtenga el mayor valor angular, es decir, hasta el punto de inflexión de la curva (24). Desde aquí, para evaluar la lordosis lumbar, volvemos a colocar el inclinómetro a  $0^{\circ}$  y volveremos a descender hasta obtener de nuevo el máximo valor angular, o bien, hasta el inicio del pliegue interglúteo, que coincidirá con la segunda vértebra sacra (18,24)



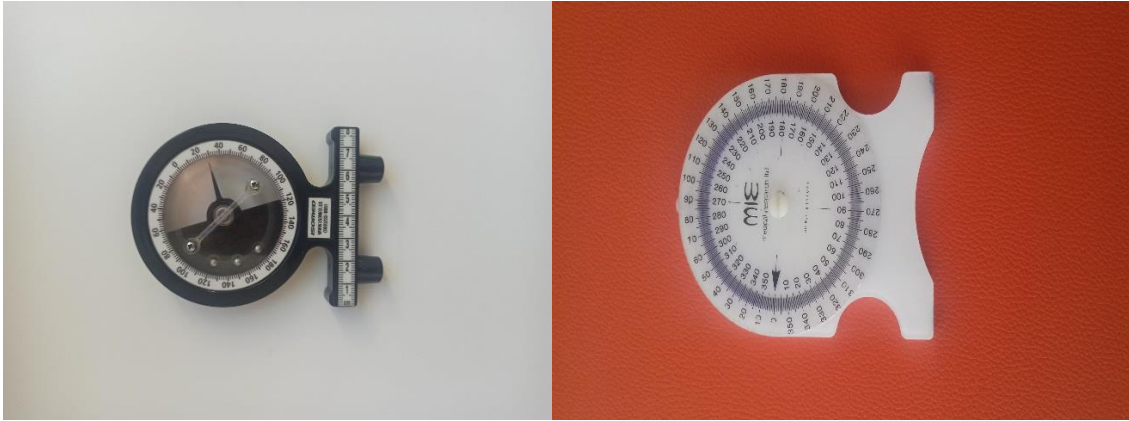


Figura 5. Inclinómetros tradicional y de burbuja

Aunque la posición de bipedestación es la más típica a la hora de valorar el plano sagital del raquis mediante el inclinómetro, existen otras posiciones las cuales nos darán una evaluación más integral y completa de esta exploración, como son la sedestación y la flexión anterior de tronco. La primera se realiza colocando al paciente sentado sobre una camilla, en posición relajada, con el hueso poplíteo totalmente pegado a la misma y los brazos entre las piernas. La segunda consiste en pedir al paciente una flexión anterior completa de columna, ya sea en sedestación o en bipedestación. La normalidad para la posición de sedestación se considera entre  $20-40^{\circ}$  para la cifosis dorsal y  $0-19^{\circ}$  para la lordosis lumbar. En flexión anterior, se consideran valores normales aquellos comprendidos entre  $40-65^{\circ}$  para la cifosis y  $10^{\circ}-30^{\circ}$  para la lordosis (24).

Debido al crecimiento de la tecnología en los últimos años, se han desarrollado una serie de aplicaciones para dispositivos *Smartphones* que simulan la acción de algunos de los elementos que se utilizan en la valoración en medicina y fisioterapia, como los goniómetros, los inclinómetros o el *Scoliometer*. Esto es posible gracias a que los *Smartphones* contienen sensores capaces de detectar el movimiento del dispositivo (30,31), que son el acelerómetro (32,33) y el giroscopio (34). El acelerómetro es utilizado para medir cantidad, frecuencia y dirección de movimiento (35,36), y permite al *Smartphone* conocer su posición en los tres ejes del espacio, permitiendo acciones como, por ejemplo, girar la pantalla cuando el teléfono cambia de posición. El giroscopio,

aunque no está presente en todos los terminales móviles, permite también registrar el movimiento rotacional del dispositivo, aumentando la precisión en este aspecto.

También existen otras maneras de realizar una medición de forma digital, como por ejemplo la aplicación para *Smartphone DrGoniometer*<sup>®</sup> (figura 6), que realiza el análisis de una fotografía para medir la amplitud articular. Este procedimiento anteriormente se realizaba mediante una fotografía efectuada con una cámara fotográfica, descargada en un ordenador para después analizarla con un programa informático. Esta aplicación, a través de la cámara digital incluida en los *Smartphone*, reduce y simplifica el proceso. Se ha demostrado su fiabilidad con respecto a un goniómetro tradicional en relación a la medición del rango articular de la rodilla (37). También se ha probado la fiabilidad de esta aplicación para medir la dorsiflexión de la primera articulación metatarsfalángica, con una fiabilidad inter e intra-observador de moderada a alta (38), y para medir la rotación externa de la tibia con la rodilla flexionada y el paciente de pie, demostrando una aceptable validez comparada con el goniómetro universal y con una aceptable fiabilidad intraobservador (39).

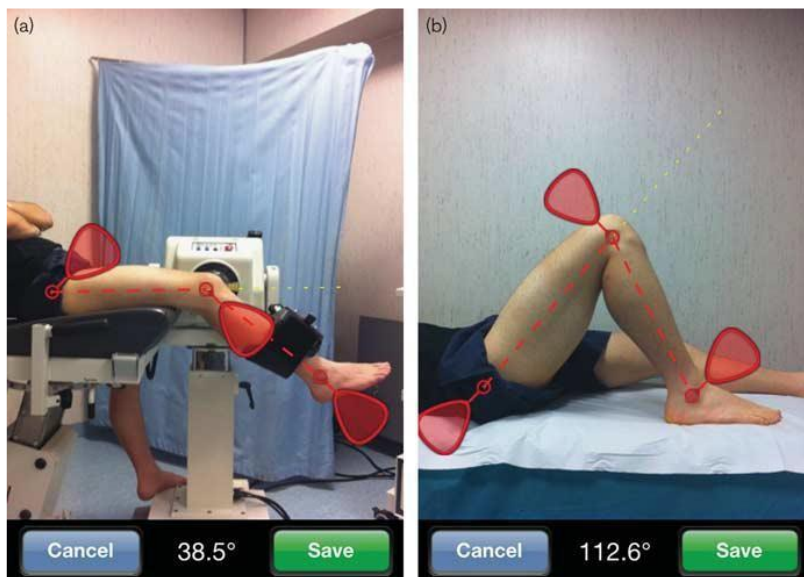


Figura 6. Aplicación DrGoniometer<sup>®</sup>. Tomado de (37)

Como ya hemos mencionado anteriormente, el goniómetro es uno de los elementos de medición que son reproducidos por aplicaciones para *Smartphone*. El goniómetro es uno de los dispositivos más utilizados en la evaluación del rango de movimiento de las diferentes articulaciones del cuerpo, el cual ha demostrado ser fiable y tener una buena correlación intra e inter-observador en la medición del rango de movilidad de las articulaciones del miembro superior (40,41), miembro inferior (42,43) y del raquis (44,45). Existe evidencia en la literatura de que las aplicaciones que simulan la acción de este dispositivo son comparables al mismo, y presentan una buena fiabilidad intra e inter-observador (46–49).

El *Scoliometer* es otro de los dispositivos que pueden ser simulados por los teléfonos inteligentes. Además, existe un adaptador llamado *Scolioscreen*® (Figura 7) que permite asemejar aún más el *Smartphone* a un *Scoliometer*. Una de las aplicaciones que realiza este efecto es *Scoligauge*®, la cual ha resultado ser fiable para medir la giba en el test de Adams. Además, la fiabilidad de la medición aumenta al realizarla con el adaptador con respecto a únicamente con el teléfono inteligente (50).



Figura 7. Adaptador Scolioscreen®. Scoliosis [sede Web]. Boston: National Scoliosis Foundation; 2014 [acceso 20 de marzo de 2023]. Scolioscreen. Disponible en <http://www.scoliosis.org/store/scolioscreen.php>

Por otro lado, se encuentran las aplicaciones que simulan la acción de los inclinómetros. Ya existen algunos estudios que tratan de probar la fiabilidad de estas aplicaciones y compararlas con un inclinómetro real u otros elementos de valoración. Estas investigaciones han probado las aplicaciones tanto en la valoración de la movilidad de articulaciones de los miembros, superiores e inferiores (51–63), así como diferentes movimientos del raquis y sus planos (64–75). De igual modo, algunas de ellas han utilizado a participantes asintomáticos y/o sin patología (50–54, 63–71) mientras que en otras en cambio han optado por analizar esta fiabilidad en personas con alguna patología, dolencia o limitación (55–62, 64, 72–74).

En cuanto a los estudios que valoran articulaciones de los miembros, existen algunos trabajos que han utilizado pacientes asintomáticos para sus investigaciones. Uno de ellos es el estudio de Behnoush et al. (51), en el que compararon la fiabilidad de un software que recreaba un inclinómetro de burbuja con respecto a la de un goniómetro universal en la valoración de la flexión, pronación y supinación activas de codo. Esta investigación concluyó que existía una alta correlación entre la aplicación y el goniómetro universal en la medición de estos movimientos.

En esta misma línea, la investigación de Boissy et al. (52) valoró una de estas aplicaciones, concretamente una llamada *Gyroscope*® instalada en un dispositivo *iPod Touch*® en la medición de la flexión, abducción y rotación externa activas de hombro, y lo compararon con un programa de valoración en 3D. Esta vez se pudo observar que los datos que pueda arrojar esta aplicación han de ser tomados con precaución, ya que no obtuvieron una correlación fiable. Sin embargo, pudieron determinar que el movimiento de rotación externa fue el que más correlación obtuvo durante la comparación.

Tanto los estudios de Williams et al. (53) como el de Yoon et al (54) utilizaron la aplicación *Tiltmeter*®, instalada en un *iPhone*® y compararon su

fiabilidad con la de un inclinómetro digital. Los primeros la probaron al medir la dorsiflexión de tobillo mediante el test de *Lunge*; los segundos, en el test para el ángulo de prominencia del trocánter. Ambos estudios se realizaron en pacientes sin patologías. Las dos investigaciones concluyeron que la aplicación era fiable y obtuvieron una buena correlación con el inclinómetro.

Otro artículo en el que se valoró la dorsiflexión de tobillo mediante el test de *Lunge* es la de Vohralik et al. (55) en la cual utilizaron la aplicación *iHandy Level*®. Para comparar su fiabilidad, también midieron pacientes asintomáticos con un inclinómetro tradicional y con un dispositivo *Fastrak*, mediante una tobillera. Se pudo comprobar que esta aplicación era fiable al compararla con los otros métodos de valoración. También Morales et al. (76) midieron la dorsiflexión de tobillo en el test de *Lunge*, utilizando la aplicación de inclinómetro preinstalada de un dispositivo *iPhone*®. En este caso, se valoró para la investigación a pacientes asintomáticos mayores de 65 años. Compararon esta medición con la realizada con un goniómetro universal y otra mediante un sistema de medición con tape pegado en el suelo. Al igual que los anteriores, la aplicación resultó válida y fiable al medir este movimiento en este grupo de población.

Como ya se mencionó antes, también existen artículos que probaron aplicaciones que simulan la acción del inclinómetro en pacientes que presentan algún tipo de patología o alteración. Es el caso del estudio de Cox et al. (56), en el cual utilizaron una aplicación llamada *Clinometer*® para medir la flexión plantar de pacientes que presentaban dolor músculo-esquelético (no necesariamente de tobillo). Compararon esta aplicación con un goniómetro universal, y concluyeron que la medición de este movimiento con *Clinometer*® era válida. Un estudio similar al anterior es el de Shin et al. (57), ya que también utilizaron esta misma aplicación y la compararon con un goniómetro universal. Esta vez utilizaron pacientes con dolor de hombro unilateral, a los cuales valoraron la movilidad de esta articulación tanto activa como pasiva. Estos autores también coinciden con la anterior investigación, ya que observaron que la fiabilidad de la aplicación era comparable a la del goniómetro.

Otro trabajo que también utilizó la aplicación *Clinometer*® es el de Vauclair et al. (58), en el cual midieron la movilidad activa del codo en pacientes que habían sufrido una fractura de olécranon que ya hubiera consolidado. Al igual que las dos investigaciones anteriores también la compararon con un goniómetro universal, pero estos autores también incluyeron una medición mediante la estimación visual y otra por radiografía. Este estudio concluyó que, a pesar de que se obtuvo una correlación aceptable con la aplicación, se debe utilizar con precaución, puesto que la fiabilidad era menor en los movimientos de flexión y supinación.

Similar al anterior es el estudio de Koong et al. (59), ya que también valoraron la movilidad del codo en pacientes con fractura en el mismo, pero en este caso utilizaron a pacientes pediátricos. Estos autores utilizaron la aplicación *Angle Meter*® y la compararon con la estimación visual y con un goniómetro. La investigación obtuvo una gran correlación inter-observador, y concluyó que esta aplicación era válida y fiable para valorar la movilidad del codo.

Otro estudio en el que se midió a pacientes traumatológicos fue el de Jenny et al. (60), en el cual utilizaron una de las aplicaciones simuladoras de inclinómetro (en el artículo no mencionan el nombre). Estos autores utilizaron a pacientes en preoperatorio para una artroplastia total de rodilla, y compararon esta medición con otra aplicación que utiliza un sistema de navegación mediante la cámara del *Smartphone* para valorar la movilidad articular. Se encontró que ambas aplicaciones son válidas, aunque, según los autores, la aplicación que utilizaba la cámara era más fiable. Sin embargo, en este artículo no se comparan las aplicaciones con ningún otro sistema de valoración tradicional.

La aplicación *GetMyROM*® fue valorada en dos estudios, el de Mejía et al. (61) y el de Lin et al. (62), y ambos midieron el rango articular del hombro, aunque las poblaciones utilizadas eran muy diferentes. El primero utilizó a pacientes con patología de hombro, y compararon la medición con un goniómetro

universal, uno digital y una estimación visual; el segundo, a pacientes que hubieran sufrido un ACV, a los cuales solo se les valoró la movilidad pasiva, y la compararon con un inclinómetro tradicional. Las dos investigaciones concluyeron que esta aplicación era válida y fiable, y comparable a los otros métodos de valoración para las poblaciones estudiadas.

El artículo de Werner et al. (63) valoró en dos grupos diferentes tanto a pacientes asintomáticos como a sujetos con implantación de una prótesis de hombro entre 6 y 12 semanas antes de las mediciones. En esta investigación se utilizó la aplicación *Clinometer*® instalada en un *iPhone*®, y se valoró la flexión, abducción y rotaciones de hombro. Se compararon estos valores a los de la medición mediante estimación visual y con un goniómetro. La conclusión del estudio fue que existe una excelente correlación en las mediciones tanto en los pacientes asintomáticos como en los pacientes protésicos.

Por otro lado, como ya se comentó antes, existen estudios que utilizan estas aplicaciones para valorar no solo la movilidad de los miembros, sino también la del raquis. Muchos de estos estudios utilizaron aplicaciones que ya hemos mencionado en las anteriores investigaciones. Es el caso de Kolber et al. (64), que utilizó la aplicación *iHandy Level*® instalada en un *iPhone*®. En este estudio se midió la flexión y extensión toracolumbar y la flexión e inclinación lateral lumbar en pacientes que no presentaban lumbalgia en el momento de la valoración, y se comparó esta medición a la obtenida con un inclinómetro tradicional de burbuja. Se pudo comprobar que esta aplicación es válida y comparable al inclinómetro al valorar estos movimientos. La investigación de De Brito (65) también utilizó esta aplicación al valorar la movilidad de la columna lumbar, solo que en este caso separó dos grupos de población, uno con pacientes asintomáticos y otro con personas con dolor lumbar. Se comparó estas mediciones con la efectuada por un inclinómetro tradicional, y se determinó que existía una buena correlación intraobservador y que la aplicación era fiable al medir la movilidad lumbar.

Otra aplicación ya mencionada anteriormente como es *Tiltmeter*® también se utilizó en la valoración de la flexión y la extensión lumbar en el estudio de Pourahmadi et al. (66), en el cual seleccionaron a sujetos asintomáticos, y la compararon a un inclinómetro tradicional. Al igual que en el estudio anterior, se pudo comprobar que existía una excelente correlación entre las mediciones tanto intra como inter-observador.

Una de las aplicaciones más estudiadas es *Clinometer*®, cuya fiabilidad también ha sido probada en la valoración del raquis en diferentes investigaciones. Un ejemplo es el estudio de Bucke et al. (67), que utilizaron esta aplicación para valorar la rotación torácica en sedestación en pacientes asintomáticos, y compararon esta medición con una realizada con un inclinómetro digital y otra realizada mediante un sensor de movimiento combinado con ecografía. Pudieron determinar que esta aplicación era válida y comparable a los otros dos métodos de valoración. Otra de las investigaciones que probaron esta aplicación fue la de Ullucci et al (68), en la que compararon entre sí la aplicación instalada en un *iPhone*® y en un dispositivo *Android*®, aunque no la compararon con ningún otro instrumento de valoración tradicional. En este caso midieron la flexión cervical alta pasiva, también en pacientes sin patología, y observaron que la fiabilidad era alta en ambos sistemas operativos.

Existen otros tres trabajos más que probaron la fiabilidad de *Clinometer*®, aunque estos tres artículos también utilizaron otra aplicación más, *Compass*®, todos ellos valorando la movilidad cervical. Son los estudios de Laflamme et al. (69), Ghorbani et al. (73) y Rodriguez-Sanz et al (74). El primero utilizó a pacientes asintomáticos; el segundo, a pacientes con dolor cervical inespecífico; y el tercero, a pacientes con dolor cervical crónico. Los tres compararon las aplicaciones con el *CROM device* (figura 8), un dispositivo formado por tres inclinómetros muy utilizado en la valoración de la movilidad cervical. Además, Ghorbani et al. (73) también las compararon con un inclinómetro digital. Los tres artículos obtuvieron excelentes correlaciones entre las aplicaciones y los otros instrumentos de valoración, aunque de acuerdo con la investigación de



Laflamme et al. (69) la fiabilidad inter-observador era menor que la intra-observador.



Figura 8. CROM device. Tomado de (77)

El estudio de Guidetti et al (70) también valoró la movilidad del raquis cervical, en este caso con la aplicación *Compass*®. Para esta investigación se reclutaron pacientes voluntarios que no presentasen dolor o patología en el momento de la medición. Valoraron la flexión, extensión e inclinación lateral cervical, y la compararon con la medición efectuada con un inclinómetro tradicional. Se pudo observar que esta aplicación era válida y fiable en la medición de la movilidad cervical al compararla con el inclinómetro.

A pesar de que la producción científica es sustancialmente menor, también existen ciertos trabajos que han evaluado estas aplicaciones en la valoración del plano sagital del raquis. En el estudio de Salamh et al (71) utilizaron la aplicación *iHandy Level*® para medir la lordosis lumbar en bipedestación, y la compararon con un inclinómetro de burbuja. Koumantakis et

al (72) realizaron una medición de las curvas lumbosacras en bipedestación, también con la aplicación *iHandy Level*®, e igualmente la compararon con un inclinómetro de burbuja. En el artículo de Huang et al (75) usaron el inclinómetro digital incorporado de forma predeterminada en el *Smartphone*, y lo compararon con un método de valoración mediante radiografía. En las tres investigaciones se pudo observar que estas aplicaciones son fiables y comparables a los métodos de referencia utilizados.

Como se ha podido comprobar, existen diferentes maneras de realizar una medición o valoración de un paciente mediante el uso de un *Smartphone*, a través de diferentes aplicaciones que simulan la acción de elementos de valoración tradicionales. El uso del *Smartphone* dentro del ámbito de las ciencias de la salud podría ser una alternativa viable por su fácil accesibilidad y uso, así como el hecho de poder disponer de varios elementos de valoración solo con un teléfono inteligente. A continuación, en las siguientes tablas (tablas 1 y 2), se muestra un resumen de las investigaciones más relevantes realizadas con las aplicaciones al valorar los miembros y el raquis, respectivamente:

Tabla 1. Resumen de los artículos que evalúan los miembros

| Autor y año         | Articulación y movimiento                    | Población                                       | Aplicación            | Comparación                        | Conclusión   |
|---------------------|--|---|-----------------------|------------------------------------|--|
| Behnoush, 2016 (51) | Flexión y pronosupinación de codo            | Asintomáticos                                   | No se menciona        | Goniómetro universal               | Alta validez y fiabilidad                          |
| Boissy, 2016 (52)   | F, ABD y RE de hombro                        | Asintomáticos                                   | <i>Gyroscope</i> ®    | Valoración en 3D                   | Fiable en RE, precaución en otros movimientos      |
| Cox, 2018 (56)      | Flexión plantar de tobillo                   | Pacientes con dolor músculo-esquelético         | <i>Clinometer</i> ®   | Goniómetro universal               | La aplicación es válida                            |
| Jenny, 2016 (60)    | Flexión de rodilla                           | Pacientes preoperatorios de prótesis de rodilla | No se menciona        | Medición con cámara del móvil      | Ambas aplicaciones fiables, pero más la cámara     |
| Koong, 2020 (59)    | Flexión, extensión y pronosupinación de codo | Pacientes pediátricos con lesión de codo        | <i>Angle meter</i> ®  | Estimación visual y goniómetro     | La aplicación es válida y fiable                   |
| Lin, 2019 (62)      | Movilidad pasiva de hombro                   | Pacientes con ACV                               | <i>GetMyRom</i> ®     | Inclinómetro digital               | La aplicación es válida y fiable                   |
| Mejía, 2018 (61)    | Movilidad de hombro                          | Pacientes con patología de hombro               | <i>GetMyRom</i> ®     | Goniómetro y estimación visual     | La aplicación es válida y fiable                   |
| Shin, 2012 (57)     | Movilidad de hombro                          | Pacientes con dolor de hombro                   | <i>Clinometer</i> ®   | Goniómetro universal               | La aplicación es válida y fiable                   |
| Vauclair, 2017 (58) | Movilidad de codo                            | Pacientes con fractura de olécranon             | <i>Clinometer</i> ®   | Goniómetro, estimación visual y Rx | Correlación en F-E alta<br>Correlación en P-S baja |
| Vohralik, 2014 (55) | Dorsiflexión de tobillo                      | Asintomáticos                                   | <i>iHandy Level</i> ® | Inclinómetro y <i>Fastrak</i>      | La aplicación es válida                            |
| Werner, 2014 (63)   | Movilidad de hombro                          | Dos grupos: asintomáticos y prótesis de hombro  | <i>Clinometer</i> ®   | Goniómetro y estimación visual     | Correlación excelente                              |
| Williams, 2013 (53) | Dorsiflexión de tobillo                      | Asintomáticos                                   | <i>Tiltmeter</i> ®    | Inclinómetro digital               | La aplicación es válida                            |
| Yoon, 2013 (54)     | Prominencia del trocánter                    | Asintomáticos                                   | <i>Tiltmeter</i> ®    | Inclinómetro digital               | La aplicación es válida                            |

Abreviaturas: F = flexión; E = extensión; P = pronación; S= supinación; ABD = abducción; RE = rotación externa; Rx = radiografía

Tabla 2. Resumen de los artículos que evalúan el raquis

| Autor y año               | Articulación y movimiento                     | Población  | Aplicación  | Comparación                            | Conclusión                                  |
|---------------------------|---|--|---|--|---|
| de Brito, 2019 (65)       | Flexión, extensión e inclinación lumbar       | Dos grupos: Dolor lumbar y asintomáticos                       | <i>iHandy Level</i> ®                             | Inclinómetro digital                   | La aplicación es válida y fiable            |
| Bucke, 2017 (67)          | Rotación torácica                             | Asintomáticos  | <i>Clinometer</i> ®                               | Inclinómetro digital y medición con US | La aplicación es válida                     |
| Ghorbani, 2020 (73)       | Movilidad cervical                            | Asintomáticos  | <i>Clinometer</i> ® y <i>Compass</i> ®            | <i>CROM device</i>                     | Mejores resultados en iPhone®               |
| Guidetti, 2017 (70)       | Flexión, extensión y lateroflexiones cervical | Pacientes con dolor cervical inespecífico                      | <i>Compass</i> ®                                  | Inclinómetro de burbuja                | La aplicación es válida y fiable            |
| Huang, 2022 (75)          | Cifosis toracolumbar (en Rx)                  | Pacientes osteoporóticos con fractura vertebral por compresión | Inclinómetro predeterminado del <i>Smartphone</i> | Medición sobre Rx                      | La aplicación es válida y fiable            |
| Kolber, 2013 (64)         | Movilidad toraco-lumbar                       | Asintomáticos  | <i>iHandy Level</i> ®                             | Inclinómetro de burbuja                | La aplicación es válida y fiable            |
| Koumantakis, 2016 (72)    | Curva lumbosacra en bipedestación             | Asintomáticos  | <i>iHandy Level</i> ®                             | Inclinómetro electrónico               | La aplicación es válida y fiable            |
| Laflamme, 2013 (69)       | Movilidad cervical                            | Asintomáticos  | <i>Clinometer</i> ® y <i>Compass</i> ®            | <i>CROM device</i>                     | Mejor fiabilidad intra que inter-observador |
| Pourahmadi, 2016 (66)     | Flexión y extensión lumbar                    | Asintomáticos  | <i>Tiltmeter</i> ®                                | Inclinómetro tradicional               | La aplicación es válida y fiable            |
| Rodríguez-Sanz, 2018 (74) | Movilidad de columna cervical alta y baja     | Pacientes con dolor cervical crónico                           | <i>Clinometer</i> ® y <i>Compass</i> ®            | <i>CROM device</i>                     | Las aplicaciones son válidas y fiables      |
| Salamh, 2013 (71)         | Lordosis lumbar en bipedestación              | Asintomáticos  | <i>iHandy Level</i> ®                             | Inclinómetro de burbuja                | La aplicación es válida y fiable            |
| Ullucci, 2018 (68)        | Movilidad pasiva de la columna cervical alta  | Asintomáticos  | <i>Clinometer</i> ®                               | No lo compara                          | La aplicación es válida y fiable            |

Abreviaturas: Rx = radiografía; CROM = *cervical range of motion*

# **II. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**



## 2. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1. Justificación

Como ya ha sido mencionado anteriormente, la exploración del raquis en todos sus planos resulta de vital importancia puesto que desalineaciones en el mismo pueden acarrear problemas de salud, entre los que podemos destacar una mayor predisposición a padecer dolores, mayor limitación en las actividades deportivas o de la vida diaria, restricciones en la participación comunitaria o social, déficit de la funcionalidad y, en definitiva, una disminución de la calidad de vida de los pacientes que las sufren.

Por consiguiente, consideramos interesante disponer de dispositivos fiables que permitan una valoración adecuada del raquis. Se le debe dar especial atención al plano sagital, puesto que, como ya hemos visto en la introducción, existe una alta prevalencia e incidencia de desalineaciones en el mismo.

Los inclinómetros son uno de los dispositivos más utilizados para la valoración del plano sagital del raquis, ya que han demostrado fiabilidad y permiten una valoración rápida y segura del paciente, además de que es una manera no invasiva de evaluación. Puede suponer un gran avance en fisioterapia y, en general, en las Ciencias de la Salud, disponer de herramientas que simulen la acción de este elemento de valoración y que reproduzcan con fiabilidad sus mediciones.

Las aplicaciones para *Smartphone* que simulan la acción del inclinómetro pueden suponer una manera rápida y segura de evaluar a nuestros pacientes al igual que el inclinómetro. Además, son accesibles, ya que solo se necesita un teléfono inteligente, y la mayoría de estas aplicaciones son gratuitas y se pueden descargar con facilidad. Podrían resultar una buena alternativa al uso del inclinómetro u otros elementos de valoración si las mediciones que se obtienen

con ellas son fiables. Por otro lado, hemos apreciado que la producción científica sobre el uso de estas aplicaciones en la medición del plano sagital del raquis es bastante escasa y consideramos que sería conveniente aportar más evidencias. Además de esto, hasta donde nosotros sabemos, no existen estudios que evalúen la fiabilidad de estas aplicaciones en función de la experiencia del explorador.

## **2.2. Hipótesis**

Las aplicaciones para *Smartphone* simuladoras de inclinómetro son fiables y comparables a los inclinómetros tradicionales en la valoración del plano sagital del raquis. Además, se obtienen buenas correlaciones intra e inter-observador, independientemente de la experiencia previa de uso del explorador.

## **2.3. Objetivos**

1. Analizar la literatura existente en relación a la validez, fiabilidad intra-observador y fiabilidad inter-observador en la valoración de la movilidad de la columna y de las curvas sagitales del raquis mediante aplicaciones para *Smartphone* simuladoras de inclinómetro.
2. Determinar la validez de dos aplicaciones con respecto a un inclinómetro tradicional en la medición de las curvas sagitales del raquis, y establecer si existen diferencias en función del género de los sujetos explorados.
3. Determinar la fiabilidad intra-observador de exploradores expertos y exploradores inexpertos con una de estas aplicaciones.
4. Establecer la influencia de la experiencia del observador sobre la fiabilidad inter-observador en el uso de estas aplicaciones.



# **III. MATERIAL Y MÉTODO**



### **3. MATERIAL Y MÉTODO**

La presente tesis doctoral se compone de tres estudios, los cuales dan respuesta de forma independiente a cada uno de los objetivos propuestos. Cada uno de estos trabajos tiene una metodología diferente.

El primero responde al primer objetivo, y constituye una revisión sistemática. El segundo da respuesta al segundo objetivo, y es un estudio transversal de validez, en el que se valoraron diferentes curvas del plano sagital del raquis, con un inclinómetro y con dos aplicaciones para *Smartphone*.

El tercer y cuarto objetivos fueron cumplidos conjuntamente mediante el tercer trabajo, el cual es un estudio comparativo de la fiabilidad intra e inter-observador de una de estas aplicaciones, utilizando un explorador experto y dos exploradoras inexpertas, en el que se empleó, en este caso, solo una aplicación.

#### **3.1. ESTUDIO 1: REVISIÓN SISTEMÁTICA SOBRE FIABILIDAD DE LAS APLICACIONES PARA *SMARTPHONE* SIMULADORAS DE INCLINÓMETRO**

##### **3.1.1. Criterios de elegibilidad**

Se realizó una revisión sistemática siguiendo la normativa PRISMA (*The Preferred Reported Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (78). Los criterios de inclusión fueron ensayos clínicos en los que se utilizase al menos una aplicación para *Smartphone* simuladora de inclinómetro para valorar el raquis, ya sea su movilidad o las curvas del plano sagital, independientemente de si los participantes de los estudios presentaban dolor o alguna patología, o si eran pacientes sanos y/o asintomáticos.

No se limitó la elección según el rango de edad de los participantes de los diferentes estudios. Se tuvieron en cuenta artículos en inglés y en español.

Los criterios de exclusión fueron las revisiones sistemáticas y aquellos trabajos en los que no se realizase una comparación con otro elemento de medición considerado de referencia.

### **3.1.2. Fuentes de información**

Se consultaron las bases de datos de Pubmed, PEDro, ScienceDirect, Cochrane y la Biblioteca Virtual en Salud (BVS). Por tanto, se utilizaron bases de datos de publicaciones fiables, revisadas por pares, y con herramientas que permitieran realizar una revisión sistemática. Se verificaron todas las referencias de los artículos y revisiones encontradas en busca de más referencias.

### **3.1.3. Medidas de resultado**

Para evaluar los resultados de cada artículo, se tuvo en cuenta la validez de la aplicación al compararla con el(los) otro(s) instrumento(s) de valoración, y la fiabilidad intra e inter-observador. Para estos tres resultados, se extrajo de cada artículo el coeficiente de correlación intraclase (ICC), el coeficiente de correlación de Pearson, el error estándar de la media (EEM) y el cambio mínimo detectable (CMD) en cada uno de los tres resultados.

Los valores del coeficiente de correlación intraclase (ICC) fueron interpretados de la siguiente manera: <0,40 se clasificó como baja correlación, 0,40-0,59 se clasificó como correlación aceptable, 0,60-0,74 se clasificó como buena correlación y >0,75 se clasificó como correlación excelente. En cuanto al coeficiente de correlación de Pearson, se interpretó de la siguiente forma: <0,30 se consideró como correlación insignificante, 0,3-0,5 como baja correlación, 0,5-0,7 como correlación moderada, 0,7-0,9 como alta correlación y >0,9 como correlación muy alta.

#### **3.1.4. Estrategia de búsqueda**

Se realizó una búsqueda combinada entre Tesauros y términos libres, puesto que no existía un descriptor para muchos de los términos a incluir. No se limitó la búsqueda por fecha de publicación. Se incluyeron artículos cuyo idioma fuera inglés o español. La búsqueda fue realizada en enero de 2023. La estrategia de búsqueda utilizada fue la siguiente:

(Back OR Kyphosis OR Lordosis OR cervical OR thoracic OR lumbar) AND  
(Smartphone OR App OR iPhone OR Android) AND (inclinometer OR iHandy  
OR Clinometer OR Compass)

#### **3.1.5. Proceso de selección de los estudios**

Se realizó una lectura de título y resumen de todas las referencias obtenidas mediante la estrategia de búsqueda. Dos revisores independientes (GE e IM), uno de ellos el autor de la presente tesis, seleccionaron aquellas que cumplieron los criterios de inclusión. En caso de discordancia, se decidió la inclusión o no por medio de consenso entre ambos. Posteriormente, se procedió a leer el texto completo de cada una de las referencias obtenidas, identificando los criterios para la inclusión de los artículos en la presente revisión sistemática. Por último, una vez incluidas todas las referencias, se procedió a identificar los criterios de exclusión para eliminar los artículos que los cumplieran.

#### **3.1.6. Extracción de los datos**

Uno de los autores, el de la presente tesis, realizó una extracción de los datos en una hoja Excel, en la que se incluyó los siguientes aspectos: población utilizada, edad media o rango de edad de los participantes, número de participantes totales y de cada género, nombre de la aplicación utilizada en el artículo (si se menciona), elemento de medición utilizado como referencia, variables medidas, objetivo del artículo, estadísticos utilizados y su valor, y conclusión de los autores.

### **3.1.7. Evaluación del riesgo de sesgo de los artículos**

El riesgo de sesgo de los diferentes artículos incluidos fue evaluado mediante la escala PEDro, la cual tiene en cuenta 11 dominios diferentes (79). (Anexo IV). Esta escala otorga una puntuación de 0 a 10, contando 1 punto para cada dominio (excepto el primero) si cumple con ese requisito. En la tabla 3 podemos observar las puntuaciones obtenidas por cada estudio. El artículo con mayor puntuación obtuvo 8/10 (75). El de menor puntuación obtuvo 3/10 (64). El resto de estudios oscilaron en puntuaciones entre 4/10 y 6/10.

Tabla 3. Escala PEDro para evaluación del riesgo de sesgo

| ARTÍCULO                  | Dominios |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     | P    |
|---------------------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|------|
|                           | CE       | AA | AO | CB | SC | TC | EC | SA | AIT | CEG | EPV |      |
| de Brito, 2019 (65)       | Sí       | No | No | Sí | No | No | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 4/10 |
| Bucke, 2017 (67)          | Sí       | No | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 6/10 |
| Ghorbani, 2020 (73)       | Sí       | No | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | No  | No  | Sí  | 5/10 |
| Guidetti, 2017 (70)       | No       | No | No | No | No | Sí | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 4/10 |
| Furness, 2018 (80)        | Sí       | Sí | No | Sí | No | No | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 5/10 |
| Huang, 2022 (75)          | Sí       | Sí | Sí | No | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí  | No  | Sí  | 8/10 |
| Jayavel, 2017 (81)        | Sí       | No | No | No | No | Sí | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 4/10 |
| Kolber, 2013 (64)         | Sí       | No | No | No | No | No | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 3/10 |
| Koumantakis, 2016 (72)    | Sí       | No | No | No | No | Sí | No | Sí | Sí  | Sí  | Sí  | 5/10 |
| Laflamme, 2013 (69)       | Sí       | No | No | No | No | Sí | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 4/10 |
| Monreal, 2021 (82)        | Sí       | No | No | No | No | Sí | Sí | Sí | Sí  | No  | Sí  | 5/10 |
| Pourahmadi, 2016 (66)     | Sí       | No | No | Sí | No | Sí | Sí | Sí | Sí  | No  | Sí  | 6/10 |
| Pourahmadi, 2019 (83)     | Sí       | No | No | Sí | No | Sí | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 5/10 |
| Rodríguez-Sanz, 2018 (74) | Sí       | No | No | No | No | Sí | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 4/10 |
| Salamh, 2013 (71)         | Sí       | No | No | No | No | Sí | No | Sí | Sí  | No  | Sí  | 4/10 |

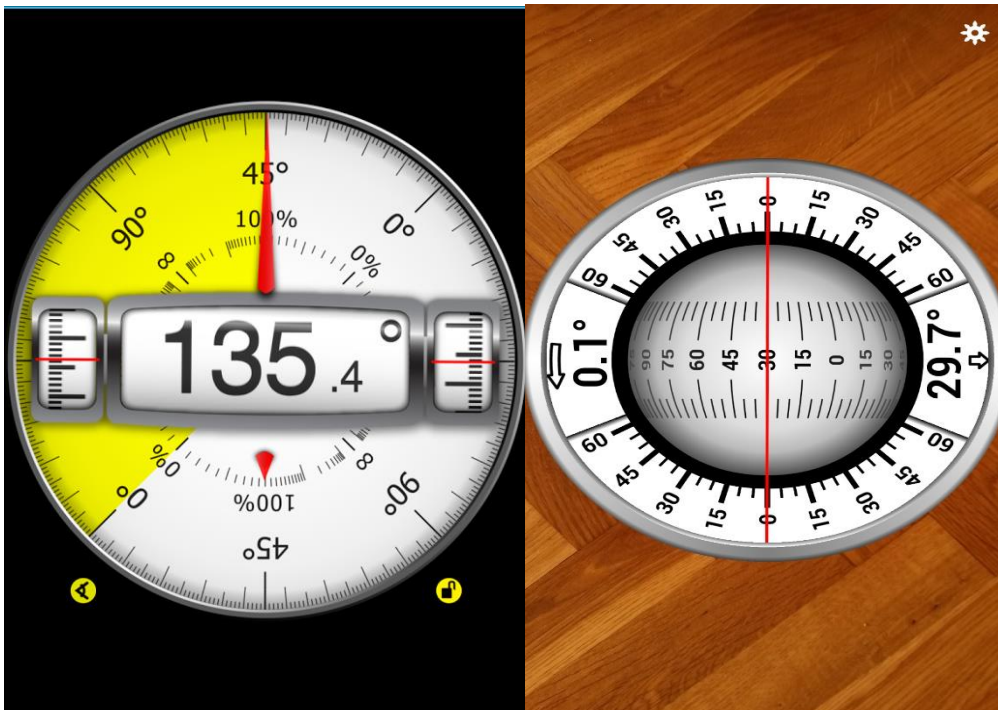
Abreviaturas: CE = criterios de elegibilidad especificados; AA = asignación aleatoria; AO = asignación oculta; CB = grupos similares al inicio; SC = sujetos cegados; TC = terapeutas cegados; EC = exploradores cegados; SA = seguimiento adecuado; AIT = análisis por intención de tratar; CEG = comparación entre grupos; EPV = estimación de puntos clave y de variabilidad

### 3.2. ESTUDIO 2: FIABILIDAD DE LAS APLICACIONES EN LA MEDICIÓN DE LAS CURVAS DEL PLANO SAGITAL DEL RAQUIS

Se realizó un estudio observacional y transversal con un grupo de voluntarios. Los criterios de inclusión fueron la participación voluntaria y tener una edad comprendida entre los 18 y los 30 años. Se excluyó a aquellos participantes que tuvieran una patología, condición o desalineación en la columna que pudiera dificultar la realización de las mediciones.

Antes de comenzar las mediciones, los pacientes fueron informados del protocolo de medición y se obtuvo el consentimiento informado (Anexo II).

Las medidas fueron tomadas con un inclinómetro tradicional (véase figura 5) y con dos aplicaciones, *Clinometer*® (figura 9) y *Rotating Sphere Inclinometer*® (figura 10), ambas instaladas en un Xiaomi Redmi Note 8 Pro®. Se obtuvo el permiso del Comité de Ética de la Universidad de Murcia para la realización de la investigación (Anexo I).



Figuras 9 y 10. Aplicaciones Clinometer y Rotating Sphere Inclinometer



### 3.2.1. Procedimiento de medición

En primer lugar, se obtuvo el peso y la altura de los participantes, así como el índice de masa corporal (IMC). A continuación, se midió a los participantes en tres posiciones diferentes, primero con el inclinómetro, y después con las aplicaciones, para asegurar que el explorador no recordase los datos de las mediciones anteriores (Figura 11). El orden de medición para cada paciente fue aleatorio, asignando un número a cada paciente mediante la función de aleatorización de Microsoft Excel. Los pacientes también fueron cegados con respecto a las mediciones obtenidas.

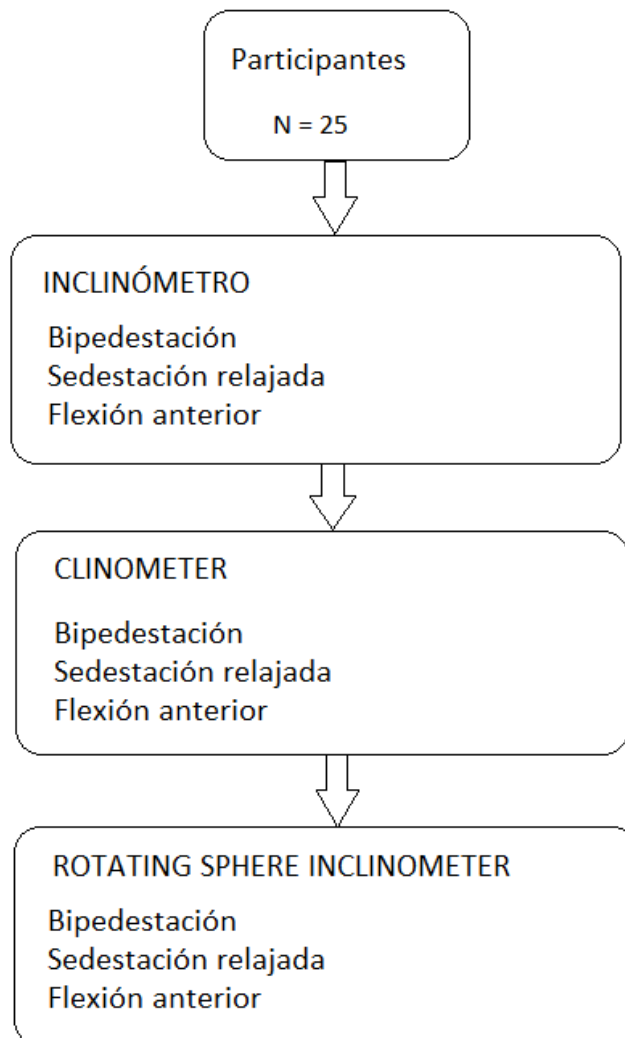


Figura 11. Diagrama sobre el orden de medición

Se midió la cifosis dorsal en tres posiciones diferentes: bipedestación relajada, sedestación relajada y flexión anterior de columna en bipedestación, así como la lordosis lumbar en bipedestación relajada.

Para la bipedestación relajada (Figura 12), se pidió a los participantes que mantuvieran la bipedestación, con los pies a la anchura de las caderas, brazos a lo largo del tronco y mirando hacia al frente, en su postura habitual y de forma relajada. En esta posición, la cifosis fue medida desde la última vértebra cervical, que se localizó buscando la que era más prominente, hasta el punto de inflexión de la curva, localizado descendiendo con el inclinómetro o la aplicación hasta el punto en el que los grados empezaban a disminuir en lugar de aumentar. La lordosis (Figura 13) se midió desde este mismo punto de inflexión hasta el inicio del pliegue interglúteo (que coincide con S2-S3)

En la posición de sedestación relajada (Figura 14), los participantes se colocaron sentados en una camilla, con el hueco poplíteo pegado al máximo a la misma, las manos entre las rodillas y en una posición relajada.

Para la flexión anterior en bipedestación (Figura 15), los pacientes se colocaron en la posición de bipedestación relajada descrita anteriormente, y realizaron la flexión anterior del tronco con la barbilla pegada lo máximo posible al pecho, y tratando de tocar la punta de sus pies sin flexionar las rodillas.

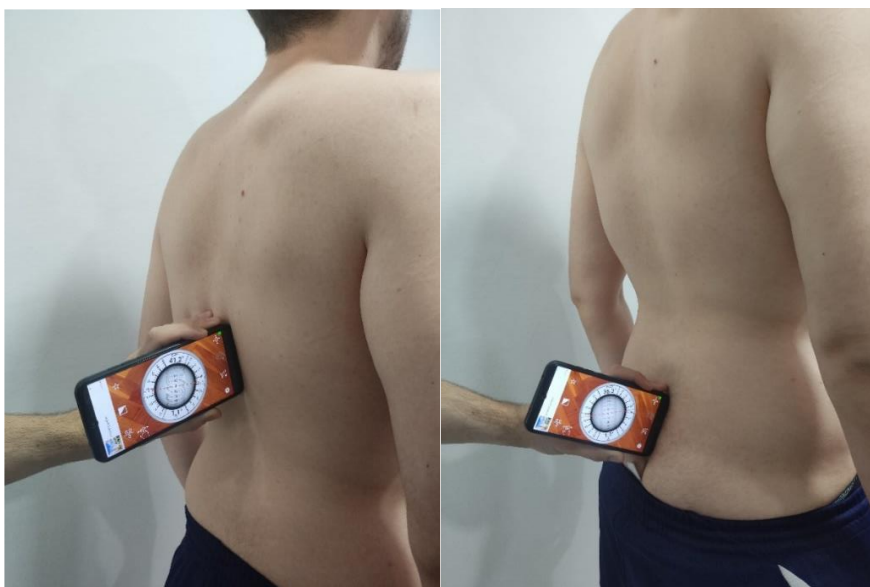
En estas dos últimas posiciones, se midió la cifosis completa que realiza la columna desde la última vértebra cervical hasta la segunda vértebra sacra, que corresponde con el inicio del pliegue interglúteo.

El explorador que realizó las mediciones, el autor de la presente tesis, es un fisioterapeuta con 5 años de experiencia en el uso del inclinómetro y de las aplicaciones. A pesar de eso, antes de comenzar con las mediciones, se

realizaron sesiones de estandarización y ajuste del protocolo para que las medidas obtenidas fueran lo más fiables posibles. Tras eso, se realizó una prueba de fiabilidad intraobservador con el explorador, en la cual se obtuvo una variabilidad por debajo del 5% tanto con inclinómetro como con las aplicaciones.



*Figura 12. Posición de medición inicial y final de la cifosis en bipedestación relajada*



*Figura 13. Posición de medición inicial y final de la lordosis en bipedestación relajada*



Figura 14. Posición de medición inicial y final en sedestación relajada



Figura 15. Posición de medición inicial y final en la flexión anterior

### 3.2.2. Análisis estadístico

Todos los datos obtenidos fueron analizados con el programa IBM SPSS Statistics, versión 26. Para el análisis de las características de la población, se utilizó la media y la desviación típica. La prueba t para muestras independientes se aplicó para valorar si existían diferencias significativas en las variables de edad, altura, peso e índice de masa corporal en función del sexo. Se calculó la

media y la desviación típica de los datos obtenidos con cada elemento de medición y en cada posición, separando los resultados por género.

Para evaluar el grado de asociación entre las mediciones obtenidas con la aplicación y con el inclinómetro tradicional, se utilizó el índice de correlación intraclase (ICC) y el alfa de Cronbach, también separando los resultados por género.

Los valores del coeficiente de correlación intraclase (ICC) fueron interpretados de la siguiente manera:  $<0,40$  se clasificó como baja correlación,  $0,40-0,59$  se clasificó como correlación aceptable,  $0,60-0,74$  se clasificó como buena correlación y  $>0,75$  se clasificó como correlación excelente.

### **3.3. ESTUDIO 3: FIABILIDAD INTRA E INTEROBSERVADOR EN EXPLORADORES EXPERTOS E INEXPERTOS**

Se realizó un estudio observacional y transversal con un grupo de estudiantes universitarios.

Los criterios de inclusión fueron la participación voluntaria y tener una edad comprendida entre los 18 y los 30 años. Se excluyó a aquellos participantes que tuvieran una patología, alteración o desalineación en la columna que pudiera dificultar la realización de las mediciones. Antes de comenzarlas, los pacientes fueron informados del protocolo de medición y se obtuvo el consentimiento informado (Anexo III).

Las medidas fueron tomadas con un inclinómetro tradicional (véase figura 6) y con la aplicación *Rotating Sphere Inclinometer*® (véase Figura 11), instalada en un Xiaomi Redmi Note 8 Pro®. Se obtuvo el permiso del Comité de Ética de la Universidad de Murcia para la realización de la investigación (Anexo I).

### 3.3.1. Procedimiento de medición

Se midió la cifosis dorsal y la lordosis lumbar del raquis en dos posiciones diferentes. La primera fue la bipedestación relajada, en la cual se pidió a los participantes que mantuvieran la bipedestación con los pies a la anchura de las caderas, mirada al frente y brazos relajados a lo largo del tronco (Figura 16).

La segunda posición fue la bipedestación corregida, en la que los participantes realizaron un auto estiramiento de la columna, como si intentaran crecer (Figura 17). Como ya vimos anteriormente, esta posición se utiliza para valorar si el aumento de las curvas sagitales del raquis es estructurado o no.



*Figuras 16 y 17. Posiciones de bipedestación relajada y bipedestación corregida.*

La cifosis dorsal se midió desde la primera vértebra cervical, la más prominente, hasta el punto de inflexión de la curva, localizado descendiendo con el inclinómetro o la aplicación hasta el punto en el que los grados comenzasen a disminuir en lugar de aumentar. La lordosis lumbar se midió desde ese mismo

punto de inflexión hasta la segunda vértebra sacra, localizada en el inicio del pliegue interglúteo (véanse figuras 12 y 13).

Las mediciones fueron tomadas por tres exploradores diferentes: el primer explorador, el autor de la presente tesis, era un fisioterapeuta con cinco años de experiencia previa en estos campos. La segunda fue una estudiante de fisioterapia de segundo grado, sin ninguna experiencia en el manejo del inclinómetro o las aplicaciones, a la cual se adiestró en el uso de estos dispositivos. La tercera exploradora era estudiante de último curso de fisioterapia, la cual su única experiencia en este tipo de mediciones era la formación recibida en el grado.

Se asignó un número a cada participante mediante la función de aleatorización de Microsoft Excel.

Antes de comenzar las mediciones, se obtuvo la edad, peso, talla e índice de masa corporal (IMC).

Cada participante y cada curva fueron medidos un total de cuatro veces por cada explorador, dos con el inclinómetro y dos con la aplicación. Se realizó la exploración de las dos posiciones con uno de los dispositivos, y ese participante pasaba a ser medido por otro explorador, para que estos no recordaran las medidas de cada uno a fin de mantener el cegamiento de estos

Dos personas se encargaron de recoger los datos obtenidos en cada medición, apuntándolos en hojas diferentes, para que tampoco pudieran recordarlos. Igualmente, se cegó a los participantes con respecto al resultado de la medición.

### **3.3.2. Análisis estadístico**

Todos los datos obtenidos fueron analizados con el programa IBM SPSS Statistics, versión 26. Se utilizó la media y desviación típica para los valores descriptivos de la población, como edad, talla, peso e índice de masa corporal (IMC). Las dos mediciones obtenidas en cada posición y con cada positivo se utilizaron para analizar la fiabilidad intra-observador. Para la comparación inter-observador, se obtuvo la media entre estas dos mediciones. Para valorar la fiabilidad intra e inter-observador, se utilizaron la diferencia de medias, el error estándar de la media (EEM), el alfa de Cronbach y el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC).

Los valores del coeficiente de correlación intraclase (ICC) fueron interpretados de la siguiente manera:  $<0,40$  se clasificó como baja correlación,  $0,40-0,59$  se clasificó como correlación aceptable,  $0,60-0,74$  se clasificó como buena correlación y  $>0,75$  se clasificó como correlación excelente.



# **IV. RESULTADOS**



## 4. RESULTADOS

### 4.1. ESTUDIO 1: REVISIÓN SISTEMÁTICA

#### 4.1.1. Resultados de la búsqueda

157 artículos fueron encontrados mediante la estrategia de búsqueda, y un artículo adicional se encontró mediante otras fuentes de búsqueda, a través de la verificación de las referencias de los estudios obtenidos con la búsqueda, lo que hizo un total de 158 artículos. De esos artículos, 38 cumplieron los criterios de inclusión, de los cuales 19 eran duplicados, por lo que 19 artículos fueron leídos y analizados a texto completo. Tras la lectura del texto completo, se excluyeron 4 artículos más, por lo que el número final de artículos incluidos en la revisión fue de 15. El siguiente diagrama de flujo PRISMA ilustra el proceso de búsqueda, revisión y selección de los artículos (Figura 18).

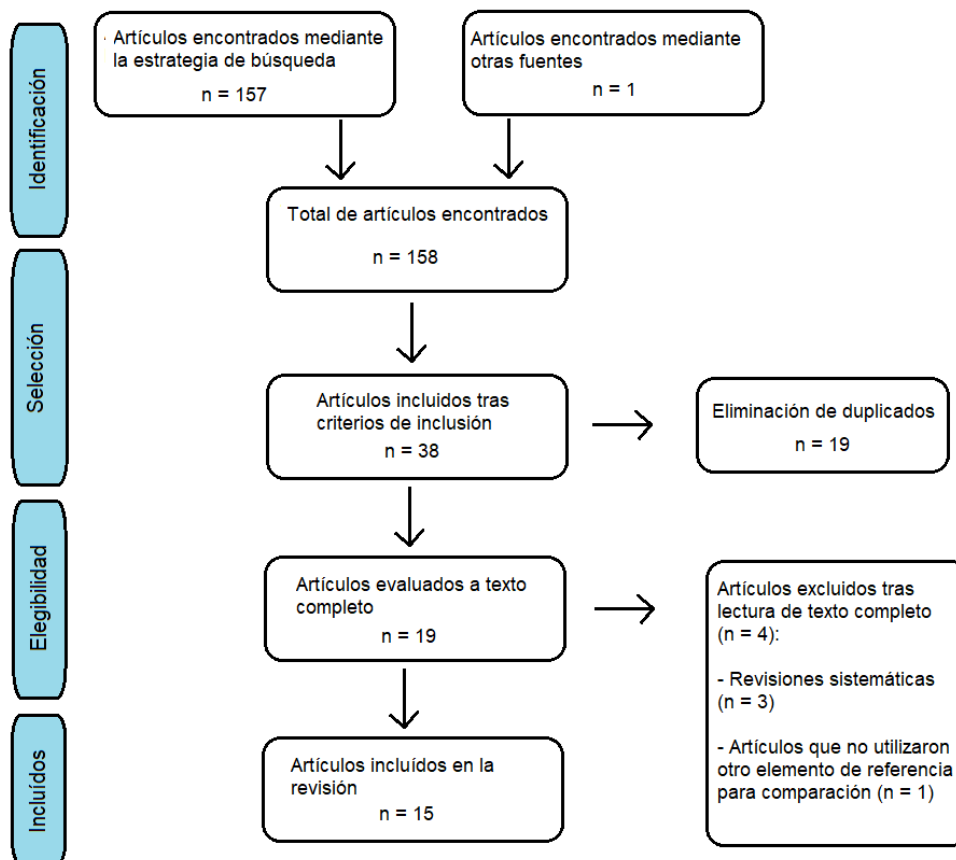


Figura 18. Diagrama de flujo PRISMA sobre la estrategia de búsqueda

#### 4.1.2. Estudios incluidos

Se incluyeron 15 estudios en la presente revisión sistemática. La mayoría de artículos incluyeron o bien únicamente participantes sanos o asintomáticos, o solamente pacientes que tuvieran algún dolor o condición. Solo uno de ellos, el de Brito et al (65), utilizó dos grupos diferentes, uno con participantes asintomáticos y otro con pacientes con dolor lumbar. En la siguiente tabla (tabla 4) podemos observar un resumen de las características de los diferentes participantes de los estudios incluidos en la presente revisión.

Tabla 4. Número de participantes, rango de edad y tipo de población utilizada en los diferentes artículos

| <b>Artículo</b>        | <b>Número de participantes (género)</b>         | <b>Edad (años)</b> | <b>Tipo de población</b>                                       |
|------------------------|---|--------------------|--|
| de Brito, 2019 (65)    | 20 asintomáticos y 20 con dolor lumbar (9H-31M) | 18-50              | Dos grupos: pacientes con dolor lumbar y asintomáticos         |
| Bucke, 2017 (67)       | 23 (14H-9M)                                     | 19-34              | Asintomáticos  |
| Ghorbani, 2020 (73)    | 20 (7H-13M)                                     | 19-33              | Pacientes con dolor cervical inespecífico                      |
| Guidetti, 2017 (70)    | 23 (13H-10M)                                    | 26 ± 5             | Asintomáticos  |
| Furness, 2018 (80)     | 30 (5H-25M)                                     | 21,5 ± 1,5         | Asintomáticos  |
| Huang, 2022 (75)       | 100 (12H-88M)                                   | 71.8 ± 9           | Pacientes osteoporóticos con fractura vertebral por compresión |
| Jayavel, 2017 (81)     | 30 (18H - 12M)                                  | 35.2               | Pacientes con dolor lumbar                                     |
| Kolber, 2013 (64)      | 30 (12H-18M)                                    | 20.6 ± 2.1         | Asintomáticos  |
| Koumantakis, 2016 (72) | 183 (83H-100M)                                  | 26.1 ± 10.04       | Asintomáticos  |

| <b>Artículo</b>           | <b>Número de participantes (género)</b> | <b>Edad (años)</b> | <b>Tipo de población</b>             |
|---------------------------|---|--------------------|--------------------------------------|
| Laflamme, 2013 (69)       | 28 (9H-19M)                             | 19-43              | Asintomáticos                        |
| Monreal, 2021 (82)        | 50 (15H-35M)                            | 18-30              | Asintomáticos                        |
| Pourahmadi, 2016 (66)     | 30 (15H-15M)                            | 18-55              | Asintomáticos                        |
| Pourahmadi, 2019 (83)     | 15 (8H-7M)                              | 19-41              | Pacientes con dolor lumbar           |
| Rodríguez-Sanz, 2018 (74) | 25 (11H-14M)                            | 18-53              | Pacientes con dolor cervical crónico |
| Salamh, 2013 (71)         | 30 (12H-18M)                            | 25.6 ± 2.1         | Asintomáticos                        |

Abreviaturas: H = Hombres; M = Mujeres

Como se puede observar en la tabla 4, el número de participantes incluidos en cada artículo ha sido bastante homogéneo, ya que la mayoría se encontraba entre los 15 y los 50. Únicamente dos artículos emplearon un número considerablemente mayor que el resto, que son los artículos de Huang et al. (75) y Koumantakis et al. (72), que utilizaron 100 y 183 participantes, respectivamente. Por otro lado, existió más variabilidad en el rango de edad utilizado en los diferentes trabajos, aunque la mayoría de artículos incluyeron adultos jóvenes o de mediana edad, con rangos entre los 18 y los 55 años. Solamente un artículo, el de Huang et al. (75), incluyó a pacientes de edad más avanzada, con una edad media de 72 años, puesto que en este trabajo el objetivo fue analizar a pacientes con osteoporosis.

Cada artículo definió de una manera diferente la forma de considerar a los participantes como asintomáticos. Todos coincidieron en que significaba no tener dolor en el momento de realizar la medición. Monreal et al. (82), además de la

no existencia de dolor al realizar la toma de medidas, excluyeron también a aquellos pacientes con historial de dolor en los 3 meses anteriores a la prueba. Pourahmadi et al. (83) ampliaron este plazo a los últimos 6 meses. De Brito et al. (65) también incluyeron que no presentasen historial de lesión en el raquis.

Por otro lado, en la mayoría de estudios que incluyeron a pacientes con alguna condición, esta fue el dolor, ya fuera cervical o lumbar. Únicamente un artículo, el de Huang et al. (75), incluyó una patología diferente, que fue la fractura vertebral por compresión en pacientes osteoporóticos. Determinaron como criterios de inclusión presentar una o más de este tipo fracturas, de carácter agudo, y localizadas en la zona de la charnela toraco-lumbar (T10-L2). Además, este fue el único artículo de la revisión que realizó la medición con el *Smartphone* sobre una radiografía, y no directamente sobre los pacientes.

Los artículos de Jayavel et al. (81), Pourahmadi et al. (83) y de Brito et al. (65) utilizaron como patología el dolor lumbar. El primero utilizó a pacientes que presentasen dolor lumbar intenso de al menos 6 meses de evolución. Los otros dos utilizaron a participantes con dolor lumbar crónico y no específico, definido como dolor localizado en la zona lumbar, de al menos 3 meses de evolución, y no justificado por una patología subyacente. Por otro lado, los trabajos de Rodríguez-Sanz et al. (74) y Ghorbani et al. (73) et al. realizaron la medición sobre pacientes que presentaran dolor cervical, de carácter crónico e inespecífico, respectivamente.

En la siguiente tabla (tabla 5) mostramos el nombre de la aplicación utilizada en cada artículo y el dispositivo en el que fue instalada, el elemento de comparación utilizado como referencia y la variable medida en cada caso:

Tabla 5. Aplicación utilizada, elemento usado como comparación y variable medida de cada artículo

| <b>Artículo</b>        | <b>Aplicación (dispositivo)</b>                              | <b>Comparación</b>                     | <b>Variable medida</b>   |
|------------------------|--|--|--|
| de Brito, 2019 (65)    | <i>iHandy Level</i> ® (iPhone®)                              | Inclinómetro digital                   | Flexión, extensión y lateroflexiones lumbar  |
| Bucke, 2017 (67)       | <i>Clinometer</i> ® (iPhone®)                                | Inclinómetro digital y medición con US | Rotación torácica  |
| Ghorbani, 2020 (73)    | <i>Clinometer</i> ® (Android®) y <i>Compass</i> ® (iPhone®)  | <i>CROM device</i>                     | Flexión, extensión, lateroflexiones y rotaciones cervical  |
| Guidetti, 2017 (70)    | <i>Compass</i> ® (iPhone®)                                   | Inclinómetro de burbuja                | Flexión, extensión y lateroflexiones cervical  |
| Furness, 2018 (80)     | <i>Compass</i> ® (iPod®)                                     | Goniómetro                             | Rotación torácica  |
| Huang, 2022 (75)       | Inclinómetro predeterminado del <i>Smartphone</i> (Android®) | Medición sobre Rx                      | Cifosis toracolumbar (en Rx)   |
| Jayavel, 2017 (81)     | <i>iHandy Level</i> ® (Android®)                             | Inclinómetro de burbuja                | Flexión toraco-lumbo-pélvica, flexión lumbar aislada, extensión toraco-lumbo-pélvica, lateroflexiones lumbares |
| Kolber, 2013 (64)      | <i>iHandy Level</i> ® (iPhone®)                              | Inclinómetro de burbuja                | Flexión toracolumbar, flexión lumbar aislada, extensión toracolumbar, lateroflexiones lumbares                 |
| Koumantakis, 2016 (72) | <i>iHandy level</i> ® (Android®)                             | Inclinómetro electrónico               | Curva lumbosacra en bipedestación  |
| Laflamme, 2013 (69)    | <i>Clinometer</i> ® y <i>Compass</i> ® (iPhone®)             | <i>CROM device</i>                     | Flexión, extensión, rotaciones y lateroflexiones cervicales  |

| Artículo                  | Aplicación (dispositivo)                                      | Comparación              | Variable medida  |
|---------------------------|---|--------------------------|--|
| Monreal, 2021 (82)        | <i>Clinometer</i> ®<br>( <i>Android</i> ®)                    | Goniómetro               | Flexión, extensión, rotaciones y lateroflexiones cervicales  |
| Pourahmadi, 2016 (66)     | <i>Tiltmeter</i> ®<br>( <i>iPhone</i> ®)                      | Inclinómetro tradicional | Flexión y extensión lumbar   |
| Pourahmadi, 2019 (83)     | <i>iHandy Level</i> ®<br>( <i>iPhone</i> ®)                   | Inclinómetro tradicional | Flexión y extensión lumbar   |
| Rodríguez-Sanz, 2018 (74) | <i>Clinometer</i> ® y <i>Compass</i> ®<br>( <i>Android</i> ®) | <i>CROM device</i>       | Flexión y extensión de columna cervical alta y baja. Rotaciones y lateroflexiones de columna cervical baja |
| Salamh, 2013 (71)         | <i>iHandy Level</i> ®<br>( <i>iPhone</i> ®)                   | Inclinómetro de burbuja  | Lordosis lumbar en bipedestación   |

Abreviaturas: US = Ultrasonidos; CROM = Cervical Range of Motion; Rx = radiografía.

Como podemos observar en la tabla 5, la mayoría de autores decidieron emplear las aplicaciones para valorar el rango de movilidad de diferentes movimientos de la columna. Solo en tres artículos se utilizaron las aplicaciones para medir curvas sagitales del raquis, que fueron los trabajos de Koumantakis et al. (72), que midió la curva lumbosacra, el de Salamh et al. (71), que valoró la lordosis lumbar, y el de Huang et al. (75), que midió la cifosis toraco-lumbar en una radiografía, todos ellos en bipedestación. El resto de estudios analizaron movimientos activos, de los cuales dos, el de Bucke et al. (67) y el de Furness et al. (80), analizaron un movimiento de la columna dorsal, en este caso la rotación. Cinco de ellos midieron movimientos de la columna cervical, dentro de los cuales, el de Rodríguez-Sanz et al. (74) et al. realizó una distinción entre movimientos de la columna cervical alta y la columna cervical baja. Los cinco artículos restantes analizaron la movilidad de la columna lumbar.

Cuatro han sido las diferentes aplicaciones que se han utilizado en los artículos seleccionados: *iHandy Level*®, *Clinometer*®, *Compass*® y *Tiltmeter*®. Las dos primeras son las más utilizadas por los diferentes autores, ya que



aparecen en seis y cinco artículos respectivamente. *Compass*® ha sido utilizada en cinco estudios, aunque solamente en dos, el de Guidetti et al. (70) y el de Furness et al (80), podemos encontrarla analizada de forma aislada, ya que en los otros tres es usada junto con *Clinometer*®. Con respecto a estos tres trabajos, en el de Ghorbani et al. (73) los autores usaron la aplicación *Clinometer*® instalada en un dispositivo *Android*®, y *Compass*® instalada en un dispositivo *iPhone*®, y utilizaron las dos aplicaciones para medir los diferentes rangos de movilidad cervical. Sin embargo, en los estudios de Laflamme et al. (69) y Rodríguez-Sanz et al. (74), utilizaron las dos aplicaciones instaladas en un *iPhone*®, y cada una la emplearon para medir movimientos cervicales en diferentes planos: *Clinometer*® fue usada para medir los movimientos en el plano frontal y sagital, es decir, la flexo-extensión y las inclinaciones laterales, mientras que *Compass*® fue usada para evaluar los movimientos del plano horizontal, o sea, las rotaciones. La otra aplicación utilizada, *Tiltmeter*®, solamente aparece en un artículo, el de Pourahmadi et al. (66). Por otro lado, en el artículo de Huang et al. (75), se utilizó la aplicación que venía instalada de forma predeterminada en el *Smartphone*, un dispositivo *Android*®.

El elemento más usado como referencia para establecer la comparación fue el inclinómetro, ya que aparece en nueve artículos de los quince incluidos en la presente revisión, en tres modalidades diferentes: tradicional, de burbuja y electrónico. El *cervical range of motion Device* es el siguiente más utilizado, ya que aparece en tres trabajos. Los artículos de Monreal et al (82) y el de Furness et al (80) utilizaron el goniómetro para sus medidas de referencia. En el estudio de Bucke et al. (67), además del inclinómetro, se utilizó una medición del rango de movilidad mediante ecografía. El trabajo de Huang et al (75) utilizó un método de medición sobre una radiografía, en la cual identificaron los cuerpos vertebrales de T10 y L2, trazando una línea superpuesta a la parte superior del cuerpo vertebral de T10 y otra a la parte inferior del cuerpo vertebral de L2; el ángulo entre las dos líneas representaba el grado de cifosis toracolumbar.

### 4.1.3. Medidas de resultado

En la siguiente tabla (tabla 6) podemos observar las medidas de resultado sobre la fiabilidad de cada aplicación en comparación con el instrumento de referencia. Los artículos a partir de este punto se ordenarán por orden cronológico de publicación.

Tabla 6. Validez de las aplicaciones en comparación con el instrumento de referencia.

| Artículo               | ICC  | CC de Pearson  | EEM  | CMD                          |
|------------------------|--|--|--|------------------------------|
| Kolber, 2013 (64)      | <b>Explorador 1</b><br>FTL = 0,98<br>FL = 0,87<br>ETL = 0,91<br>ITLD = 0,94<br>ITLI = 0,91<br><br><b>Explorador 2</b><br>FTL = 0,97<br>FL = 0,86<br>ETL = 0,89<br>ITLD = 0,95<br>ITLI = 0,96 | -  | -  | -                            |
| Laflamme, 2013 (69)    | FCE = 0,76<br>ECE = 0,58<br>ICD = 0,85<br>ICI = 0,70<br>RCD = 0,55<br>RCI = 0,43   | FCE = 0,69<br>ECE = 0,56<br>ICD = 0,80<br>ICI = 0,63<br>RCD = 0,58<br>RCI = 0,38 | -  | -                            |
| Salamh, 2013 (71)      | -  | 0,86   | -  | -                            |
| Koumantakis, 2016 (72) | Entre 0,93 y 0,97 (no se dan datos más detallados)   | -  | CL = entre 2,02 y 2,23<br><br>CS = entre 1,57 y 1,63 | CL = 5,90°<br><br>CS = 4,46° |
| Pourahmadi, 2016 (66)  | -  | FLU = 0,85<br>ELU = 0,91   | -  | -                            |
| Bucke, 2017 (67)       | -  | ECO = 0,88<br>INC = 0,98   | -  | -                            |

| Artículo                  | ICC  | CC de Pearson   | EEM  | CMD  |
|---------------------------|--|---|--|--|
| Jayavel, 2017 (81)        | FTL = 0,53<br>FL = 0,19<br>ETL = 0,41<br>ITLD = 0,29<br>ITLI = 0,42  | -   | -  | -  |
| Guidetti, 2017 (70)       | FCE = 1<br>ECE = 1<br>ICD = 0,99<br>ICI = 0,99<br>RCD = 0,99<br>RCI = 0,99                                       | FCE = 0,99<br>ECE = 1<br>ICD = 0,99<br>ICI = 0,99<br>RCD = 0,99<br>RCI = 0,99   | FCE = 0,26<br>ECE = 0,28<br>ICD = 0,38<br>ICI = 0,52<br>RCD = 0,49<br>RCI = 0,49 | -  |
| Furness, 2018 (80)        | -  | 0,835   | -  | -  |
| Rodríguez-Sanz, 2018 (74) | FCA = 0,98<br>ECA = 0,97<br>FCB = 0,98<br>ECB = 0,98<br>ICDB = 0,92<br>ICIB = 0,96<br>RCDB = 0,93<br>RCIB = 0,96 | -   | -  | -  |
| de Brito, 2019 (65)       | FTL = 0,94<br>ETL = 0,94<br>ITLD = 0,82<br>ITLI = 0,82   | -   | -  | -  |
| Pourahmadi, 2019 (83)     | -  | FLU = 0,22<br>ELU = 0,38  | -  | -  |
| Ghorbani, 2020 (73)       | -  | <b>iPhone®</b><br>FCE = 0,87<br>ECE = 0,83<br>ICD = 0,94<br>ICI = 0,87<br>RCD = 0,69<br>RCI = 0,64<br><br><b>Android®</b><br>FCE = 0,73<br>ECE = 0,88<br>ICD = 0,92<br>ICI = 0,91<br>RCD = 0,54<br>RCI = 0,46 | -  | -  |
| Monreal, 2021 (82)        | Entre 0,87 y 0,96 (no se dan datos más detallados)   | -   | FC = 1,88<br>EC = 2,15<br>ICD = 2,44<br>ICI = 2,46<br>RCD = 1,42<br>RCI = 1,56   | FC = 1,89°<br>EC = 2,16°<br>ICD = 2,45°<br>ICI = 2,47°<br>RCD = 1,43°<br>RCI = 1,57° |

| Artículo         | ICC  | CC de Pearson | EEM | CMD |
|------------------|--|---------------|-----|-----|
| Huang, 2022 (75) | Explorador 1 = 0,97<br>Explorador 2 = 0.96 | -             | -   | -   |

Abreviaturas: ICC = índice de correlación intraclase; CC = coeficiente de correlación; EEM = error estándar de la media; CMD = cambio mínimo detectable; FTL = flexión toraco-lumbar; ETL = extensión toraco-lumbar; ITLD = inclinación toraco-lumbar derecha; ITLI = inclinación toracolumbar izquierda; ECO = ecografía; INC = inclinómetro; FCE = flexión cervical; ECE = extensión cervical; ICD = inclinación cervical derecha; ICI = inclinación cervical izquierda; RCD = rotación cervical derecha; RCI = rotación cervical izquierda; FLU = flexión lumbar; ELU = extensión lumbar; CL = curva lumbar; CS = curva sacra; FCA = flexión cervical alta; ECA = extensión cervical alta; FCB = flexión cervical baja; ECB = extensión cervical baja; ICDB = inclinación cervical derecha baja; ICIB = inclinación cervical izquierda baja; RCDB = rotación cervical derecha baja; RCIB = rotación cervical izquierda baja.

Atendiendo al Índice de Correlación Intraclase, la mayoría de artículos de la presente revisión encontraron una correlación excelente entre las aplicaciones y el elemento comparativo. Únicamente en dos artículos no fue así, el de Jayavel et al. (81) y el de Laflamme et al. (69). El primero utilizó la aplicación *iHandy Level*® para valorar la movilidad de la columna toraco-lumbar en pacientes con lumbalgia, y la correlación obtenida fue de baja a moderada. En el segundo se usaron las aplicaciones *Clinometer*® y *Compass*® para valorar la movilidad cervical de pacientes asintomáticos. En este estudio los resultados fueron bastante dispares: en la flexión cervical y la inclinación derecha, se obtuvo una correlación excelente; en la inclinación cervical izquierda, la correlación fue buena; y en la extensión cervical y en ambas rotaciones, la correlación fue aceptable.

En cuanto al Coeficiente de Correlación de Pearson, ocho artículos utilizaron este estadístico. Cinco de ellos obtuvieron una correlación alta o muy alta. En el artículo de Ghorbani et al. (73), que valoraron la movilidad cervical en pacientes con cervicalgia mediante las aplicaciones *Clinometer*® y *Compass*®, obtuvieron una correlación alta o muy alta excepto en las rotaciones cervicales, en las que la correlación fue de baja a moderada. En el trabajo de Laflamme et al. (69), ya mencionado anteriormente, se obtuvo una correlación moderada excepto en la inclinación derecha, que fue alta, y la rotación izquierda, que fue

baja. En el estudio de Pourahmadi et al (83), se valoró la flexión y extensión lumbar de pacientes con lumbalgia mediante la aplicación *iHandy Level*®, obteniendo una baja correlación en la extensión, y una correlación insignificante en la flexión.

En la siguiente tabla (tabla 7), podemos observar los valores de correlación respecto a la variabilidad intraobservador. Los artículos que no evaluaban esta variabilidad no fueron reflejados en la tabla.

Tabla 7. Fiabilidad intra-observador de cada uno de los artículos

| Artículo               | ICC  | CC de Pearson | EEM                    | CMD                     |
|------------------------|--|---------------|------------------------|-------------------------|
| Salamh, 2013 (71)      | 0,81   | -             | 3                      | 6°                      |
| Kolber, 2013 (64)      | FTL = 0,97<br>FLU = 0,88<br>ETL = 0,80<br>ITLD = 0,82<br>ITLI = 0,84   | -             | -                      | -                       |
| Laflamme, 2013 (69)    | <b>Explorador 1</b><br>FCE = 0,78<br>ECE = 0,84<br>ICD = 0,77<br>ICI = 0,78<br>RCD = 0,74<br>RCI = 0,66<br><br><b>Explorador 2</b><br>FCE = 0,68<br>ECE = 0,42<br>ICD = 0,68<br>ICI = 0,68<br>RCD = 0,17<br>RCI = 0,28 | -             | -                      | -                       |
| Koumantakis, 2016 (72) | CL = 0,96<br>CS = 0,97   | -             | CL = 2,13<br>CS = 1,61 | CL = 5,9°<br>CS = 4,46° |

| Artículo                  | ICC  | CC de Pearson | EEM  | CMD  |
|---------------------------|--|---------------|--|--|
| Pourahmadi, 2016 (66)     | <b>Explorador 1</b><br>Flexión:<br>Intra-día = 0,92<br>Inter-día = 0,87<br><br>Extensión:<br>Intra-día = 0,92<br>Inter-día = 0,90<br><br><b>Explorador 2</b><br>Flexión:<br>Intra-día = 0,92<br>Inter-día = 0,90<br><br>Extensión:<br>Intra-día = 0,91<br>Inter-día = 0,85 | -             | <b>Explorador 1</b><br>Flexión:<br>Intra-día = 2,41<br>Inter-día = 2,99<br><br>Extensión:<br>Intra-día = 2,25<br>Inter-día = 2,55<br><br><b>Explorador 2</b><br>Flexión:<br>Intra-día = 2,10<br>Inter-día = 2,46<br><br>Extensión:<br>Intra-día = 2,33<br>Inter-día = 2,74 | <b>Explorador 1</b><br>Flexión:<br>Intra-día = 6,69°<br>Inter-día = 7,96°<br><br>Extensión:<br>Intra-día = 6,24°<br>Inter-día = 7,07°<br><br><b>Explorador 2</b><br>Flexión:<br>Intra-día = 5,82°<br>Inter-día = 6,82°<br><br>Extensión:<br>Intra-día = 6,46°<br>Inter-día = 7,59° |
| Jayavel, 2017 (81)        | FTL = 0,40<br>FLU = 0,40<br>ETL = 0,39<br>ITLD = 0,20<br>ITLI = 0,30   | -             | -  | -  |
| Guidetti, 2017 (70)       | FCE = 0,95<br>ECE = 0,97<br>ICD = 0,94<br>ICI = 0,92<br>RCD = 0,95<br>RCI = 0,98   | -             | FCE = 2,54<br>ECE = 2,69<br>ICD = 2,30<br>ICI = 2,44<br>RCD = 1,94<br>RCI = 1,62   | FCE = 7°<br>ECE = 7°<br>ICD = 6°<br>ICI = 7°<br>RCD = 5°<br>RCI = 4°   |
| Furness, 2018 (80)        | <b>Explorador 1</b><br>RTD = 0,97<br>RTI = 0,98<br><br><b>Explorador 2</b><br>RTD = 0,96<br>RTI = 0,97   | -             | <b>Explorador 1</b><br>RTD = 2,90<br>RTI = 2,44<br><br><b>Explorador 2</b><br>RTD = 3,79<br>RTI = 2,98   | -  |
| Rodríguez-Sanz, 2018 (74) | FCA = 0,73<br>ECA = 0,98<br>FCB = 0,90<br>ECB = 0,94<br>ICDB = 0,83<br>ICIB = 0,88<br>RCDB = 0,89<br>RCIB = 0,96   | -             | -  | -  |

| Artículo              | ICC   | CC de Pearson  | EEM   | CMD  |
|-----------------------|---|--|---|--|
| de Brito, 2019 (65)   | <p><b>Sintomáticos:</b><br/>FTL = 0,96<br/>ETL = 0,75<br/>ITLD = 0,69<br/>ITLI = 0,80</p> <p><b>Asintomáticos</b><br/>FTC = 0,97<br/>ETC = 0,92<br/>ITLD = 0,91<br/>ITLI = 0,91</p>   | -  | <p><b>Sintomáticos:</b><br/>FTL = 4,2<br/>ETL = 4,5<br/>ITLD = 2,6<br/>ITLI = 2,3</p> <p><b>Asintomáticos</b><br/>FTC = 2,0<br/>ETC = 3,7<br/>ITLD = 1,6<br/>ITLI = 1,6</p>   | <p><b>Sintomáticos:</b><br/>FTL = 11,6°<br/>ETL = 12,5°<br/>ITLD = 7,1°<br/>ITLI = 6,3°</p> <p><b>Asintomáticos</b><br/>FTC = 5,6°<br/>ETC = 10,3°<br/>ITLD = 4,5°<br/>ITLI = 4,4°</p>   |
| Pourahmadi, 2019 (83) | <p><b>Explorador 1</b><br/>Flexión:<br/>Intra-día = 0,65<br/>Inter-día = 0,62</p> <p>Extensión:<br/>Intra-día = 0,66<br/>Inter-día = 0,62</p> <p><b>Explorador 2</b><br/>Flexión:<br/>Intra-día = 0,56<br/>Inter-día = 0,47</p> <p>Extensión:<br/>Intra-día = 0,70<br/>Inter-día = 0,30</p> | -  | <p><b>Explorador 1</b><br/>Flexión:<br/>Intra-día = 6,56<br/>Inter-día = 7,28</p> <p>Extensión:<br/>Intra-día = 7,51<br/>Inter-día = 6,92</p> <p><b>Explorador 2</b><br/>Flexión:<br/>Intra-día = 4,31<br/>Inter-día = 4,46</p> <p>Extensión:<br/>Intra-día = 4,84<br/>Inter-día = 5,86</p> | <p><b>Explorador 1</b><br/>Flexión:<br/>Intra-día = 10,04°<br/>Inter-día = 10,57°</p> <p>Extensión:<br/>Intra-día = 10,74°<br/>Inter-día = 10,31°</p> <p><b>Explorador 2</b><br/>Flexión:<br/>Intra-día = 0<br/>Inter-día = 0,90</p> <p>Extensión:<br/>Intra-día = 8,62<br/>Inter-día = 9,49</p> |
| Ghorbani, 2020 (73)   | <p><b>iPhone®</b><br/>FCE = 0,90<br/>ECE = 0,91<br/>ICD = 0,93<br/>ICI = 0,88<br/>RCD = 0,66<br/>RCI = 0,79</p> <p><b>Android®</b><br/>FCE = 0,89<br/>ECE = 0,88<br/>ICD = 0,90<br/>ICI = 0,85<br/>RCD = 0,52<br/>RCI = 0,13</p>  | -  | <p><b>iPhone®</b><br/>FCE = 3,26<br/>ECE = 3,30<br/>ICD = 1,91<br/>ICI = 2,42<br/>RCD = 3,52<br/>RCI = 2,94</p> <p><b>Android®</b><br/>FCE = 3,33<br/>ECE = 4,39<br/>ICD = 2,49<br/>ICI = 2,49<br/>RCD = 8,68<br/>RCI = 11,86</p>   | <p><b>iPhone®</b><br/>FCE = 9,04°<br/>ECE = 9,14°<br/>ICD = 5,29°<br/>ICI = 6,70°<br/>RCD = 9,75°<br/>RCI = 8,14°</p> <p><b>Android®</b><br/>FCE = 9,23°<br/>ECE = 12,15°<br/>ICD = 6,89°<br/>ICI = 6,89°<br/>RCD = 24,05°<br/>RCI = 32,88°</p>  |
| Monreal, 2021 (82)    | <p>FCE = 0,73<br/>ECE = 0,80<br/>ICD = 0,92<br/>ICI = 0,93<br/>RCD = 0,87<br/>RCI = 0,89</p>  | <p>FCE = 0,74<br/>ECE = 0,84<br/>ICD = 0,93<br/>ICI = 0,93<br/>RCD = 0,92<br/>RCI = 0,89</p> | -   | -  |

| Artículo         | ICC  | CC de Pearson | EEM | CMD |
|------------------|--|---------------|-----|-----|
| Huang, 2022 (75) | Explorador 1 = 0,98<br>Explorador 2 = 0,98 | -             | -   | -   |

Abreviaturas: ICC = índice de correlación intraclase; CC = coeficiente de correlación; EEM = error estándar de la media; CMD = cambio mínimo detectable; FTL = flexión toraco-lumbar; ETL = extensión toraco-lumbar; ITLD = inclinación toraco-lumbar derecha; ITLI = inclinación toracolumbar izquierda; FCE = flexión cervical; ECE = extensión cervical; ICD = inclinación cervical derecha; ICI = inclinación cervical izquierda; RCD = rotación cervical derecha; RCI = rotación cervical izquierda; RTD = rotación torácica derecha; RTI = rotación torácica izquierda; FLU = flexión lumbar; CL = curva lumbar; CS = curva sacra; FCA = flexión cervical alta; ECA = extensión cervical alta; FCB = flexión cervical baja; ECB = extensión cervical baja; ICDB = inclinación cervical derecha baja; ICIB = inclinación cervical izquierda baja; RCDB = rotación cervical derecha baja; RCIB = rotación cervical izquierda baja.

14 de los 15 artículos de la presente revisión valoraron la fiabilidad intra-observador con las aplicaciones, únicamente el trabajo de Bucke et al. (67) no realizó este análisis. Como podemos observar en la tabla, 7 de esos artículos obtuvieron una fiabilidad intra-observador excelente en referencia al Índice de Correlación Intraclase en todas sus mediciones. Los estudios de De Brito et al. (65), Monreal et al. (82) y Rodríguez-Sanz et al. (74) obtuvieron correlación excelente en todas sus mediciones excepto en una variable en cada uno de ellos, que fue la inclinación toraco-lumbar derecha (en sintomáticos), la flexión cervical y la flexión cervical alta, respectivamente, obteniendo en los tres una buena correlación. En el trabajo de Ghorbani et al. (73), en el cual se evaluó esta fiabilidad tanto en un dispositivo *iPhone*® como en un dispositivo *Android*®, se obtuvo una buena correlación en la rotación cervical derecha con *iPhone*®, mientras que una correlación aceptable en la rotación derecha y baja en la rotación izquierda medida con *Android*®. El resto de variables tuvieron una correlación excelente en ambos dispositivos.

En el artículo de Laflamme et al. (69), se valoró esta fiabilidad en dos exploradores diferentes. El primero obtuvo una correlación de buena a excelente, mientras que en el segundo la correlación fue de aceptable a buena excepto en las rotaciones cervicales, que fue baja. En los dos estudios de Pourahmadi et al. (66,83) también se utilizó a dos exploradores y, además, se valoró la fiabilidad



intra-observador en el mismo día y en días diferentes. En el primer trabajo, la correlación fue excelente en todas las mediciones. En el segundo, la correlación fue buena para el primer explorador, y aceptable en flexión en el mismo día y en días diferentes, buena en la extensión en el mismo día y baja en la extensión en días diferentes para el segundo explorador.

El artículo de Jayavel et al. (81) obtuvo la correlación intra-observador más baja de todos los incluidos en la presente revisión. Los autores utilizaron la aplicación *iHandy Level*® para valorar la movilidad toraco-lumbar de pacientes con lumbalgia. La correlación fue baja en todos los movimientos analizados

En la siguiente tabla (tabla 8) están reflejados los valores de correlación con respecto a la variabilidad inter-observador. Los artículos que no evaluaban esta variabilidad no fueron reflejados en la tabla. La columna del coeficiente de correlación de Pearson fue omitida, puesto que en ningún artículo se utilizó este estadístico para evaluar la variabilidad inter-observador.

Tabla 8. Fiabilidad inter-observador de los distintos artículos.

| Artículo              | ICC   | EEM   | CMD   |
|-----------------------|---|---|---|
| Salamh, 2013 (71)     | 0,90  | -   | -   |
| Laflamme, 2013 (69)   | FCE = 0,48<br>EC = 0,49<br>ICD = 0,54<br>ICI = 0,40<br>RCD = 0,09<br>RCI = 0,07 | -   | -   |
| Pourahmadi, 2016 (66) | FLU = 0,85<br>ELU = 0,89  | FL = 3,12<br>EL = 2,66  | FL = 8,66°<br>EL = 7,38°  |
| Guidetti, 2017 (70)   | FCE = 0,95<br>EC = 0,97<br>ICD = 0,94<br>ICI = 0,91<br>RCD = 0,95<br>RCI = 0,98 | FCE = 2,52<br>EC = 2,79<br>ICD = 2,45<br>ICI = 2,50<br>RCD = 2,50<br>RCI = 1,48 | FCE = 7°<br>EC = 8°<br>ICD = 7°<br>ICI = 7°<br>RCD = 7°<br>RCI = 4° |

| Artículo                  | ICC   | EEM                    | CMD                      |
|---------------------------|---|------------------------|--------------------------|
| Jayavel, 2017 (81)        | FTL = 0,73<br>FLU = 0,40<br>ETL = 0,55<br>ITLD = 0,25<br>ITLI = 0,59  | -                      | -                        |
| Furness, 2018 (80)        | RTD = 0,96<br>RTI = 0,97  |                        |                          |
| Rodríguez-Sanz, 2018 (74) | FCA = 0,68<br>ECA = 0,97<br>FCB = 0,90<br>ECB = 0,98<br>ICDB = 0,88<br>ICIB = 0,87<br>RCDB = 0,86<br>RCIB = 0,94  | -                      | -                        |
| Pourahmadi, 2019 (83)     | FLU = 0,13<br>ELU = 0,70  | FL = 9,33<br>EL = 6,83 | FL = 11,97<br>EL = 10,24 |
| Ghorbani, 2020 (73)       | <b>iPhone®</b><br>FCE = 0,91<br>EC = 0,86<br>ICD = 0,89<br>ICI = 0,80<br>RCD = 0,75<br>RCI = 0,78<br><br><b>Android®</b><br>FCE = 0,91<br>EC = 0,90<br>ICD = 0,92<br>ICI = 0,92<br>RCD = 0,48<br>RCI = 0,17 | -                      | -                        |
| Huang, 2022 (75)          | 0,98  | -                      | -                        |

Abreviaturas: ICC = índice de correlación intraclase; CC = coeficiente de correlación; EEM = error estándar de la media; CMD = cambio mínimo detectable; FTL = flexión toraco-lumbar; ETL = extensión toraco-lumbar; ITLD = inclinación toraco-lumbar derecha; ITLI = inclinación toracolumbar izquierda; FCE = flexión cervical; EC = extensión cervical; ICD = inclinación cervical derecha; ICI = inclinación cervical izquierda; RCD = rotación cervical derecha; RCI = rotación cervical izquierda; RTD = rotación torácica derecha; RTI = rotación torácica izquierda; FLU = flexión lumbar; ELU = extensión lumbar; FCA = flexión cervical alta; ECA = extensión cervical alta; FCB = flexión cervical baja; ECB = extensión cervical baja; ICDB = inclinación cervical derecha baja; ICIB = inclinación cervical izquierda baja; RCDB = rotación cervical derecha baja; RCIB = rotación cervical izquierda baja.

10 artículos evaluaron la fiabilidad inter-observador de los 15 incluidos en la revisión. Cinco de ellos obtuvieron una correlación excelente en todas las mediciones. El estudio de Rodríguez-Sanz et al. (74) obtuvo una correlación

excelente en todas las mediciones excepto en una, que fue la flexión cervical alta, en la cual la correlación fue buena. En el trabajo de Ghorbani et al. (73), la medición de las rotaciones cervicales con el dispositivo *Android*® obtuvo una fiabilidad inter-observador con una correlación aceptable para la rotación cervical derecha y baja para la rotación izquierda, mientras que en el resto de variables la correlación fue excelente con ambos dispositivos.

El artículo de Jayavel et al. (81), la correlación para la fiabilidad inter-observador fue buena para la flexión toraco-lumbar, aceptable para la flexión lumbar aislada, la extensión toraco-lumbar y la inclinación toraco-lumbar izquierda, mientras que fue baja para la inclinación toraco-lumbar derecha. Uno de los estudios de Pourahmadi et al. (83), que valoró la flexión y extensión lumbar, obtuvo una correlación baja en la flexión y buena en la extensión. En el trabajo de Laflamme et al. (69), los autores obtuvieron una correlación aceptable en la flexo-extensión y las inclinaciones cervicales, pero baja en las rotaciones. Estas últimas variables obtuvieron la correlación más baja en relación con la variabilidad inter-observador de los artículos incluidos en la presente revisión, ya que ambas se encontraban por debajo de 0,1.

#### 4.2. ESTUDIO 2: VALIDEZ DE LAS APLICACIONES EN COMPARACIÓN AL INCLINÓMETRO

25 personas cumplieron los criterios de inclusión y fueron incluidos en el protocolo de medición, 15 hombres y 10 mujeres, con una edad media de  $20,8 \pm 1,8$  años. No hubo pacientes excluidos.

La tabla 9 muestra los valores de la media y la desviación típica de la edad, peso, talla e Índice de Masa Corporal (IMC) de los participantes separado por género, así como el grado de significancia al comparar hombres y mujeres:

Tabla 9. Características de la muestra

|         | <b>Edad (años)</b> | <b>Peso (kg)</b> | <b>Altura (cm)</b> | <b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b> |
|---------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|
| Hombres | 21,7 ± 1,4         | 73,7 ± 5,45      | 178,1 ± 7,87       | 23,25 ± 1,75                  |
| Mujeres | 19,4 ± 1,4         | 59,5 ± 7,12      | 165,8 ± 4,66       | 21,74 ± 2,73                  |
| p-valor | p < 0,001          | p < 0,001        | p < 0,001          | p = 0,12                      |

Abreviaturas: kg = kilogramos; cm = centímetros; m = metros

Como podemos observar en la tabla 9, existen diferencias significativas entre el grupo de hombres y el de mujeres para todas las variables recogidas excepto para el Índice de Masa Corporal. Como ya se mencionó anteriormente, los resultados serán analizados por separado en función del género. En la siguiente tabla (tabla 10) podemos observar los valores de la media y la desviación típica de la cifosis medida con cada dispositivo en cada posición, y separados por género.

Tabla 10. Media y desviación típica de cada dispositivo

|                             |         | <b>Inclinómetro (°)</b> | <b>Clinometer® (°)</b> | <b>RSI® (°)</b> |
|-----------------------------|---------|-------------------------|------------------------|-----------------|
| Cifosis en bipedestación    | Hombres | 43,53 ± 5,98            | 43,53 ± 6,45           | 43,33 ± 6,16    |
|                             | Mujeres | 46,30 ± 9,11            | 46,40 ± 9,3            | 45,60 ± 9,24    |
| Lordosis en bipedestación   | Hombres | 22,07 ± 6,92            | 22,27 ± 6,88           | 22,53 ± 7,31    |
|                             | Mujeres | 25,00 ± 6,43            | 26,00 ± 6,57           | 25,50 ± 6,13    |
| Cifosis en sedestación      | Hombres | 55,07 ± 13,1            | 54,53 ± 12,3           | 54,73 ± 12,73   |
|                             | Mujeres | 38,90 ± 8,39            | 39,60 ± 7,09           | 39,80 ± 8,95    |
| Cifosis en flexión anterior | Hombres | 88,87 ± 13              | 89,20 ± 12,7           | 88,20 ± 12,61   |
|                             | Mujeres | 86,40 ± 11,05           | 87,9 ± 12,04           | 88,1 ± 10,07    |

Abreviaturas: RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

Podemos observar en la tabla anterior que las medias son similares en las posiciones de bipedestación y de flexión anterior entre hombres y mujeres, ya que la diferencia entre esas medias no supera los 4°, ni con el inclinómetro ni con las aplicaciones. Las desviaciones típicas en estos dos movimientos también son similares. En cuanto a la cifosis en sedestación, la diferencia es mayor, con en torno a 15° de diferencia entre las medias de hombres y mujeres. La dispersión en esta curva también es diferente puesto que encontramos mayor diferencia en las desviaciones típicas entre ambos géneros, siendo los hombres los que presentan mayor grado de dispersión en sus mediciones.

En la siguiente tabla (tabla 11) podemos observar las correlaciones entre las distintas mediciones y en las diferentes posiciones de medición, primero utilizando a todos los pacientes en conjunto y después separándolos por género. Se ha tenido en cuenta conjuntamente al inclinómetro y a las dos aplicaciones:

Tabla 11. Correlaciones entre el inclinómetro y las dos aplicaciones

|                             |         | <b>Alpha de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>95% IC</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------------|---------|--------------------------|------------|---------------|----------------|
| Cifosis en bipedestación    | Todos   | 0,991                    | 0,973      | 0,949 - 0,987 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,987                    | 0,961      | 0,911 – 0,986 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,993                    | 0,981      | 0,945 – 0,995 | p < 0,001      |
| Lordosis en bipedestación   | Todos   | 0,988                    | 0,964      | 0,931 – 0,983 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,989                    | 0,969      | 0,928 – 0,989 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,983                    | 0,951      | 0,866 – 0,987 | p < 0,001      |
| Cifosis en sedestación      | Todos   | 0,995                    | 0,986      | 0,973 – 0,993 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,995                    | 0,984      | 0,962 – 0,994 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,988                    | 0,964      | 0,900 – 0,990 | p < 0,001      |
| Cifosis en flexión anterior | Todos   | 0,993                    | 0,979      | 0,960 – 0,990 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,995                    | 0,985      | 0,965 – 0,995 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,991                    | 0,974      | 0,926 – 0,993 | p < 0,001      |

Abreviaturas: ICC = Índice de Correlación Intraclase; IC = intervalo de confianza

Podemos observar en la tabla anterior que existe una correlación excelente en todas las mediciones, puesto que todas ellas eran superiores al 0,95. Esto supone una recreación casi perfecta del inclinómetro por parte de las aplicaciones. La medición con la correlación más baja teniendo en cuenta a todos los participantes fue la lordosis medida en bipedestación, con una correlación de 0,964 en el Índice de Correlación Intraclase. En cuanto a la separación por género, la correlación más baja la obtuvieron las mujeres en esta misma curva, con 0,951. La correlación más alta sin separación por género se obtuvo en la cifosis en sedestación, con un ICC de 0,986. En cambio, considerando a hombres y mujeres por separado, encontramos que la correlación más alta obtenida es la de la cifosis en flexión anterior en los varones, con 0,985. Comparando entre grupos, la correlación fue mayor para las mujeres en la cifosis

en bipedestación, mientras que fue mayor para los hombres en las otras tres curvas sagitales.

A continuación, veremos las correlaciones de cada aplicación por separado. En la siguiente tabla (tabla 12) podemos observar las correlaciones entre el inclinómetro y la aplicación *Clinometer*®:

Tabla 12. Correlaciones entre el inclinómetro y la aplicación *Clinometer*®

|                             |         | <b>Alpha de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>95% IC</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------------|---------|--------------------------|------------|---------------|----------------|
| Cifosis en bipedestación    | Todos   | 0,986                    | 0,973      | 0,940 – 0,988 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,980                    | 0,961      | 0,889 – 0,987 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,990                    | 0,980      | 0,921 – 0,995 | p < 0,001      |
| Lordosis en bipedestación   | Todos   | 0,978                    | 0,957      | 0,905 – 0,981 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,980                    | 0,961      | 0,887 – 0,987 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,973                    | 0,947      | 0,804 – 0,987 | p < 0,001      |
| Cifosis en sedestación      | Todos   | 0,994                    | 0,987      | 0,971 – 0,994 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,994                    | 0,988      | 0,964 – 0,996 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,979                    | 0,959      | 0,846 – 0,990 | p < 0,001      |
| Cifosis en flexión anterior | Todos   | 0,988                    | 0,975      | 0,945 – 0,989 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,989                    | 0,979      | 0,939 – 0,993 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,986                    | 0,971      | 0,890 – 0,993 | p < 0,001      |

Abreviaturas: ICC = Índice de Correlación Intraclase; IC = intervalo de confianza

Como se puede ver en la tabla anterior, la correlación entre esta aplicación y el inclinómetro es excelente, puesto que ninguna de las correlaciones obtenidas está por debajo de 0,94. Teniendo en cuenta a todos los participantes, la correlación más alta se obtuvo en la cifosis en sedestación, con un Índice de Correlación Intraclase de 0,987. Por otro lado, la más baja fue la lordosis en

bipedestación con una correlación de 0,957. Si separamos los resultados en función del género, la correlación más alta la obtuvieron los hombres en la cifosis en sedestación con 0,988, y la más baja la obtuvieron las mujeres en la lordosis en bipedestación, con 0,947. Los hombres obtuvieron mayor correlación en la lordosis en bipedestación, en la flexión anterior y en la sedestación, mientras que la correlación en las mujeres fue más alta en la cifosis en bipedestación.

En la siguiente tabla (tabla 13) podemos observar los valores de correlación entre el inclinómetro y la aplicación *Rotating Sphere Inclinometer*®:

Tabla 13. Correlaciones entre el inclinómetro y la aplicación *Rotating Sphere Inclinometer*®

|                             |         | <b>Alpha de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>95% IC</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------------|---------|--------------------------|------------|---------------|----------------|
| Cifosis en bipedestación    | Todos   | 0,984                    | 0,969      | 0,930-0,986   | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,981                    | 0,963      | 0,893 – 0,987 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,986                    | 0,972      | 0,893 – 0,993 | p < 0,001      |
| Lordosis en bipedstación    | Todos   | 0,984                    | 0,968      | 0,982 – 0,986 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,980                    | 0,961      | 0,888 – 0,987 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,988                    | 0,977      | 0,910 – 0,994 | p < 0,001      |
| Cifosis en sedestación      | Todos   | 0,992                    | 0,984      | 0,964 – 0,993 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,988                    | 0,977      | 0,933 – 0,992 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,990                    | 0,980      | 0,922 – 0,995 | p < 0,001      |
| Cifosis en flexion anterior | Todos   | 0,988                    | 0,976      | 0,946 – 0,989 | p < 0,001      |
|                             | Hombres | 0,993                    | 0,987      | 0,962 – 0,996 | p < 0,001      |
|                             | Mujeres | 0,983                    | 0,967      | 0,874 – 0,992 | p < 0,001      |

Abreviaturas: ICC = Índice de Correlación Intraclase; IC = intervalo de confianza



Como se puede observar en la tabla 13, de nuevo todas las correlaciones fueron excelentes, ya que todas se encontraban por encima de 0,96. Sin tener en cuenta el género, la mayor correlación fue en la cifosis en sedestación, de 0,984, al igual que con la otra aplicación, mientras que la más baja fue la lordosis en bipedestación, con 0,968, coincidiendo también con el resultado de la aplicación anterior. Separando en función del género, en este caso la mayor correlación la obtienen los hombres en la cifosis en flexión anterior, con 0,987, mientras que la más baja fue obtenida también por los hombres en la lordosis en bipedestación, con 0,961. En los varones se obtuvo mayor correlación en la cifosis en sedestación y en flexión anterior, mientras que en las mujeres fue superior en la cifosis y la lordosis en bipedestación.

Dentro de que todas las correlaciones obtenidas fueron muy altas, existe cierta tendencia a que la correlación obtenida con los hombres sea mayor en la cifosis en flexión anterior y en sedestación, mientras que las mujeres obtengan mayor correlación en la bipedestación, ya que esto ocurre con ambas aplicaciones. En cambio, para la lordosis en bipedestación, con la aplicación *Clinometer*® la correlación es superior para los hombres, y con *Rotating Sphere inclinometer*®, es mayor en mujeres. Comparando ambas entre sí, *Clinometer*® obtiene mejores correlaciones en la cifosis en bipedestación y en sedestación, mientras que *Rotating Sphere Inclinometer*® obtiene correlaciones superiores en la lordosis en bipedestación. Ambas aplicaciones obtuvieron la misma correlación en la flexión anterior, de 0,988. La correlación global de *Clinometer*® es ligeramente superior a la de *Rotating Sphere Inclinometer*®, aunque esta es una diferencia insignificante.

### 4.3. ESTUDIO 3: VARIABILIDAD INTRA OBSERVADOR E INTEROBSERVADOR

Se reclutó a 13 personas que cumplieron los criterios de inclusión para la medición, 4 varones y 9 mujeres, con una edad media de 20.8 años. No hubo participantes excluidos. En la siguiente tabla (tabla 14) podemos observar un desglose de los datos antropométricos de la muestra utilizada para la medición, tanto teniendo en cuenta a toda la muestra en conjunto como separando por género.

Tabla 14. Características de la muestra

|         | Edad (años) | Peso (kg)    | Altura (cm)  | IMC (kg/m <sup>2</sup> ) |
|---------|-------------|--------------|--------------|--------------------------|
| Hombres | 20,8 ± 1,71 | 74,6 ± 8,30  | 174 ± 2,94   | 24,6 ± 2,08              |
| Mujeres | 20,8 ± 2,17 | 58,4 ± 9,99  | 163,1 ± 3,33 | 22,09 ± 4,28             |
| Todos   | 20,8 ± 1,96 | 63,4 ± 12,00 | 166,4 ± 6,10 | 22,86 ± 3,84             |

Abreviaturas: kg = kilogramos; cm = centímetros; m = metros

#### 4.3.1. Variabilidad intraobservador explorador 1 (experto)

En primer lugar, se analizará la variabilidad intraobservador del explorador experto, el autor de la presente tesis, en la medición de las cuatro curvas del plano sagital del raquis que se han explorado. En la siguiente tabla (tabla 15) podemos observar un desglose comparativo de las medias obtenidas en la primera y segunda medición en cada una de las posiciones, tanto con el inclinómetro como con la aplicación.

Tabla 15. Medias y diferencia entre la primera y la segunda medición en el primer explorador

|                          | <b>1ª medición<br/>(media±DT)</b> | <b>2ª medición<br/>(media±DT)</b> | <b>Diferencia de<br/>medias</b> | <b>EEM</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------|----------------|
| <b>Inclinómetro</b>      |                                   |                                   |                                 |            |                |
| Cifosis en BP relajada   | 42,46° ± 7,53°                    | 40,92° ± 8,27°                    | 1,54° ± 2,33°                   | 0,65       | 0,035          |
| Lordosis en BP relajada  | 28,77° ± 9,0°                     | 29,00° ± 8,76°                    | 0,23° ± 2,59°                   | 0,72       | 0,753          |
| Cifosis en BP corregida  | 31,54° ± 8,01°                    | 31,38° ± 9,14°                    | 0,15° ± 3,21°                   | 0,89       | 0,866          |
| Lordosis en BP corregida | 29,84° ± 7,85°                    | 29,84° ± 10,44°                   | 0° ± 5,17°                      | 1,43       | 1              |

|                          | <b>1ª medición<br/>(media±DT)</b> | <b>2ª medición<br/>(media±DT)</b> | <b>Diferencia de<br/>medias</b> | <b>EEM</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------|----------------|
| <b>RSI</b>               |                                   |                                   |                                 |            |                |
| Cifosis en BP relajada   | 41,08° ± 8,50°                    | 41,00° ± 8,48°                    | 0,08° ± 2,66°                   | 0,74       | 0,919          |
| Lordosis en BP relajada  | 39,38° ± 6,74°                    | 39,15° ± 7,83°                    | 0,23° ± 3,03°                   | 0,84       | 0,788          |
| Cifosis en BP corregida  | 31,69° ± 9,95°                    | 31,54° ± 10,0°                    | 0,15° ± 2,23°                   | 0,62       | 0,808          |
| Lordosis en BP corregida | 41,15° ± 7,50°                    | 41,69° ± 8,40°                    | 0,54° ± 3,38                    | 0,94       | 0,577          |

Abreviaturas: BP = bipedestación; DT = desviación típica; EEM = error estándar de la media; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

Solo se encontraron diferencias significativas en la medición de la cifosis en bipedestación relajada con inclinómetro. A pesar de esta diferencia significativa, no existe relevancia clínica puesto que la diferencia entre ambas mediciones es de 1,5°. En el resto de medidas no se encontraron diferencias significativas, y la diferencia de las medias entre la primera y la segunda medición nunca superó los 0,6°, ni con inclinómetro ni con la aplicación. La curva con menor diferencia fue la lordosis corregida con inclinómetro, que fue de 0°.

Este explorador obtuvo menores diferencias en total con el uso de la aplicación que con el inclinómetro, aunque en ambos casos la diferencia fue muy

pequeña. En la cifosis en bipedestación relajada la diferencia fue menor con la aplicación, mientras que en la lordosis en bipedestación corregida la diferencia fue menor con el inclinómetro. En las otras dos posiciones (lordosis en bipedestación relajada y cifosis en bipedestación corregida), la diferencia fue idéntica.

En la siguiente tabla (tabla 16) se observan las correlaciones entre la primera y la segunda medición del explorador experto, tanto con el inclinómetro como con la aplicación.

Tabla 16. Correlaciones intraobservador del primer explorador

|                          | <b>Alfa de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>IC 95%</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------------|-------------------------|------------|---------------|----------------|
| <b>Inclinómetro</b>      |                         |            |               |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,978                   | 0,957      | 0,864 - 0,987 | <0,001         |
| Lordosis en BP relajada  | 0,978                   | 0,958      | 0,867 - 0,987 | <0,001         |
| Cifosis en BP corregida  | 0,964                   | 0,930      | 0,565 - 0,950 | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,915                   | 0,844      | 0,848 - 0,950 | <0,001         |
| <b>RSI</b>               |                         |            |               |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,975                   | 0,951      | 0,848 - 0,950 | <0,001         |
| Lordosis en BP relajada  | 0,955                   | 0,914      | 0,743 - 0,973 | <0,001         |
| Cifosis en BP corregida  | 0,987                   | 0,975      | 0,920 - 0,992 | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,953                   | 0,910      | 0,735 - 0,972 | <0,001         |

Abreviaturas: BP = bipedestación; ICC = índice de correlación intraclase; IC = intervalo de confianza; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

En la tabla anterior podemos observar que todas las correlaciones intraobservador para el explorador experto son excelentes, puesto que todas se encuentran por encima de 0,84 y, excepto una, todas por encima de 0,91. La correlación más baja se obtuvo en la medición de la lordosis en BP corregida con el inclinómetro, que fue de 0,844 mientras que la más alta se encontró en la medición de la cifosis en bipedestación corregida con la aplicación, que fue de 0,975.

La fiabilidad intraobservador fue mayor con el inclinómetro en la medición de ambas curvas en posición relajada, mientras que la aplicación obtuvo mayor correlación en las curvas en posición corregida. La correlación global fue ligeramente superior en la aplicación con respecto al inclinómetro.

#### **4.3.2. Variabilidad intraobservador exploradora 2 (parcialmente inexperta)**

A continuación, se expondrán los datos de medias, diferencias y correlaciones obtenidos por la segunda exploradora, la cual tenía únicamente como experiencia la formación recibida en el grado de fisioterapia. En la tabla 17 podemos observar los valores de las medias de las dos mediciones y la diferencia entre las medias tanto para el inclinómetro como para la aplicación.

Tabla 17. Medias y diferencia entre la primera y la segunda medición en la segunda exploradora

|                             | <b>1ª medición<br/>(media±DT)</b>       | <b>2ª medición<br/>(media±DT)</b>       | <b>Diferencia de<br/>medias</b>        | <b>EEM</b> | <b>p-<br/>valor</b> |
|-----------------------------|---|---|--|------------|---------------------|
| <b>Inclinómetro</b>         |   |   |  |            |                     |
| Cifosis en BP<br>relajada   | 37,83 <sup>0</sup> ± 13,06 <sup>0</sup> | 36,92 <sup>0</sup> ± 12,48 <sup>0</sup> | 0,92 <sup>0</sup> ± 4,31 <sup>0</sup>  | 1,26       | 0,477               |
| Lordosis en<br>BP relajada  | 18,59 <sup>0</sup> ± 8,83 <sup>0</sup>  | 16,42 <sup>0</sup> ± 4,80 <sup>0</sup>  | 2,17 <sup>0</sup> ± 7,73 <sup>0</sup>  | 2,23       | 0,353               |
| Cifosis en BP<br>corregida  | 27,58 <sup>0</sup> ± 11,58 <sup>0</sup> | 29,83 <sup>0</sup> ± 11,13 <sup>0</sup> | 2,25 <sup>0</sup> ± 5,13 <sup>0</sup>  | 1,48       | 0,157               |
| Lordosis en<br>BP corregida | 19,16 <sup>0</sup> ± 8,77 <sup>0</sup>  | 17,33 <sup>0</sup> ± 8,08 <sup>0</sup>  | 1,83 <sup>0</sup> ± 8,23 <sup>0</sup>  | 2,38       | 0,457               |
| <b>RSI</b>                  |   |   |  |            |                     |
| Cifosis en BP<br>relajada   | 37,83 <sup>0</sup> ± 11,67 <sup>0</sup> | 37,33 <sup>0</sup> ± 12,18 <sup>0</sup> | 0,50 ± 4,48 <sup>0</sup>               | 1,29       | 0,707               |
| Lordosis en<br>BP relajada  | 20,33 <sup>0</sup> ± 6,64 <sup>0</sup>  | 19,67 <sup>0</sup> ± 7,19 <sup>0</sup>  | 0,67 <sup>0</sup> ± 11,20 <sup>0</sup> | 3,23       | 0,840               |
| Cifosis en BP<br>corregida  | 29,42 <sup>0</sup> ± 10,87 <sup>0</sup> | 30,08 <sup>0</sup> ± 9,33 <sup>0</sup>  | 0,67 <sup>0</sup> ± 6,10 <sup>0</sup>  | 1,76       | 0,712               |
| Lordosis en<br>BP corregida | 18,33 <sup>0</sup> ± 7,22 <sup>0</sup>  | 23,67 <sup>0</sup> ± 5,65 <sup>0</sup>  | 5,33 <sup>0</sup> ± 9,12 <sup>0</sup>  | 2,63       | 0,068               |

Abreviaturas: BP = bipedestación; DT = desviación típica; EEM = error estándar de la media; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

Como se observa en la tabla anterior, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las comparaciones entre la primera y la segunda medición para la segunda exploradora. Las diferencias entre las medias no superaron los 2,5<sup>0</sup> en ninguna medición excepto en la lordosis en bipedestación corregida medida con la aplicación, en la cual se obtuvo una diferencia de 5,33<sup>0</sup>, la mayor para esta exploradora. La curva con menor diferencia fue la cifosis en bipedestación relajada medida con la aplicación, en la que se obtuvo una diferencia de 0,5<sup>0</sup>. Para esta exploradora, ambas aplicaciones obtuvieron la misma diferencia total. La lordosis en bipedestación corregida fue la única curva analizada que obtuvo menor diferencia con el inclinómetro que con la aplicación,

en las otras tres se obtuvo mayor diferencia con el elemento tradicional. En la siguiente tabla (tabla 18) podemos observar las correlaciones entre las medidas.

Tabla 18. Correlaciones intraobservador de la segunda exploradora

|                          | <b>Alfa de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>IC 95%</b>  | <b>p-valor</b> |
|--------------------------|-------------------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Inclinómetro</b>      |                         |            |                |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,971                   | 0,943      | 0,815 – 0,983  | <0,001         |
| Lordosis en BP relajada  | 0,579                   | 0,407      | -0,188 – 0,784 | 0,084          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,946                   | 0,898      | 0,685 – 0,969  | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,687                   | 0,523      | -0,042 – 0,835 | 0,033          |
| <b>RSI</b>               |                         |            |                |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,963                   | 0,929      | 0,774 – 0,979  | <0,001         |
| Lordosis en BP relajada  | -0,894                  | -0,309     | -0,736 – 0,294 | 0,848          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,900                   | 0,819      | 0,486 – 0,944  | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,190                   | 0,009      | -0,546 – 0,559 | 0,488          |

Abreviaturas: BP = bipedestación; ICC = índice de correlación intraclase; IC = intervalo de confianza; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

En la anterior tabla podemos observar que las correlaciones para la medición de la cifosis fueron excelentes en ambas posiciones y con ambos dispositivos. Sin embargo, no fue así para la lordosis. Las lordosis medidas con el inclinómetro obtuvieron una correlación aceptable. Las lordosis medidas con la aplicación obtuvieron una correlación baja. La cifosis en bipedestación relajada medida con inclinómetro obtuvo la correlación más alta de todas las mediciones realizadas por la segunda exploradora, de 0,943, mientras que la lordosis en bipedestación relajada medida con la aplicación fue la curva con

menor correlación intraobservador para la segunda exploradora, con -0,309. Esta exploradora obtuvo mayor correlación global con el inclinómetro que con la aplicación

#### 4.3.3. Variabilidad intraobservador exploradora 3 (totalmente inexperta)

La siguiente fiabilidad intraobservador analizada será la que presentó la tercera exploradora. En la siguiente tabla (tabla 19), podemos observar las medias y sus diferencias en cada una de las diferentes posiciones estudiadas.

Tabla 19. Medias y diferencia entre la primera y la segunda medición en la tercera exploradora

|                             | 1ª medición<br>(media±DT) | 2ª medición<br>(media±DT) | Diferencia de<br>medias | EEM  | p-valor |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|------|---------|
| <b>Inclinómetro</b>         |                           |                           |                         |      |         |
| Cifosis en BP<br>relajada   | 38,25° ± 8,24°            | 41,50° ± 9,46°            | 3,25° ± 3,96°           | 1,14 | 0,016   |
| Lordosis en<br>BP relajada  | 11,75° ± 4,33°            | 21,42° ± 7,12°            | 9,67° ± 5,35°           | 1,54 | <0,001  |
| Cifosis en BP<br>corregida  | 29,17° ± 7,15°            | 31,50° ± 10,31°           | 2,33° ± 4,10°           | 1,18 | 0,074   |
| Lordosis en<br>BP corregida | 10,92° ± 5,18°            | 21,50° ± 7,63°            | 10,58° ± 4,52°          | 1,31 | <0,001  |
| <b>RSI</b>                  |                           |                           |                         |      |         |
| Cifosis en BP<br>relajada   | 37,50° ± 9,11°            | 38,25° ± 8,24°            | 0,75° ± 4,31°           | 1,24 | 0,559   |
| Lordosis en<br>BP relajada  | 9,58° ± 3,20°             | 11,75° ± 4,33°            | 2,17° ± 2,89°           | 0,83 | 0,025   |
| Cifosis en BP<br>corregida  | 25,83° ± 8,55°            | 29,17° ± 7,15°            | 3,33° ± 2,99°           | 0,86 | 0,003   |
| Lordosis en<br>BP corregida | 9,92° ± 3,58°             | 10,92° ± 5,18°            | 1,00° ± 3,98°           | 1,15 | 0,402   |

Abreviaturas: BP = bipedestación; DT = desviación típica; EEM = error estándar de la media; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®



Como se puede observar en la tabla anterior, existen dos movimientos en los cuales la diferencia entre las medidas de la primera y la segunda medición fue mayor, que fueron ambas lordosis, en bipedestación relajada y corregida, medidas con inclinómetro, con  $9,67^{\circ}$  y  $10,58^{\circ}$  respectivamente. Esta última diferencia fue la mayor obtenida por esta exploradora. En el resto de mediciones, la diferencia se mantuvo por debajo de los  $3,5^{\circ}$ , siendo la cifosis en bipedestación relajada medida con aplicación la que obtuvo menor diferencia, con  $0,75^{\circ}$ .

Encontramos diferencias significativas en cinco posiciones: cifosis y lordosis en bipedestación relajada y lordosis en bipedestación corregida medida con inclinómetro, y lordosis en bipedestación relajada y cifosis en bipedestación corregida medida con la aplicación. En esta exploradora, la diferencia total obtenida con la aplicación fue más pequeña que la obtenida con el inclinómetro. La cifosis en bipedestación corregida fue la única curva en la que se obtuvo menor diferencia con el inclinómetro, en el resto la diferencia fue menor con la aplicación. En la siguiente tabla (tabla 20) podemos observar las correlaciones intraobservador obtenidas por esta exploradora.

Tabla 20. Correlaciones intraobservador de la tercera exploradora

|                          | <b>Alfa de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>IC 95%</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------------|-------------------------|------------|---------------|----------------|
| <b>Inclinómetro</b>      |                         |            |               |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,948                   | 0,901      | 0,692 – 0,970 | <0,001         |
| Lordosis en BP relajada  | 0,748                   | 0,588      | 0,051 – 0,861 | 0,17           |
| Cifosis en BP corregida  | 0,944                   | 0,893      | 0,673 – 0,968 | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,863                   | 0,760      | 0,356 – 0,924 | 0,001          |
| <b>RSI</b>               |                         |            |               |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,934                   | 0,877      | 0,629 – 0,963 | <0,001         |
| Lordosis en BP relajada  | 0,832                   | 0,713      | 0,264 – 0,908 | 0,003          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,963                   | 0,928      | 0,770 – 0,979 | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,751                   | 0,601      | 0,072 – 0,866 | 0,015          |

Abreviaturas: BP = bipedestación; ICC = índice de correlación intraclase; IC = intervalo de confianza; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

Esta exploradora, como se observa en la tabla anterior, obtuvo una correlación excelente en cinco de los ocho movimientos analizados: cifosis en bipedestación relajada y cifosis y lordosis en bipedestación corregida con inclinómetro, y ambas cifosis, en bipedestación relajada y corregida, medidas con la aplicación. Las lordosis tanto en bipedestación relajada y en bipedestación corregida medidas con la aplicación obtuvieron una buena correlación, mientras que en la lordosis en bipedestación relajada medida con inclinómetro la correlación fue aceptable, la cual fue la más baja obtenida para esta exploradora, de 0,588. Por otro lado, la correlación más alta se obtuvo en la cifosis en bipedestación corregida medida con la aplicación, la cual fue de 0,928. Esta exploradora obtuvo una mayor correlación intraobservador global con el inclinómetro con respecto a la aplicación, pero esta diferencia fue insignificante.

A continuación, en la tabla 21, podemos observar una comparativa de la fiabilidad intraobservador de cada explorador, interpretando el resultado del índice de correlación intraclase de forma cualitativa (véase material y método)

Tabla 21. Comparación cualitativa de la variabilidad intraobservador

| Variable                      | Experto      |            | Inexperta parcial |            | Inexperta total |            |
|-------------------------------|--------------|------------|-------------------|------------|-----------------|------------|
|                               | Inclinómetro | Aplicación | Inclinómetro      | Aplicación | Inclinómetro    | Aplicación |
| <b>Cifosis bipedestación</b>  | Excelente    | Excelente  | Excelente         | Excelente  | Excelente       | Excelente  |
| <b>Lordosis bipedestación</b> | Excelente    | Excelente  | Aceptable         | Baja       | Aceptable       | Buena      |
| <b>Cifosis corrección</b>     | Excelente    | Excelente  | Excelente         | Excelente  | Excelente       | Excelente  |
| <b>Lordosis corrección</b>    | Excelente    | Excelente  | Aceptable         | Baja       | Excelente       | Buena      |

#### 4.3.4. Variabilidad inter-observador entre primer y segundo explorador

A continuación, se evaluará la fiabilidad inter-observador entre el primer explorador, experto y la segunda exploradora, parcialmente inexperta. Como ya se mencionó anteriormente, para este análisis se obtuvo la media entre la primera y la segunda medición para cada explorador. La tabla siguiente (tabla 22) muestra las medias obtenidas para cada explorador y su diferencia, así como el error estándar y el valor p.

Tabla 22. Medias y diferencia entre el primer y el segundo explorador

|                             | <b>Explorador 1<br/>(media±DT)</b> | <b>Exploradora 2<br/>(media±DT)</b> | <b>Diferencia de<br/>medias</b> | <b>EEM</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------|----------------|
| <b>Inclinómetro</b>         |                                    |                                     |                                 |            |                |
| Cifosis en BP<br>relajada   | 42,42° ± 7,70°                     | 37,38° ± 12,59°                     | 5,04° ± 7,02°                   | 2,03       | 0,030          |
| Lordosis en<br>BP relajada  | 30,33° ± 7,38°                     | 17,50° ± 5,96°                      | 12,83° ± 7,62°                  | 2,20       | <0,001         |
| Cifosis en BP<br>corregida  | 31,58° ± 8,81°                     | 28,71° ± 11,06°                     | 2,88° ± 4,63°                   | 1,34       | 0,054          |
| Lordosis en<br>BP corregida | 30,75° ± 8,61°                     | 18,25° ± 7,36°                      | 12,50° ± 9,64°                  | 2,78       | 0,001          |
| <b>RSI</b>                  |                                    |                                     |                                 |            |                |
| Cifosis en BP<br>relajada   | 41,42° ± 8,64°                     | 37,58° ± 11,71°                     | 3,83° ± 6,74°                   | 1,95       | 0,075          |
| Lordosis en<br>BP relajada  | 40,21° ± 6,58°                     | 20,00° ± 4,07°                      | 20,21° ± 6,73°                  | 1,94       | <0,001         |
| Cifosis en BP<br>corregida  | 31,50° ± 10,34°                    | 29,75° ± 9,66°                      | 1,75° ± 5,73°                   | 1,65       | 0,312          |
| Lordosis en<br>BP corregida | 42,13° ± 7,69°                     | 21,00° ± 4,60°                      | 21,13° ± 7,67°                  | 2,21       | <0,001         |

Abreviaturas: BP = bipedestación; DT = desviación típica; EEM = error estándar de la media; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

Como se puede observar en la tabla anterior, la tendencia en la segunda exploradora es a obtener mediciones más bajas en todas las posiciones, tanto con el inclinómetro como con la aplicación. La diferencia fue elevada en todas las lordosis, en torno a 12° en la medición con inclinómetro, y superando los 20° en ambas lordosis al medir con la aplicación. La diferencia en las cifosis es menor, no superando los 5°. La menor diferencia se obtuvo en la cifosis en bipedestación corregida medida con inclinómetro, que fue de 1,75°, mientras que la mayor diferencia se encontró en la lordosis en bipedestación corregida, la cual fue de 21,13°. Hubo diferencias significativas en las mediciones en todas las posiciones, excepto en dos, las dos cifosis en bipedestación corregida. La diferencia global fue mayor con la aplicación que con el inclinómetro.

En la tabla siguiente (tabla 23) podemos observar las correlaciones inter-observador entre el primer explorador y la segunda exploradora.

Tabla 23. Correlaciones inter-observador entre el primer y el segundo explorador

|                          | <b>Alfa de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>IC 95%</b>  | <b>p-valor</b> |
|--------------------------|-------------------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Inclinómetro</b>      |                         |            |                |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,873                   | 0,774      | 0,386 – 0,929  | 0,001          |
| Lordosis en BP relajada  | 0,523                   | 0,354      | -0,248 – 0,758 | 0,118          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,943                   | 0,893      | 0,672 – 0,968  | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,433                   | 0,277      | -0,326 – 0,719 | 0,18           |
| <b>RSI</b>               |                         |            |                |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,880                   | 0,758      | 0,411 – 0,933  | 0,001          |
| Lordosis en BP relajada  | 0,390                   | 0,242      | -0,359 – 0,701 | 0,213          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,911                   | 0,836      | 0,527 – 0,950  | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,422                   | 0,267      | -0,335 – 0,715 | 0,189          |

Abreviaturas: BP = bipedestación; ICC = índice de correlación intraclase; IC = intervalo de confianza; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

Como se observa en la tabla anterior, se obtuvieron correlaciones excelentes en todas las cifosis con ambos dispositivos de medición. No fue así con la valoración de la lordosis, ya que todas obtuvieron correlaciones bajas. La correlación más alta se obtuvo en la cifosis en bipedestación corregida medida con inclinómetro, de 0,893, mientras que la más baja se consiguió en la lordosis en bipedestación relajada con 0,242. La correlación global fue mayor con el inclinómetro, aunque la diferencia fue pequeña.

#### 4.3.5. Variabilidad inter-observador entre primer y tercer explorador

En este apartado analizaremos la variabilidad inter-observador entre el primer explorador y la tercera exploradora, la cual, como ya mencionamos, no tenía ningún tipo de experiencia ni con el inclinómetro ni con el uso de las aplicaciones. La siguiente tabla (tabla 24) muestra la media obtenida para cada explorador en cada posición y con cada dispositivo, así como la diferencia y el error estándar entre ambas mediciones.

Tabla 24. Medias y diferencia entre el primer y el tercer explorador

|                          | <b>Explorador 1<br/>(media±DT)</b>      | <b>Exploradora 3<br/>(media±DT)</b>    | <b>Diferencia<br/>de medias</b>        | <b>EEM</b> | <b>p-<br/>valor</b> |
|--------------------------|---|--|--|------------|---------------------|
| <b>Inclinómetro</b>      |   |  |  |            |                     |
| Cifosis en BP relajada   | 41,83 <sup>0</sup> ± 8,16 <sup>0</sup>  | 39,88 <sup>0</sup> ± 8,65 <sup>0</sup> | 1,95 <sup>0</sup> ± 4,51 <sup>0</sup>  | 1,3        | 0,161               |
| Lordosis en BP relajada  | 28,79 <sup>0</sup> ± 9,17 <sup>0</sup>  | 16,58 <sup>0</sup> ± 5,25 <sup>0</sup> | 12,21 <sup>0</sup> ± 6,26 <sup>0</sup> | 1,81       | <0,001              |
| Cifosis en BP corregida  | 31,92 <sup>0</sup> ± 8,65 <sup>0</sup>  | 30,33 <sup>0</sup> ± 8,63 <sup>0</sup> | 1,58 <sup>0</sup> ± 3,78 <sup>0</sup>  | 1,09       | 0,175               |
| Lordosis en BP corregida | 30,25 <sup>0</sup> ± 9,14 <sup>0</sup>  | 16,21 <sup>0</sup> ± 6,12 <sup>0</sup> | 14,04 <sup>0</sup> ± 6,08 <sup>0</sup> | 1,76       | <0,001              |
| <b>RSI</b>               |   |  |  |            |                     |
| Cifosis en BP relajada   | 40,96 <sup>0</sup> ± 8,75 <sup>0</sup>  | 37,88 <sup>0</sup> ± 8,41 <sup>0</sup> | 3,08 <sup>0</sup> ± 2,78 <sup>0</sup>  | 0,80       | 0,003               |
| Lordosis en BP relajada  | 39,21 <sup>0</sup> ± 7,46 <sup>0</sup>  | 10,67 <sup>0</sup> ± 3,52 <sup>0</sup> | 28,54 <sup>0</sup> ± 5,15 <sup>0</sup> | 1,49       | <0,001              |
| Cifosis en BP corregida  | 32,17 <sup>0</sup> ± 10,14 <sup>0</sup> | 27,50 <sup>0</sup> ± 7,73 <sup>0</sup> | 4,67 <sup>0</sup> ± 3,47 <sup>0</sup>  | 1,01       | 0,001               |
| Lordosis en BP corregida | 42,13 <sup>0</sup> ± 7,69 <sup>0</sup>  | 10,42 <sup>0</sup> ± 3,98 <sup>0</sup> | 31,71 <sup>0</sup> ± 5,22 <sup>0</sup> | 1,51       | <0,001              |

Abreviaturas: BP = bipedestación; DT = desviación típica; EEM = error estándar de la media; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

En la tabla podemos observar que la comparación entre el primer y tercer explorador sigue una tendencia similar a la encontrada al comparar con la segunda exploradora, puesto que se observan diferencias pequeñas en las cifosis y diferencias grandes en las lordosis. En las cifosis, no se encontraron

diferencias en ninguna posición ni con ningún dispositivo por encima de los 5°. En las lordosis medidas con inclinómetro, observamos diferencias comprendidas entre los 10° y los 15°, mientras que en las medidas con la aplicación estas diferencias rondaron los 30° entre ambos exploradores. Igualmente, como también ocurría con la anterior exploradora, la tendencia del explorador experto es a obtener valores mayores a los de la exploradora inexperta. La menor diferencia se encontró en la cifosis en bipedestación relajada medida con inclinómetro, de 1,58°, mientras que la mayor diferencia se obtuvo en la lordosis en bipedestación corregida medida con la aplicación, de 31,71°. Se encontraron diferencias significativas en todas las posiciones analizadas excepto en dos, ambas cifosis medidas con el inclinómetro. La diferencia global fue mayor con la aplicación que con el inclinómetro.

En la tabla que tenemos a continuación (tabla 25) se observan las correlaciones obtenidas entre las mediciones del primer y el tercer explorador.

Tabla 25. Correlaciones inter-observador entre el primer y el tercer explorador

|                          | <b>Alfa de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>IC 95%</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------------|-------------------------|------------|---------------|----------------|
| <b>Inclinómetro</b>      |                         |            |               |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,922                   | 0,856      | 0,576 – 0,956 | <0,001         |
| Lordosis en BP relajada  | 0,787                   | 0,648      | 0,149 – 0,884 | 0,008          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,943                   | 0,904      | 0,229 – 0,901 | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,819                   | 0,694      | 0,229 – 0,901 | 0,004          |
| <b>RSI</b>               |                         |            |               |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,973                   | 0,948      | 0,829 – 0,985 | <0,001         |
| Lordosis en BP relajada  | 0,758                   | 0,610      | 0,087 – 0,870 | 0,013          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,962                   | 0,926      | 0,764 – 0,978 | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,777                   | 0,636      | 0,128 – 0,880 | 0,01           |

Abreviaturas: BP = bipedestación; ICC = índice de correlación intraclase; IC = intervalo de confianza; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

La comparación entre estos dos exploradores resultó en una excelente correlación inter-observador en todas las cifosis, y en una buena correlación en todas las lordosis. La correlación más alta se obtuvo en la cifosis en bipedestación relajada medida con la aplicación, con un Índice de Correlación Intraclase de 0,948, mientras que la más baja se obtuvo en la lordosis en bipedestación relajada, medida también con la aplicación, de 0,610. La correlación global obtenida fue ligeramente más elevada con la aplicación que con el elemento tradicional de valoración.



#### 4.3.6. Variabilidad inter-observador entre la segunda y la tercera exploradora

A continuación, compararemos entre sí las mediciones realizadas por las dos exploradoras inexpertas. La tabla siguiente (tabla 26) muestra las medias y las diferencias obtenidas por cada una de ellas.

Tabla 26. Medias y diferencia entre la segunda y la tercera exploradora

|                             | Exploradora 2<br>(media±DT) | Exploradora 3<br>(media±DT) | Diferencia<br>de medias | EEM  | p-valor |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------|---------|
| <b>Inclinómetro</b>         |                             |                             |                         |      |         |
| Cifosis en BP<br>relajada   | 37,09 ± 13,16               | 39,86 ± 9,07                | 2,77 ± 7,44             | 2,24 | 0,245   |
| Lordosis en<br>BP relajada  | 16,82 ± 5,74                | 17,00 ± 5,29                | 0,18 ± 6,39             | 1,93 | 0,927   |
| Cifosis en BP<br>corregida  | 28,82 ± 11,60               | 29,82 ± 8,86                | 1,00 ± 4,62             | 1,39 | 0,489   |
| Lordosis en<br>BP corregida | 18,14 ± 7,71                | 16,77 ± 6,08                | 1,36 ± 8,00             | 2,41 | 0,584   |
| <b>RSI</b>                  |                             |                             |                         |      |         |
| Cifosis en BP<br>relajada   | 37,36 ± 12,26               | 38,00 ± 8,81                | 0,64 ± 7,04             | 2,12 | 0,770   |
| Lordosis en<br>BP relajada  | 19,36 ± 3,59                | 10,91 ± 3,59                | 8,45 ± 4,99             | 1,50 | <0,001  |
| Cifosis en BP<br>corregida  | 29,86 ± 10,12               | 27,27 ± 8,07                | 2,59 ± 4,64             | 1,40 | 0,093   |
| Lordosis en<br>BP corregida | 20,68 ± 4,69                | 10,73 ± 4,02                | 9,95 ± 4,67             | 1,41 | <0,001  |

Abreviaturas: BP = bipedestación; DT = desviación típica; EEM = error estándar de la media; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

Como se observa en la tabla anterior, las diferencias fueron mayores en las dos lordosis medidas con la aplicación, ya que en el resto de curvas no se observan diferencias superiores a los 3°. Además, se encontraron diferencias significativas en estas dos posiciones al comparar las medidas entre ambas

exploradoras. La menor diferencia se obtuvo en la lordosis en bipedestación relajada medida con el inclinómetro, de 018° mientras que la mayor diferencia se encontró en la lordosis en bipedestación corregida medida con la aplicación, de 9,95°. La diferencia total fue mayor con la aplicación que con el inclinómetro. La siguiente tabla (tabla 27) muestra los valores de correlación inter-observador entre las dos exploradoras inexpertas.

Tabla 27. Correlaciones inter-observador entre la segunda y la tercera exploradora

|                          | <b>Alfa de Cronbach</b> | <b>ICC</b> | <b>IC 95%</b>  | <b>p-valor</b> |
|--------------------------|-------------------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Inclinómetro</b>      |                         |            |                |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,878                   | 0,783      | 0,378 – 0,937  | 0,001          |
| Lordosis en BP relajada  | 0,496                   | 0,330      | -0,304 – 0,761 | 0,147          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,647                   | 0,900      | 0,672 – 0,972  | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,503                   | 0,336      | -0,297 – 0,764 | 0,143          |
| <b>RSI</b>               |                         |            |                |                |
| Cifosis en BP relajada   | 0,878                   | 0,783      | 0,377 – 0,937  | 0,001          |
| Lordosis en BP relajada  | 0,066                   | 0,034      | -0,533 – 0,598 | 0,458          |
| Cifosis en BP corregida  | 0,932                   | 0,872      | 0,594 – 0,964  | <0,001         |
| Lordosis en BP corregida | 0,600                   | 0,429      | -0,195 – 0,806 | 0,082          |

Abreviaturas: BP = bipedestación; ICC = índice de correlación intraclase; IC = intervalo de confianza; RSI = Rotating Sphere Inclinometer®

Como se observa en la tabla anterior, la correlación obtenida para todas las cifosis en ambas posiciones y con los dos dispositivos fue excelente. En cambio, observamos que todas las lordosis obtuvieron una correlación baja, excepto la lordosis en corrección con la aplicación, que fue aceptable.

La correlación más alta se obtuvo en la cifosis en bipedestación corregida medida con inclinómetro, de 0,900, mientras que la más baja fue la obtenida en la lordosis en bipedestación relajada con la aplicación, de 0,034. La correlación global obtenida fue superior con el inclinómetro que con la aplicación.

A continuación, se muestra una tabla (tabla 28) en el que se compara de forma cualitativa los distintos índices de correlación intraclase obtenidos en cada comparación inter-observador

Tabla 28. Comparación cualitativa de la variabilidad inter-observador

| Variable                      | Experto/<br>Inexperta parcial |            | Experto/<br>inexperta total |            | Inexperta parcial /<br>Inexperta total |            |
|-------------------------------|-------------------------------|------------|-----------------------------|------------|--|------------|
|                               | Inclinómetro                  | Aplicación | Inclinómetro                | Aplicación | Inclinómetro                           | Aplicación |
| <b>Cifosis bipedestación</b>  | Excelente                     | Excelente  | Excelente                   | Excelente  | Excelente                              | Excelente  |
| <b>Lordosis bipedestación</b> | Baja                          | Baja       | Buena                       | Buena      | Baja                                   | Baja       |
| <b>Cifosis corrección</b>     | Excelente                     | Excelente  | Excelente                   | Excelente  | Excelente                              | Excelente  |
| <b>Lordosis corrección</b>    | Baja                          | Baja       | Buena                       | Buena      | Baja                                   | Baja       |



# V. DISCUSIÓN



## 5. DISCUSIÓN

En la presente tesis doctoral, se ha realizado un análisis sobre la fiabilidad y validez de las aplicaciones para *Smartphone* que simulan la acción del inclinómetro. Hemos querido dar especial énfasis al uso de estas aplicaciones en la valoración del plano sagital del raquis, puesto que es un elemento muy relevante a nivel clínico y que requiere de una adecuada valoración, por todo lo visto anteriormente. Aparte de eso, existe una escasez de literatura científica previa en el que se usen estas aplicaciones para valorar este plano del raquis ya que, hasta donde nosotros sabemos, solo existen tres artículos que hayan investigado en este sentido (71,72,75). Además, se ha introducido la novedad de tener en cuenta la experiencia previa del explorador que realizaba la valoración, para comprobar si es necesario tener un bagaje previo en el uso de estos dispositivos para que las mediciones realizadas sean fiables.

Se utilizaron dos grupos de participantes diferentes para realizar las mediciones. Ambos estaban formados por voluntarios, con los mismos criterios de inclusión y exclusión. El primero, utilizado para evaluar la fiabilidad de dos aplicaciones simuladoras de inclinómetro al compararlas con uno tradicional, estuvo formado por 25 personas. El segundo, que fue el que se usó para valorar la fiabilidad intra e inter-observador con exploradores expertos e inexpertos, estuvo compuesto por 13 personas. Esto coincide con otros artículos similares encontrados en la literatura, ya que la varios de ellos incluyeron entre 15 y 30 participantes (64,67,69,70,83).

Mediante las referencias analizadas en la revisión sistemática pudimos comprobar que cuatro de las investigaciones realizaron un análisis previo para calcular la muestra necesaria para evaluar la fiabilidad de estas aplicaciones: Pourahmadi et al (66) calcularon que fueron necesarios 12 participantes; Bucke et al. (67) determinaron que se precisaban 13; Ghorbani et al. (73) establecieron que se necesitaban 17 participantes; y en el otro estudio de Pourahmadi et al. (83) el número necesario resultante fue 28. Por lo tanto, y teniendo en cuenta lo

anterior, podemos saber que el número de participantes reclutados para nuestras mediciones fue adecuado para obtener unas medidas fiables.

Como ya hemos mencionado anteriormente, observando en la revisión, podemos comprobar que cada artículo definió de manera diferente a los participantes como asintomáticos para sus criterios de inclusión y exclusión. Todos estos autores coincidieron en el hecho de considerar la no existencia de dolor para ser considerado asintomático o sano, ya que puede ser un elemento que interfiera en la fiabilidad de las mediciones. Otros autores, como Monreal et al. (82) y Pourahmadi et al. (83), excluyeron a participantes con historial de dolor en los 3 y 6 meses anteriores a la toma de muestras, respectivamente, mientras que De Brito et al. (65) añadió que no presentaran historial de lesión en el raquis, ya que consideraron que, aunque en el momento de la medición los pacientes fueran asintomáticos, este historial sí que podría haber afectado a la fiabilidad de las medidas. En nuestro caso, decidimos que los criterios fueran no presentar dolor, o alguna patología o alteración que pudiera dificultar la realización de las mediciones.

Hemos encontrado cinco revisiones sistemáticas que también valorado la fiabilidad de estas aplicaciones (46,47,49,84,85). Solo una de ellas, la de Pourahmadi et al. (84), se centró exclusivamente en las aplicaciones de inclinómetro, en este caso una llamada *iHandy Level*®, y la utilizaron para valorar la movilidad y la lordosis de la columna lumbar. La investigación de Sedrez et al. (49) realizó un análisis de los estudios que utilizaron aplicaciones en la valoración de la movilidad del raquis, no únicamente las que simulaban el inclinómetro. La revisión de Elgueta-Cancino et al. (85) también siguió esta línea de investigación utilizando todo tipo de aplicaciones, en este caso en la valoración de la movilidad del raquis cervical exclusivamente. Las otras dos revisiones mencionadas valoraron indistintamente movilidad del raquis y de los miembros, e igualmente utilizaron todo tipo de aplicaciones.



Podemos observar que solo en una de las revisiones se tuvo en cuenta el plano sagital del raquis. En cambio, nuestra revisión ha tenido en cuenta todas las regiones del raquis, y se han incluido tanto trabajos que valoren la movilidad como las curvas del plano sagital. Además, no ha habido limitación a solamente una aplicación, sino que se han incluido todos los artículos que utilizasen al menos una de estas aplicaciones simuladoras de inclinómetro. Esto supone llenar un vacío existente en la literatura, puesto que muchos de los artículos incluidos en nuestra revisión no habían sido analizados previamente.

La aplicación *iHandy Level*<sup>®</sup>, la cual aparece en seis de las investigaciones incluidas en la revisión, ha sido comparada en todos los artículos en los que aparece con el inclinómetro. Además, en el artículo de Bucke et al. (67), fue comparada con una medición de la movilidad realizada con ecografía. Todos los artículos en los que aparece esta aplicación valoraron la zona lumbar, ya sea su movilidad (en los que algunos incluyeron parte de la zona dorsal inferior y/o la pelvis) o las curvas sagitales. En todos ellos, los autores obtuvieron una correlación con el inclinómetro excelente en sus mediciones, exceptuando en dos, el de Jayavel et al. (81), y el de Pourahmadi et al. (83). En el primero se utilizó esta aplicación para medir la flexión toraco-lumbo-pélvica, la flexión lumbar aislada, la extensión toraco-lumbo-pélvica y las lateroflexiones lumbares. Se obtuvo una correlación aceptable en la flexión y extensión toraco-lumbo-pélvica, y la inclinación lumbar izquierda, mientras que fue baja en la flexión lumbar aislada y la inclinación lumbar derecha. Esto difiere de los resultados obtenidos en el estudio de Kolber et al. (71), ya que este midió movimientos similares y las correlaciones obtenidas fueron excelentes en todas las variables. La única diferencia entre estos artículos fue la población utilizada, ya que el primero utilizó a pacientes con dolor lumbar, y el segundo a participantes asintomáticos, lo cual puede indicar que la presencia o no de dolor en el paciente puede influir en la fiabilidad de la aplicación *iHandy Level*<sup>®</sup> al valorar la movilidad de la columna toraco-lumbar. Sin embargo, debemos tomar con precaución estos datos ya que solo tenemos dos investigaciones al respecto, y ambos resultados provienen de estudios con una baja calidad metodológica, ya que obtuvieron cuatro y tres puntos en la escala PEDro, respectivamente.

El otro artículo que obtuvo correlación no excelente de esta aplicación, el de Pourahmadi et al (83), midió la flexión y la extensión lumbar en pacientes con dolor lumbar, resultando una correlaciones insignificante y baja, respectivamente (se usó el coeficiente de correlación de Pearson). Estos mismos autores publicaron un estudio similar en el que valoraron estos mismos movimientos (66), aunque en este caso utilizaron a participantes asintomáticos y se utilizó la aplicación *Tiltmeter*®. Viendo estos dos artículos, se podría pensar que el hecho de que el paciente presente dolor lumbar puede hacer que se vea comprometida la fiabilidad en la medición de la flexo-extensión lumbar, aunque no se pueden sacar conclusiones al respecto puesto que solo nos apoyamos en dos investigaciones que, además, emplearon aplicaciones diferentes para valorar estos movimientos.

La segunda aplicación que más aparece en la literatura para la valoración del raquis es *Clinometer*®, la cual es una de las dos aplicaciones utilizadas también en el estudio de validez comparativo realizado en la presente tesis. Podemos encontrar esta aplicación en cinco artículos diferentes, aunque en tres de ellos fue usada junto con *Compass*®. Cuatro de los cinco artículos en los que aparece esta aplicación valoran movimientos de la columna cervical. El artículo restante, el de Bucke et al. (67) realizó una medición de la rotación de la columna dorsal, y lo comparó con un inclinómetro tradicional y una medición con ecografía.

El *CROM device* es el elemento más utilizado como comparación en los artículos en los que aparece la aplicación *Clinometer*® ya que, como hemos mencionado antes, la mayoría de estos trabajos valoraron la columna cervical. Este dispositivo ha demostrado validez y fiabilidad en la medición de la movilidad cervical (77,86,87). El otro artículo que empleó la aplicación *Clinometer*® para valorar la zona cervical, el de Monreal et al. (82), usó como elemento comparativo el goniómetro.

Los estudios de Bucke et al. (67), Monreal et al. (82) y Rodríguez-Sanz et al. (74) obtuvieron una correlación excelente en todas sus mediciones. La investigación de Laflamme et al. (69) encontró una correlación excelente en la flexión e inclinación cervical derecha, una buena correlación en la inclinación cervical izquierda y una correlación aceptable en la extensión cervical y en ambas rotaciones. A pesar de que son correlaciones más bajas que en los otros trabajos, siguen siendo correlaciones suficientes para recomendar el uso de la aplicación.

El estudio de Ghorbani et al. (73), que utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para valorar la asociación entre las mediciones, reportó correlaciones altas o muy altas excepto en las rotaciones: la rotación derecha obtuvo una correlación moderada, y la rotación izquierda obtuvo una correlación baja. Esto podría deberse a que los participantes utilizados presentan dolor cervical de carácter inespecífico, aunque el artículo de Rodríguez-Sanz et al. (74) también utiliza a pacientes con dolor cervical, en este caso crónico, y sus correlaciones son excelentes en todos los movimientos, incluyendo la columna cervical alta. La única diferencia entre los participantes de estos dos estudios es que los del segundo presentaban un mayor tiempo de evolución de los síntomas, pero no se puede establecer que las diferencias en las medidas sean por este motivo. Aun así, y como ocurría anteriormente, es necesario un mayor volumen de investigaciones sobre el uso de *Clinometer*® en la movilidad cervical, así como una mayor calidad metodológica en los mismos.

La siguiente aplicación por analizar es *Compass*®, presente en cinco artículos, dos de forma aislada y tres utilizada de forma conjunta con *Clinometer*®. Al igual que ocurría con *Clinometer*®, cuatro de esos cinco artículos analizaban la movilidad cervical. El estudio restante, el de Furness et al. (80), valoró la rotación torácica. Además, este fue el único artículo de la revisión que no utilizó un dispositivo *Smartphone*, sino un *iPod*®. A pesar de ello, este estudio fue finalmente incluido en la revisión puesto que, a nivel de funcionalidad, la única diferencia entre los *Smartphones* y los *iPods*® es la posibilidad de realizar

llamadas o enviar mensajes de texto, pero el resto de los componentes del dispositivo son similares, como el acelerómetro o el giroscopio. Aparte de eso, esta aplicación también está disponible para utilizar en los *Smartphones*, lo cual fue un criterio de inclusión, y podemos ver que aparece en otros artículos de la presente revisión.

En tres de estos trabajos en los que se usa *Compass*®, los tres que aparece con *Clinometer*®, es comparada con el *CROM device* como se mencionó anteriormente. El artículo de Guidetti et al. (70) utilizó como elemento comparativo el inclinómetro, mientras que en el de Furness et al. (80) se empleó el goniómetro. Tres de estas cinco investigaciones obtuvieron una correlación excelente en todas las mediciones. El estudio de Ghorbani et al (73) obtuvo correlaciones excelentes en todos los movimientos excepto en las rotaciones, que fueron buenas. En este artículo se realizó la misma medición de la movilidad cervical con *Compass*® instalada en un *iPhone*® y con *Clinometer*® instalada en un *Android*®, obteniendo la primera aplicación una correlación superior. Esto podría deberse a dos razones: o bien la aplicación *Compass*® es más fiable que *Clinometer*®, o bien el sistema operativo y/o los componentes del dispositivo *iPhone*® disponen de una mayor sensibilidad para realizar este tipo de mediciones que el de *Android*®, aunque se necesita un mayor número de investigaciones para sacar conclusiones al respecto. A pesar de ello, en general ambas aplicaciones tienen una fiabilidad suficiente para ser utilizadas a nivel clínico, e independientemente de si el paciente presenta o no patología.

En el artículo de Laflamme et al. (69) podemos ver que los dos movimientos valorados con *Compass*®, las dos rotaciones cervicales, obtuvieron una correlación aceptable. Hemos de recordar que este artículo, así como el de Rodríguez-Sanz et al. (74), utilizaron *Clinometer*® para la valoración de la flexo-extensión y las inclinaciones, mientras que *Compass*® se usó en la medición de las rotaciones. En este caso, la correlación obtenida por *Compass*® fue inferior a la de *Clinometer*®, pero no podemos comparar ambas aplicaciones puesto que se utilizaron para medir movimientos diferentes. Viendo este y otros artículos, se

puede apreciar una cierta tendencia a que las rotaciones cervicales obtengan correlaciones menores que el resto de movimientos, tanto con la aplicación *Clinometer*® como con la aplicación *Compass*®, así que podemos achacar este hecho más al movimiento valorado que a la aplicación en sí, ya sea por ser más difícil de medir por el examinador o de realizar para el participante evaluado.

La otra aplicación restante, *Tiltmeter*®, solo se evaluó en un artículo, el de Pourahmadi et al. (66), en el cual midieron la flexión y extensión lumbar de pacientes asintomáticos con esta aplicación instalada en un *iPhone*®, y la compararon a un inclinómetro tradicional. La correlación obtenida fue alta para la flexión lumbar y muy alta para la extensión (se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson). Además, este artículo obtuvo una de las puntuaciones más altas en la escala PEDro de todos los incluidos en la revisión, de 6 puntos sobre 10. A pesar de eso, el volumen de evidencia científica es demasiado escaso para establecer conclusiones fehacientes sobre esta aplicación, ya que serían necesarios más estudios evaluando diferentes grupos poblacionales, diferentes movimientos y compararla con otros elementos de valoración además del inclinómetro.

En el estudio de validez de las aplicaciones para *Smartphone* simuladoras de inclinómetro que nosotros hemos realizado, se comparó dos de estas aplicaciones con un inclinómetro tradicional a la hora de valorar las curvas del plano sagital del raquis en tres posiciones diferentes. La comparación resultó en una excelente correlación de ambas aplicaciones, tanto con el inclinómetro como entre sí.

Estos resultados obtenidos coinciden con otros estudios que han tratado de comparar la fiabilidad en la valoración del plano sagital del raquis (71,72,75), aunque, como ya se mencionó anteriormente, existen pocos artículos al respecto. Además, ninguna de las dos aplicaciones utilizadas en el presente trabajo, *Clinometer*® y *Rotating Sphere Inclinometer*®, había sido utilizada

anteriormente en la valoración de este plano de la columna. De hecho, el uso de la aplicación *Rotating Sphere Inclinator*® supone una novedad en la literatura, puesto que, dentro de nuestro conocimiento, no existen estudios previos que hayan tratado de probar la fiabilidad de esta aplicación.

De las tres investigaciones que hemos podido encontrar con respecto al uso de estas aplicaciones en la medición del plano sagital del raquis, dos de ellas, la de Koumantakis et al. (72) y la de Salamh et al. (71), utilizaron la aplicación *iHandy Level*® para medir la curva lumbosacra y la curva lumbar, respectivamente, ambas en bipedestación. En ambos casos se comparó la medición con la realizada con un inclinómetro, y en ambas investigaciones los autores encontraron una correlación excelente entre ambos dispositivos. La correlación obtenida para la lordosis obtenida en el primer artículo fue entre 0,93 y 0,97, mientras que en el segundo fue de 0,86. En nuestro caso, en la lordosis obtuvimos una correlación global de 0,964, similar a la obtenida por Koumantakis et al. (72), y superior a la obtenida por Salamh et al. (71). El proceso de identificación de las referencias al realizar la medición fue similar en estos dos artículos, y diferente al nuestro, ya que se localizaron por palpación. Una diferencia es que nosotros hemos utilizado para la comparación un inclinómetro tradicional, Salamh et al. (71) lo han utilizado de burbuja y Koumantakis et al. (72) lo han utilizado electrónico, pero esto no parece suficiente para justificar la diferencia. Otra diferencia observada es en el número de participantes, ya que, mientras que el artículo de Salamh et al. (71) y el nuestro tienen grupos similares (30 y 25, respectivamente), el número empleado en el artículo de Koumantakis et al. (72) es muy elevado, de 186. Igualmente, no consideramos que esta sea la razón de la diferencia en las correlaciones obtenidas.

El otro artículo que evaluó este aspecto es el de Huang et al. (75), que es el único que realizó la medición con las aplicaciones sobre una radiografía y no directamente sobre los pacientes. A pesar de este hecho, decidimos incluir este artículo en la revisión debido a que cumplía los criterios de inclusión y no cumplía los de exclusión, ya que no planteamos que necesariamente se tuvieran que

utilizar las aplicaciones directamente sobre los pacientes. Esto no pareció afectar a la fiabilidad de la medición, puesto que también obtuvieron una correlación excelente. En este estudio, los autores utilizaron la aplicación instalada de forma predeterminada en el teléfono, en este caso *Android*®, y la compararon con un sistema de medición de ángulos sobre la radiografía, explicado previamente en la presente tesis, para medir la curva toracolumbar.

En el caso de nuestra investigación, se ha medido la cifosis dorsal en tres posiciones diferentes (bipedestación, sedestación relajada y flexión anterior de tronco en bipedestación) y la lordosis lumbar en bipedestación y, además, se han utilizado dos aplicaciones en lugar de una. En nuestro trabajo no hemos pretendido diagnosticar patología ni clasificar a los participantes, solo realizar las mediciones y analizar su fiabilidad. Puede que algunos de los criterios usados en los puntos de referencia no coincidan con los recomendados por ciertos autores para el diagnóstico de las alteraciones.

Teniendo en cuenta la literatura existente al respecto y los resultados obtenidos por nuestras mediciones, se podría decir que las aplicaciones son fiables a la hora de valorar el plano sagital del raquis. Sin embargo, la producción científica sobre este tema es baja, y la calidad metodológica de los artículos encontrados es mejorable, ya que solo el de Huang et al (75) supera el 5/10 en la escala PEDro.

Comparando estas dos aplicaciones entre sí, podemos observar que, aunque ambas correlaciones son muy altas, la correlación global de *Clinometer*® es ligeramente superior a la de *Rotating Sphere Inclinator*®. A pesar de esto, esta diferencia es insignificante y podemos atribuirla únicamente al mero azar. Si tuviéramos que recomendar una de las dos aplicaciones, optaríamos por *Rotating Sphere Inclinator*®, ya que permite la acción de colocar a 0° la medición, haciéndola más sencilla y parecida al inclinómetro. Sin embargo, consideramos ambas aplicaciones perfectamente válidas para su uso en el

ámbito de la salud, por su fiabilidad, reproducibilidad, y su fácil acceso disponibilidad y sencillez en su uso.

Podríamos considerar interesante el hecho de evaluar la fiabilidad de estas aplicaciones en función del sistema operativo en el que están instaladas, es decir, si las mediciones obtenidas son más fiables con un dispositivo *iPhone*®, con un sistema operativo *iOS*®, o un dispositivo y sistema operativo *Android*®. Como ya se mencionó anteriormente, solo existe un artículo que utilice los dos sistemas operativos de forma conjunta, que es el de Ghorbani et al (73), aunque no podemos establecer conclusiones en base a este artículo, puesto que las aplicaciones utilizadas son diferentes en cada uno de los sistemas (se utilizó *Clinometer*® en el *Android*®, y *Compass*® en el *iPhone*®). A pesar de esto, cabe mencionar la correlación obtenida por el dispositivo *iPhone*® fue superior a la del dispositivo *Android*®.

Podemos observar que el sistema operativo *iOS*®, que aparece en diez artículos, ha sido más utilizado que el de *Android*®, el cual podemos encontrar en seis. De estos diez artículos, en nueve se utilizó en un *iPhone*® y en uno en un *iPod*®. Cuatro de ellos valoraron la movilidad lumbar, tres la movilidad cervical, dos la rotación torácica y uno la lordosis lumbar. Siete de estos estudios obtuvieron una correlación excelente en todas sus mediciones, en tres de ellos la correlación fue de aceptable a buena y solo uno, el de Pourahmadi et al (83), encontró una correlación de insignificante a baja (se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson).

En cuanto a los que utilizaron el dispositivo *Android*®, tres valoraron la movilidad cervical, en dos fue utilizada en las curvas sagitales del raquis y en uno en la rotación torácica. Cuatro de estos estudios obtuvieron correlación excelente en todas sus variables, en el de Ghorbani et al (73) únicamente no fue así en las rotaciones, que reportaron una correlación aceptable, y en el de Jayavel et al. (81), la correlación fue de baja a aceptable. A esto podemos añadir



el estudio de validez que nosotros hemos realizado, ya que también se utilizó el sistema operativo *Android*®, obteniendo una correlación excelente en todas las mediciones.

Teniendo todo esto en cuenta, no se puede concluir que uno de los sistemas operativos sea más fiable que el otro al usar estas aplicaciones, aunque no podemos establecer conclusiones de peso al respecto puesto que no existe ninguna investigación que haya establecido esta comparación como objetivo, o que haya investigado en profundidad este aspecto.

A continuación, nos centraremos en la fiabilidad intraobservador de las aplicaciones simuladoras de inclinómetro. En la revisión pudimos observar que 14 de los 15 artículos incluidos valoraban esta fiabilidad. A estas 14 investigaciones debemos sumar el análisis intraobservador que hemos realizado, donde se utilizaron a 13 voluntarios asintomáticos para realizar una comparación entre un explorador experto en el uso del inclinómetro y las aplicaciones y dos exploradoras inexpertas: una de ellas solamente contaba con la experiencia de lo adquirido en el grado de fisioterapia, y la otra no contaba con ninguna experiencia al respecto. Con este grupo de participantes y estos tres exploradores se midieron cuatro curvas del plano sagital del raquis utilizando la aplicación *Rotating Sphere Inclinometer*®: cifosis y lordosis en bipedestación relajada y cifosis y lordosis en bipedestación corregida.

Pudimos observar que 4 de esos 14 artículos no obtuvieron una correlación excelente o de buena a excelente (69,73,81,83). Unos de ellos fue el estudio de Ghorbani et al. que (73), como ya mencionamos anteriormente, utilizó la aplicación *Clinometer*®, instalada en un *Android*®, y *Compass*®, instalada en un *iPhone*®, para valorar la movilidad cervical en pacientes con cervicalgia inespecífica, obteniendo una correlación de buena a excelente en todas las mediciones excepto en las rotaciones con *Clinometer*®, en las que se obtuvo una correlación aceptable en la rotación derecha y baja en la rotación izquierda. Esto

coincide con lo observado anteriormente en el mismo artículo con respecto a la comparación entre dispositivos, en el que pudimos ver que las mediciones obtenidas con la aplicación del dispositivo *iPhone*® obtenían mejores correlaciones que las del dispositivo *Android*®. A priori, esto nos puede llevar a pensar que los dispositivos *iPhone*® son más fiables que los *Android*® al realizar estas mediciones con las aplicaciones, pero, como ya mencionamos anteriormente, no podemos sacar conclusiones al respecto únicamente de este artículo, puesto que se utilizan aplicaciones diferentes en cada uno de los sistemas operativos, y no se observa esta tendencia en otros estudios. El hecho de obtener menores correlaciones en las rotaciones podría deberse a que los pacientes utilizados en este artículo presentan dolor cervical. El artículo de Rodríguez-Sanz et al. (74) utiliza este mismo tipo de participantes, obteniendo correlaciones de buenas a excelentes en todos los movimientos. Aunque es cierto que estos autores utilizaron la aplicación *Compass*® en un dispositivo *Android*® para realizar esta medición. Por lo tanto, esto nos puede hacer pensar que la aplicación *Clinometer*® instalada en un dispositivo *Android*® no resulta fiable a nivel intraobservador para medir las rotaciones cervicales en pacientes con dolor cervical inespecífico. A pesar de ello, la calidad metodológica de estos artículos es mejorable, por lo que debemos tener precaución a la hora de sacar conclusiones de ellos.

Como vimos anteriormente, el estudio de Laflamme et al. (69) valoró la fiabilidad intraobservador en dos exploradores diferentes en la medición de la movilidad cervical en participantes asintomáticos con las aplicaciones *Clinometer*® y *Compass*® instaladas en un *iPhone*®. Ambos exploradores eran estudiantes de fisioterapia, que habían realizado una instrucción previa de ocho horas para familiarizarse con el uso de los dispositivos por lo que, a priori, la experiencia de ambos era la misma. El primero obtuvo correlación excelente en la flexo-extensión y en las inclinaciones laterales, y buena en las rotaciones, mientras que el segundo obtuvo correlaciones aceptables en la flexo-extensión y las inclinaciones laterales, y baja en las rotaciones. La única diferencia que podemos encontrar entre ambos exploradores es que, aunque ambos utilizaron dispositivos *iPhone*®, el primero utilizó un modelo más reciente que el segundo,

aunque este hecho no parece suficiente para explicar una diferencia tan grande en las correlaciones.

Continuando con el anterior estudio (69), los exploradores también realizaron una valoración de la movilidad cervical con el *CROM device*, pero esta medición solo se utilizó para realizar la comparación entre dispositivos, y no nos vienen dadas las correlaciones intraobservador para este método, por lo que no podemos saber si existe una tendencia a que el primer explorador obtenga mejores correlaciones que el segundo. De todos modos, de nuevo nos encontramos ante un artículo con una calidad metodológica baja, por lo que no podemos establecer conclusiones de peso. A pesar de esta diferencia entre las correlaciones de ambos exploradores, podemos volver a observar la tendencia a que, en general, las correlaciones de las rotaciones cervicales sean menores, como ocurría con la comparación entre dispositivos, y como también ocurre en otras investigaciones.

El estudio de Pourahmadi et al. (83) también utilizó a dos exploradores diferentes para sus mediciones. En este caso, se usó la aplicación *iHandy Level*®, instalada en un *iPhone*®, para medir la flexión y la extensión lumbar en pacientes con lumbalgia. Además, introdujeron la novedad de analizar si la fiabilidad de la aplicación varía al realizar la medición intraobservador en el mismo día o en día diferentes. Los autores obtuvieron una correlación buena para el primer explorador, y aceptable en flexión y extensión en el mismo día, buena en la extensión en el mismo día y baja en la extensión en días diferentes para el segundo explorador. Este artículo es muy similar en diseño a otro realizado por los mismos autores anteriormente (66), aunque en este caso la aplicación utilizada fue *Tiltmeter*® (único estudio en la literatura que la analiza) y se utilizó a participantes asintomáticos. En este caso, la correlación fue excelente para ambos exploradores, tanto en las mediciones realizadas en el mismo día como en días diferentes.

Estas diferencias en material y participantes utilizados podría ser la causa de la disminución de la correlación obtenida por el artículo más reciente. Si nos fijamos en la diferencia de las mediciones en función del día en el que se realizan, teniendo en cuenta estos dos artículos (66,83), que son los únicos que realizan esta distinción, podemos ver que existe una tendencia a que la correlación de las mediciones en el mismo día sea mayor que la realizada en días diferentes. A pesar de eso, también se observa esta tendencia en las mediciones realizadas con el inclinómetro, que fue el elemento utilizado a modo comparativo. Por lo tanto, esto puede llevarnos a pensar que la diferencia en las mediciones fue debido a los propios exploradores y/o a los pacientes explorados, y no al elemento de medición utilizado.

Como ya mencionamos anteriormente, el artículo de Jayavel et al (81) obtuvo la correlación intraobservador más baja de todos los analizados, puesto que todas las mediciones obtuvieron una correlación baja. Estos autores utilizaron la aplicación *iHandy Level*® para medir la movilidad de la columna toraco-lumbar en pacientes que presenten dolor lumbar. Esto sigue la tendencia del artículo de Pourahmadi et al. (83), ya que también utiliza esta misma aplicación en este mismo grupo poblacional, y son los dos únicos artículos de la revisión que realizan una medición a pacientes con lumbalgia.

A pesar de que la correlación de este último artículo es más alta, sí que se observa una disminución de la misma con respecto a otros estudios que utilizan a participantes asintomáticos. Por lo tanto, esto puede llevarnos a la conclusión de que la fiabilidad de la aplicación *iHandy Level*® puede verse comprometida si el paciente presenta dolor lumbar a la hora de valorar la movilidad de esta región del raquis. A pesar de ello, existe un artículo, el de De Brito et al. (65), que también utiliza un grupo de pacientes con lumbalgia y la aplicación *iHandy Level*®, y en el que todas sus correlaciones son excelentes. Sin embargo, las conclusiones que podamos extraer de estos artículos debemos tomarlas con precaución, puesto que obtuvieron puntuaciones no superiores a 5/10 en la escala PEDro.

En el análisis de fiabilidad intraobservador que nosotros hemos realizado, hemos podido observar que existen diferencias entre los exploradores, en función de la experiencia que tenga cada uno de ellos. Los resultados fueron los siguientes: una correlación excelente y diferencias menores a 2° para el explorador experto; correlaciones excelentes en las cifosis y de baja a aceptable en las lordosis, pero con diferencias no superiores a los 5° para la exploradora parcialmente inexperta; y correlaciones de buenas a excelentes en todas las variables excepto una correlación aceptable en la medición de la lordosis en bipedestación corregida con la aplicación, con diferencias entre las mediciones no superiores a los 3,5°, excepto en las lordosis con el inclinómetro que estuvieron en torno a los 10°.

Lo primero que podemos observar es que existe una tendencia a que las mediciones de las lordosis obtengan una correlación más baja, en especial en la medición de la lordosis corregida, dándose este hecho incluso en el explorador experto, aunque las correlaciones sean excelentes, y no se aprecie esta tendencia en las diferencias entre las medias. Sí que se puede observar este hecho más claramente en las exploradoras inexpertas, ambas obteniendo correlaciones más bajas en estas curvas que en la cifosis. Esto puede deberse a que supone una curva más difícil de medir, en especial cuando la experiencia del explorador es baja.

Mientras que el inicio de la cifosis tiene un punto de inicio más sencillo de localizar, la séptima vertebra cervical, que es la más prominente, el inicio de la lordosis no tiene un punto fijo claramente delimitado, sino que hay que determinarlo durante la medición a medida que observamos que, con el inclinómetro o la aplicación, los grados empiezan a disminuir en lugar de aumentar conforme vamos descendiendo, lo que indicaría el punto de inflexión de la curva y el inicio de la lordosis. Esto puede ser difícil de determinar con precisión para exploradores inexpertos. A pesar de esto, y de que las correlaciones obtenidas sean bajas, las dos únicas curvas en las que se

encontraron una diferencia superior a los 5° fue en las dos lordosis medidas con el inclinómetro.

Con respecto a la exploradora parcialmente inexperta, pudimos observar que obtuvo mejores correlaciones con el inclinómetro que con la aplicación, aunque las diferencias totales fueron mayores con el inclinómetro excepto en la lordosis en bipedestación corregida. No se observa una tendencia clara sobre si las mediciones a nivel intraobservador son más fiables con el inclinómetro o con la aplicación. En cuanto a la exploradora totalmente inexperta, podemos observar que obtiene mejores correlaciones que la anterior, aunque sus diferencias entre las medidas son mayores excepto en la lordosis en bipedestación corregida. En esta exploradora, aunque las correlaciones con ambos dispositivos son similares, sí que observamos que obtiene diferencias mayores entre las medidas con el inclinómetro que con la aplicación. Teniendo en cuenta todo lo anterior, podemos pensar que se necesita de una mayor experiencia previa para realizar mediciones fiables en la valoración sagital del raquis, aunque esto se observa tanto para el inclinómetro como con la aplicación. Hemos podido ver que, en exploradores expertos, la fiabilidad intraobservador es excelente con ambos dispositivos.

Con respecto a la variabilidad inter-observador, y como ya se mencionó previamente, 11 de los 15 artículos incluidos en la revisión sistemática evaluaban esta fiabilidad. Al igual que ocurría con la variabilidad intraobservador, debemos sumar también el estudio de fiabilidad realizado en la presente tesis, para el cual se utilizó la misma muestra y los mismos exploradores que anteriormente. Siete de estos artículos obtuvieron una correlación inter-observador excelente en todas sus variables, exceptuando el estudio de Rodríguez-Sanz et al. (74), en el que únicamente en la flexión cervical alta se obtuvo una correlación buena, siendo excelentes las correlaciones del resto de variables.

El único estudio en el que obtuvo una correlación no excelente utilizando a participantes asintomáticos fue el de Laflamme et al. (69), que valoró la movilidad cervical con las aplicaciones *Clinometer*® y *Compass*®. La correlación obtenida fue aceptable para la flexo-extensión y las inclinaciones (medidas con *Clinometer*®) y baja para las rotaciones (medidas con *Compass*®). Esta disminución de la correlación podríamos achacarla a la poca experiencia de los exploradores, ya que, como ya vimos anteriormente, eran estudiantes de fisioterapia con únicamente ocho horas de adiestramiento previo en el uso de las aplicaciones. Además, recordemos que el segundo explorador obtuvo una correlación intraobservador de baja a aceptable, lo que podría explicar la disminución de la fiabilidad inter-observador.

El artículo de Ghorbani et al. (73), como ya se mencionó anteriormente, también evaluó la movilidad cervical, y también con las aplicaciones *Clinometer*®, instalada en un dispositivo *Android*®, y *Compass*®, instalada en un dispositivo *iPhone*®, aunque en este caso se valoró a pacientes con dolor cervical inespecífico. Únicamente se pudo observar una disminución en la correlación a la hora de medir las rotaciones cervicales con el dispositivo *Android*®, ya que la rotación derecha obtuvo una correlación aceptable y la rotación izquierda obtuvo una correlación baja, siendo excelentes las correlaciones del resto de movimientos. Esto sigue la tendencia que observamos dentro de este mismo artículo a que las mediciones con *Android*® obtengan correlaciones menores que las del *iPhone*® aunque, como ya mencionamos anteriormente, no hemos encontrado evidencia de que un sistema operativo sea más fiable que el otro.

Tanto el artículo de Jayavel et al. (81) como el de Pourahmadi et al. (83) evaluaron la movilidad lumbar en pacientes que presentasen lumbalgia, y ambos utilizaron la aplicación *iHandy Level*®. Mientras que el segundo solo realizó la medición en la flexo-extensión lumbar, el primero midió los movimientos de la zona toraco-lumbar. No se puede observar una tendencia clara en cuanto a las correlaciones obtenidas, puesto que el primero obtuvo una correlación buena

para la flexión toraco-lumbar, aceptable para la flexión lumbar aislada, la extensión toraco-lumbar y la inclinación toraco-lumbar izquierda, y baja para la inclinación toraco-lumbar derecha, mientras que el segundo obtuvo una correlación baja en la flexión y buena en la extensión.

Teniendo en cuenta estos dos artículos, sí que se puede observar una tendencia a que la correlación inter-observador de la aplicación *iHandy Level*® disminuya al evaluar a los pacientes con dolor lumbar. Estas son las únicas investigaciones que evalúan esta fiabilidad en participantes de estas características. Aunque, como ya se mencionó anteriormente, debemos tener precaución con las conclusiones extraídas de estos artículos, puesto que obtuvieron puntuaciones de 4/10 y 5/10 en la escala PEDro, respectivamente. Además, la producción científica al respecto es baja como para establecer conclusiones de peso.

Con respecto al análisis inter-observador que nosotros hemos realizado, al comparar al explorador experto con la exploradora parcialmente inexperta, se obtuvieron correlaciones excelentes al medir las cifosis tanto con inclinómetro como con la aplicación, y correlaciones bajas al medir las lordosis, también con ambos dispositivos. Las diferencias entre las medias fueron superiores al medir la cifosis en corrección que en posición relajada, tanto para el inclinómetro como con la aplicación. Las diferencias entre las lordosis fueron en torno a los 12° para ambas curvas medidas con el inclinómetro, mientras que aumentó a los 21° para las mediciones con la aplicación. Esto sigue la misma tendencia que ocurría en la variabilidad intraobservador de que las cifosis obtengan mejores correlaciones y menores diferencias que las lordosis, lo cual puede deberse, como explicamos anteriormente, a la dificultad mayor que supone la medición de esta curva, especialmente en exploradores inexpertos. Además, existe mucha más diferencia entre las lordosis con la aplicación que con el inclinómetro, puede que debido al diseño no ergonómico de los *Smartphone*, no diseñado a priori para realizar este tipo de mediciones.



Se puede observar que la exploradora inexperta tiende a obtener valores menores que los del explorador experto, ya que ocurre esto en las medias de todas las variables. Aunque las correlaciones en las cifosis son excelentes, y las diferencias entre las medias no superiores a los 5°, estos resultados nos pueden hacer pensar que se necesita un adiestramiento previo para conseguir medidas fiables, tanto con el inclinómetro como con la aplicación, en especial en la medición de la lordosis.

En cuanto a la comparación entre el explorador experto y la exploradora totalmente inexperta, aunque observamos que todas las correlaciones son excelentes, de nuevo volvemos a encontrar diferencias entre las medias muy elevadas en las lordosis, en torno a los 12° para ambas curvas medidas con el inclinómetro, y en torno a los 30° para la medida de ambas lordosis con la aplicación, probablemente por la razón ya mencionada anteriormente.

Hemos podido apreciar la misma tendencia a que las diferencias en las lordosis sean más elevadas, aunque en este caso se encuentren correlaciones excelentes. Al igual que ocurría con la exploradora anterior, se observa el explorador experto obtiene medidas mayores que la exploradora inexperta. Esto nos puede hacer pensar que una mayor experiencia del explorador hace que se obtengan medidas más fiables. Como ya mencionamos en el párrafo anterior, viendo estos resultados, es necesario realizar un adiestramiento previo y tener cierta experiencia en el uso de estos dispositivos para realizar medidas fiables.

Si realizamos la comparación inter-observador entre las dos exploradoras inexpertas, podemos observar que se obtiene una correlación excelente en la medición de las cifosis, y correlaciones bajas en las mediciones de las lordosis. Las diferencias entre medias son pequeñas en todas las cifosis, y en las dos lordosis medidas con inclinómetro, ya que no superan los 3°. En las lordosis medidas con la aplicación, observamos diferencias en torno a los 9°.

Hemos podido comprobar que tanto las correlaciones como las diferencias entre ambas exploradoras inexpertas son mejores que las encontradas al comparar a ambas con el explorador experto. Únicamente aumenta la diferencia al medir las lordosis con la aplicaciones, lo que nos puede llevar a pensar que supone mayor dificultad medir esta curva con el *Smartphone*, puede que debido, como ya mencionamos anteriormente, al diseño no ergonómico de este dispositivo, y esto se hace más evidente en exploradores con poca experiencia. De todos modos, se observa la tendencia a que las medidas sean más parecidas entre dos exploradoras con poca o ninguna experiencia, por lo que no parece haber diferencia si la experiencia es muy pequeña o es nula, como sí la hay al comparar exploradores con poca o ninguna experiencia con otros con experiencia superior.

Hemos de saber que, a pesar de que hemos incluido las correlaciones de la lordosis en bipedestación, esta posición no tiene ninguna relevancia a nivel clínico, ya que esta postura, como ya mencionamos anteriormente, se utiliza para valorar si la hiper cifosis dorsal está o no estructurada, observando si esta se mantiene igual o disminuye al realizar esta maniobra. La lordosis, en función del participante que la realice, puede aumentar, mantenerse igual o disminuir. Sin embargo, en nuestro estudio comparativo pretendíamos comparar entre sí la fiabilidad de las aplicaciones en relación a la experiencia del explorador, no establecer criterios de exploración, por lo tanto decidimos incluir también esa curva sagital.

En resumen, hemos podido observar en la literatura que las aplicaciones son fiables para medir tanto la movilidad como las curvas del plano sagital del raquis. Sin embargo, existe escasa evidencia de que la fiabilidad, aunque sigue siendo alta, pueda verse comprometida en el caso de que el paciente presente dolor en la región explorada. Las aplicaciones *Clinometer*® y *Rotating Sphere Inclinometer*® tienen correlaciones excelentes en la medición de las curvas del plano sagital del raquis, no observándose diferencias notables entre ellas, y esta fiabilidad no se ve afectada en función del género del participante explorado.

A pesar de esto, se necesita cierta experiencia en el explorador que realiza las mediciones para obtener medidas fiables, en especial a la hora de valorar la lordosis lumbar. Sin embargo, incluso exploradores inexpertos pueden obtener correlaciones lo suficientemente elevadas como para usar las aplicaciones de forma clínica. Desde el presente trabajo, recomendamos el uso de estas aplicaciones y su introducción en el área de la salud.



# **VI. CONCLUSIONES**



## 6. CONCLUSIONES

1. Las aplicaciones para *Smartphone* simuladoras de inclinómetro muestran una alta validez y fiabilidad inter e intra-observador al valorar la movilidad del raquis y/o las curvas sagitales. Esta fiabilidad disminuye en pacientes con dolor, aunque sigue siendo elevada.
2. Las aplicaciones *Clinometer* y *Rotating Sphere Inclinometer* muestran una correlación excelente con el inclinómetro al medir las curvas del plano sagital del raquis, y no existen diferencias en función del género del participante explorado.
3. Las aplicaciones tienen una alta fiabilidad intraobservador en exploradores expertos, pero esta disminuye en exploradores con poca o ninguna experiencia en la valoración del plano sagital del raquis, en especial en la medición de la lordosis lumbar. A pesar de ello, no se observan grandes diferencias intraobservador en exploradores inexpertos.
4. Las aplicaciones presentan una elevada fiabilidad inter-observador al comparar exploradores expertos e inexpertos si se mide la cifosis dorsal, pero esta fiabilidad es baja si se evalúa la lordosis lumbar.





# **VII. REFERENCIAS**



## 7. REFERENCIAS

1. Zou L, Liu J, Lu H. Characteristics and risk factors for proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity after correction surgery: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev.* 2019;42(3):671-82.
2. Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, Czaprowski D, Schreiber S, de Mauroy JC, et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis.* 2018;13(1):3.
3. Jia N, Zhang M, Zhang H, Ling R, Liu Y, Li G, et al. Prevalence and risk factors analysis for low back pain among occupational groups in key industries of China. *BMC Public Health.* 2022;22(1):1493.
4. Urits I, Burshtein A, Sharma M, Testa L, Gold PA, Orhurhu V, et al. Low back pain, a comprehensive review: pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Curr Pain Headache Rep.* 2019;23(3):23.
5. Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, Louw Q, Ferreira ML, Genevay S, et al. What low back pain is and why we need to pay attention. *The Lancet.* 2018;391(10137):2356-67.
6. Briggs AM, Bragge P, Smith AJ, Govil D, Straker LM. Prevalence and associated factors for thoracic spine pain in the adult working population: a literature review. *J Occup Health.* 2009;51(3):177-92.
7. Coenen P, van der Molen HF, Burdorf A, Huysmans MA, Straker L, Frings-Dresen MH, et al. Associations of screen work with neck and upper extremity symptoms: a systematic review with meta-analysis. *Occup Environ Med.* 2019;76(7):502-9.
8. El-Hawary R, Chukwunyeremwa C. Update on evaluation and treatment of scoliosis. *Pediat Clin N.* 2014;61(6):1223-41.
9. Vrtovec T, Pernuš F, Likar B. A review of methods for quantitative evaluation of spinal curvature. *Eur Spine J.* 2009;18(5):593-607.
10. Granero Xiberta J. Manual de exploración física del aparato locomotor. Madrid: Medical & Marketing communications; 2010.
11. Korovessis PG, Stamatakis MV. Prediction of scoliotic Cobb angle with the use of the scoliometer. *Spine.* 1996;21(14):1661-6.
12. Prowse A, Pope R, Gerdhem P, Abbott A. Reliability and validity of inexpensive and easily administered anthropometric clinical evaluation methods of postural asymmetry measurement in adolescent idiopathic scoliosis: a systematic review. *Eur Spine J.* 2016;25(2):450-66.
13. Zhu Y, An Z, Zhang Y, Wei H, Dong L. Predictive formula of cervical lordosis in asymptomatic young population. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):2.

14. Seidi F, Rajabi R, Ebrahimi I, Alizadeh MH, Minoonejad H. The efficiency of corrective exercise interventions on thoracic hyper-kyphosis angle. *BMR*. 2014;27(1):7-16.
15. Zappalá M, Lightbourne S, Heneghan NR. The relationship between thoracic kyphosis and age, and normative values across age groups: a systematic review of healthy adults. *J Orthop Surg Res*. 2021;16(1):447.
16. Propst-Proctor SL, Bleck EE. Radiographic determination of lordosis and kyphosis in normal and scoliotic children. *J Pediatr Orthop*. 1983;3(3):344-6.
17. Youdas JW, Garrett TR, Harmsen S, Suman VJ, Carey JR. Lumbar lordosis and pelvic inclination of asymptomatic adults. *Phys Ther*. 1996;76(10):1066-81.
18. Serna L, Santonja F, Pastor A. Exploración clínica del plano sagital del raquis. *Selección*. 1996;5(2):88-102.
19. Diebo BG, Varghese JJ, Lafage R, Schwab FJ, Lafage V. Sagittal alignment of the spine: What do you need to know? *Clin Neurol Neurosurg*. 2015;139:295-301.
20. González-Gálvez N, Gea-García GM, Marcos-Pardo PJ. Effects of exercise programs on kyphosis and lordosis angle: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*. 2019;14(4). e0216180.
21. Katzman WB, Wanek L, Shepherd JA, Sellmeyer DE. Age-related hyperkyphosis: its causes, consequences, and management. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(6):352-60.
22. Roghani T, Zavieh MK, Manshadi FD, King N, Katzman W. Age-related hyperkyphosis: update of its potential causes and clinical impacts—narrative review. *Aging Clin Exp Res*. 2017;29(4):567-77.
23. Stagnara P. Deformaciones del raquis: escoliosis, cifosis, lordosis. 1a ed. Barcelona: Masson; 1987.
24. Santonja F. Manual de exploración musculoesquelética. 1º ed. Madrid. Panamericana; 2022.
25. Santonja F. Exploración clínica y radiográfica del raquis sagital, sus correlaciones. Murcia: Universidad de Murcia; 1993.
26. Santonja F, Pastor A. Procedimientos de traumatología, ortopedia, rehabilitación y medicina del deporte en medicina de familia. En: Cirugía menor y procedimientos en medicina de familia. 2.ª ed. Madrid: Jarpio; 2006. p. 1049-61.
27. Ferrer López V, Martínez Rianza L, Santonja F. Escolar: medicina y deporte. Albacete: Diputación Provincial de Albacete; 1996.

28. Fernand R, Fox DE. Evaluation of Lumbar Lordosis: A Prospective and Retrospective Study. *Spine*. 1985;10(9):799-803.
29. Barrett E, Lenehan B, O'sullivan K, Lewis J, McCreesh K. Validation of the manual inclinometer and flexicurve for the measurement of thoracic kyphosis. *Physiother Theory and Pract*. 2018;34(4):301-8.
30. del Rosario M, Redmond S, Lovell N. Tracking the Evolution of Smartphone Sensing for Monitoring Human Movement. *Sensors*. 2015;15(8):18901-33.
31. Voicu RA, Dobre C, Bajenaru L, Ciobanu RI. Human physical activity recognition using smartphone sensors. *Sensors*. 2019;19(3):458.
32. Karantonis DM, Narayanan MR, Mathie M, Lovell NH, Celler BG. Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. *IEEE Trans Inform Technol Biomed*. 2006;10(1):156-67.
33. Williams S, Fang H, Relton SD, Wong DC, Alam T, Alty JE. Accuracy of smartphone video for contactless measurement of hand tremor frequency. *Mov Disord Clin Pract*. 2021;8(1):69-75.
34. Yean S, Lee BS, Yeo CK, Vun CH, Oh HL. Smartphone orientation estimation algorithm combining kalman filter with gradient descent. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2018;22(5):1421-33.
35. Bouten CVC, Koekkoek KTM, Verduin M, Kodde R, Janssen JD. A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1997;44(3):136-47.
36. Viecegli C, Graf D, Aguayo D, Hafen E, Fuchslin RM. Using smartphone accelerometer data to obtain scientific mechanical-biological descriptors of resistance exercise training. *PLoS ONE*. 2020;15(7). e0235156.
37. Ferriero G, Vercelli S, Sartorio F, Muñoz Lasa S, Ilieva E, Brigatti E, et al. Reliability of a smartphone-based goniometer for knee joint goniometry. *Int J Rehabil Res*. 2013;36(2):146-51.
38. Otter SJ, Agalliu B, Baer N, Hales G, Harvey K, James K, et al. The reliability of a smartphone goniometer application compared with a traditional goniometer for measuring first metatarsophalangeal joint dorsiflexion. *J Foot Ankle Res*. 2015;8(1):30.
39. Jeon IC, Kwon OY, Weon JH, Ha SM, Kim SH. Reliability and validity of measurement using smartphone-based goniometer of tibial external rotation angle in standing knee flexion. *Phys Ther Korea*. 2013;20(2):60-8.
40. van de Pol RJ, van Trijffel E, Lucas C. Inter-rater reliability for measurement of passive physiological range of motion of upper extremity joints is better if instruments are used: a systematic review. *J.Physiother*. 2010;56(1):7-17.

41. van Rijn SF, Zwerus EL, Koenraadt KL, Jacobs WC, van den Bekerom MP, Eygendaal D. The reliability and validity of goniometric elbow measurements in adults: A systematic review of the literature. *Shoulder & Elbow*. 2018;10(4):274-84.
42. van Trijffel E, van de Pol RJ, Oostendorp RAB, Lucas C. Inter-rater reliability for measurement of passive physiological movements in lower extremity joints is generally low: a systematic review. *J. Physiother*. 2010;56(4):223-35.
43. Piriyaarasarth P, Morris ME. Psychometric properties of measurement tools for quantifying knee joint position and movement: A systematic review. *The Knee*. 2007;14(1):2-8.
44. Williams MA, McCarthy CJ, Chorti A, Cooke MW, Gates S. A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion. *J Manipulative Physiol Ther*. 2010;33(2):138-55.
45. Seager A, French H, Meldrum D. Measurement properties of instruments for assessment of cervical spine function in infants with torticollis: a systematic review. *Eur J Pediatr*. 2019;178(5):657-71.
46. Keogh JWL, Cox A, Anderson S, Liew B, Olsen A, Schram B, et al. Reliability and validity of clinically accessible smartphone applications to measure joint range of motion: A systematic review. Müller J, editor. *PLoS ONE*. 2019;14(5). e0215806
47. Milani P, Coccetta CA, Rabini A, Sciarra T, Massazza G, Ferriero G. Mobile Smartphone Applications for Body Position Measurement in Rehabilitation: A Review of Goniometric Tools. *PM&R*. 2014;6(11):1038-43.
48. Beshara P, Anderson DB, Pelletier M, Walsh WR. The Reliability of the Microsoft Kinect and Ambulatory Sensor-Based Motion Tracking Devices to Measure Shoulder Range-of-Motion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sensors*. 2021;21(24):8186.
49. Sedrez JA, Furlanetto TS, Gelain GM, Candotti CT. Validity and reliability of smartphones in assessing spinal kinematics: a systematic review and meta-analysis. *J Manipulative Physiol Ther*. 2020;43(6):635-45.
50. Driscoll M, Fortier-Tougas C, Labelle H, Parent S, Mac-Thiong JM. Evaluation of an apparatus to be combined with a smartphone for the early detection of spinal deformities. *Scoliosis*. 2014;9(1):10.
51. Behnoush B, Tavakoli N, Bazmi E, Nateghi Fard F, Pourgharib Shahi MH, Okazi A, et al. Smartphone and universal goniometer for measurement of elbow joint motions: a comparative study. *Asian J Sports Med*. 2016; 7(2).
52. Boissy P, Diop-Fallou S, Lebel K, Bernier M, Balg F, Tousignant-Laflamme Y. Trueness and minimal detectable change of smartphone inclinometer measurements of shoulder range of motion. *TELEMED E-HEALTH*. 2016;23(6):503-6.

53. Williams CM, Caserta AJ, Haines TP. The TiltMeter app is a novel and accurate measurement tool for the weight bearing lunge test. *J Sci Med Sport*. 2014;16(5):392-5.
54. Yoon TL, Park KM, Choi SA, Lee JH, Jeong HJ, Cynn HS. A comparison of the reliability of the trochanteric prominence angle test and the alternative method in healthy subjects. *Man Ther*. 2013;19(2):97-101.
55. Vohralik SL, Bowen AR, Burns J, Hiller CE, Nightingale EJ. Reliability and validity of a smartphone app to measure joint range. *Am J Phys Med Rehabil*. 2014;94(4):325-30.
56. Cox RW, Martinez RE, Baker RT, Warren L. Validity of a smartphone application for measuring ankle plantar flexion. *J Sport Rehabil*. 2018; 27(3).
57. Shin SH, Ro DH, Lee OS, Oh JH, Kim SH. Within-day reliability of shoulder range of motion measurement with a smartphone. *Man Ther*. 2012;17(4):298-304.
58. Vauclair F, Aljurayyan A, Abduljabbar FH, Barimani B, Goetti P, Houghton F, et al. The smartphone inclinometer: A new tool to determine elbow range of motion? *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2017;28(3):415-21.
59. Koong DP, Lee J, Cheng TL, Little DG. Validity and reliability of smartphone inclinometer applications for measurement of elbow range of motion in paediatric patients. *J Child Orthop*. 2020;14(5):488-94.
60. Jenny JY, Bureggah A, Diesinger Y. Measurement of the knee flexion angle with smartphone applications: Which technology is better? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(9):2874-7.
61. Mejia-Hernandez K, Chang A, Eardley-Harris N, Jaarsma R, Gill TK, McLean JM. Smartphone applications for the evaluation of pathologic shoulder range of motion and shoulder scores - a comparative study. *JSES Open Access*. 2018;2(1):109-14.
62. Lin NCJ, Hayward KS, D'Cruz K, Thompson E, Li X, Lannin NA. Validity and reliability of a smartphone inclinometer app for measuring passive upper limb range of motion in a stroke population. *Disabil Rehabil*. 2019;42(22):3243-9.
63. Werner BC, Holzgrefe RE, Griffin JW, Lyons ML, Cosgrove CT, Hart JM, et al. Validation of an innovative method of shoulder range-of-motion measurement using a smartphone clinometer application. *J Shoulder Elbow Sur*. 2014;23(11):e275-82.
64. Kolber MJ, Pizzini M, Robinson A, Yannez D, Hanney WJ. The reliability and concurrent validity of measurements used to quantify lumbar spine mobility: an analysis of an iphone® application and gravity based inclinometry. *Int. J. Sports Phys. Ther*. 2013;8(2):129-37.

65. de Brito Macedo L, Borges DT, Melo SA, da Costa KSA, de Oliveira Sousa C, Brasileiro JS. Reliability and concurrent validity of a mobile application to measure thoracolumbar range of motion in low back pain patients. *BMR*. 2019;33(1):145-51.
66. Pourahmadi MR, Taghipour M, Jannati E, Mohseni-Bandpei MA, Ebrahimi Takamjani I, Rajabzadeh F. Reliability and validity of an iPhone® application for the measurement of lumbar spine flexion and extension range of motion. *PeerJ*. 2016;4:e2355.
67. Bucke J, Spencer S, Fawcett L, Sonvico L, Rushton A, Heneghan NR. Validity of the digital inclinometer and iPhone when measuring thoracic spine rotation. *J Athl Train*. 2017;52(9):820-5.
68. Ullucci PA, Tudini F, Moran MF. Reliability of smartphone inclinometry to measure upper cervical range of motion. *J Sport Rehabil*. 2018;28(1).
69. Tousignant-Laflamme Y, Boutin N, Dion AM, Vallée CA. Reliability and criterion validity of two applications of the iPhone™ to measure cervical range of motion in healthy participants. *J NeuroEngineering Rehabil*. 2013;10(1):69.
70. Guidetti L, Placentino U, Baldari C. Reliability and criterion validity of the smartphone inclinometer application to quantify cervical spine mobility. *Clin Spine Sur*. 2017;30(10):E1359-66.
71. Salamh PA, Kolber M. The reliability, minimal detectable change and concurrent validity of a gravity-based bubble inclinometer and iPhone application for measuring standing lumbar lordosis. *Physiother Theory Pract*. 2013;30(1):62-7.
72. Koumantakis GA, Nikoloudaki M, Thacheth S, Zagli K, Bitrou K, Nigritinos A, et al. Reliability and Validity Measurement of Sagittal Lumbosacral Quiet Standing Posture with a Smartphone Application in a Mixed Population of 183 College Students and Personnel. *Adv Orthop*. 2016;2016:1-9.
73. Ghorbani F, Kamyab M, Azadinia F. Smartphone applications as a suitable alternative to goniometer and inclinometers in assessing the cervical range of motion in patients with nonspecific neck pain. *J Chiropr Med*. 2020;19(1):38-48.
74. Rodríguez-Sanz J, Carrasco-Uribarren A, Cabanillas-Barea S, Hidalgo-García C, Fanlo-Mazas P, Lucha-López MO, et al. Validity and reliability of two Smartphone applications to measure the lower and upper cervical spine range of motion in subjects with chronic cervical pain. *BMR*. 2018;32(4):619-27.
75. Huang T, Zhao Z, Wang L, Zhang C, Zhao R, Xiong C, et al. Rapid measurement of thoracolumbar kyphosis with the integrated inclinometer of a smartphone: a validity and reliability study. *Sci Rep*. 2022;12(1):8745.



76. Romero Morales C, Calvo Lobo C, Rodríguez Sanz D, Sanz Corbalán I, Ruiz Ruiz BB, López López D. The concurrent validity and reliability of the Leg Motion system for measuring ankle dorsiflexion range of motion in older adults. *PeerJ*. 2017;5:e2820.
77. Tousignant M, Smeesters C, Breton AM, Breton É, Corriveau H. Criterion Validity study of the cervical range of motion (CROM) device for rotational range of motion on healthy adults. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006;36(4):242-8.
78. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol*. 2021;74(9):790-9.
79. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003;83(8):713-21.
80. Furness J, Schram B, Cox AJ, Anderson SL, Keogh J. Reliability and concurrent validity of the iPhone<sup>®</sup> Compass application to measure thoracic rotation range of motion (ROM) in healthy participants. *PeerJ*. 2018;6:e4431.
81. Jayavel A, Misra P, Sivakumar V. Reliability and validity of i handy android application on measurement of lumbar spine movement in patients with low back pain. *Int J Clin Ski*. 2017;11(3).
82. Monreal C, Luinstra L, Larkins L, May J. Validity and intrarater reliability using a Smartphone Clinometer application to measure active cervical range of motion including rotation measurements in supine. *J Sport Rehabil*. 2021;30(4):680-4.
83. Pourahmadi M, Momeni E, Mohseni N, Hesarikia H, Ghanjal A, Shamsoddini A. The reliability and concurrent validity of a new iPhone<sup>®</sup> application for measuring active lumbar spine flexion and extension range of motion in patients with low back pain. *Physiother Theory Pract*. 2019;37(1):204-17.
84. Pourahmadi M, Hesarikia H, Ghanjal A, Shamsoddini A. Psychometric properties of the iHandy Level Smartphone application for measuring lumbar spine range of motion and lordosis: A Systematic Review of the Literature. *J Sport Rehabil*. 2020;29(3):352-9.
85. Elgueta-Cancino E, Rice K, Abichandani D, Falla D. Measurement properties of smartphone applications for the measurement of neck range of motion: a systematic review and meta analyses. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):138.
86. Thoomes-de Graaf M, Thoomes E, Fernández-de-las-Peñas C, Plaza-Manzano G, Cleland JA. Normative values of cervical range of motion for both children and adults: A systematic review. *Musculoskelet Sci Pract*. 2020;49:102182.

87. Vázquez-Ucho PA, Villalba-Meneses GF, Pila-Varela KO, Villalba-Meneses CP, Iglesias I, Almeida-Galárraga DA. Analysis and evaluation of the systems used for the assessment of the cervical spine function: a systematic review. *J Med Eng Technol.* 2021;45(5):380-93.

# **VIII. ANEXOS**





## Anexo II. Consentimiento informado segundo artículo



UNIVERSIDAD DE  
MURCIA

### CONSENTIMIENTO INFORMADO ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD DE APLICACIONES *SMARTPHONE* SIMULADORAS DE INCLINÓMETROS

#### INFORMACIÓN

El presente estudio servirá para la realización de la Tesis Doctoral Análisis de la fiabilidad de aplicaciones para *Smartphone* simuladoras de inclinómetro y su introducción en el área de la salud, y consiste en la medición de las diferentes curvas del raquis en diferentes posiciones con dos aplicaciones *Smartphone*, a fin de comparar su fiabilidad con respecto a la de un inclinómetro real.

A los participantes se les medirá la cifosis dorsal y la lordosis lumbar en las siguientes posiciones: bipedestación, sedestación y flexión anterior en bipedestación. Ninguna de las exploraciones supone riesgo para la salud, no se tomarán muestras biológicas, no hay contraindicaciones ni efectos secundarios.

Con el fin de preservar el anonimato de los participantes, los datos personales no constarán en documentos públicos quedando bajo la custodia de la Universidad de Murcia, usándose exclusivamente con fines académicos y no se cederán a otras instituciones. Los participantes podrán abandonar el estudio en cualquier momento sin necesidad de justificación. En caso de realizarse fotos o videos se evitará la identificación de las personas y se solicitará permiso expreso para su realización. No existe contraprestación económica ni de ningún otro tipo.

La recogida de información se realizará con un inclinómetro tradicional y con dos aplicaciones *Smartphone*. El tiempo requerido a cada participante es próximo a los veinte minutos.

Le agradecemos su colaboración y quedamos a su disposición para cualquier aclaración.

Guillermo de la Encarnación Simarro

Ignacio Martínez González-Moro

#### CONSENTIMIENTO

D/Dña ....., con D.N.I. número.....,  
declaro que he sido informado de los objetivos, métodos y riesgos de estas exploraciones y doy  
mi consentimiento para participar en la actividad de referencia con arreglo a las normas que la  
regulan.

En ....., a ..... de..... de 2022

Fdo.:

Grupo de Investigación Ejercicio Físico y Rendimiento Humano  
Facultad de Medicina Campus Universitario de Espinardo. 30100 Murcia

Teléfono: 868 887 150 email: grupo\_ejercicio@um.es

## Anexo III. Consentimiento informado tercer artículo



UNIVERSIDAD DE  
MURCIA

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

#### ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD DE APLICACIONES *SMARTPHONE* SIMULADORAS DE INCLINÓMETROS

##### INFORMACIÓN

El presente estudio servirá para la realización de la Tesis Doctoral Análisis de la fiabilidad de aplicaciones para *Smartphone* simuladoras de inclinómetro y su introducción en el área de la salud, y consiste en la medición de las diferentes curvas del raquis en diferentes posiciones con una aplicación para *Smartphone* simuladora de inclinómetro. Se realizarán las medidas por tres exploradores diferentes, uno experto en la materia y dos sin experiencia previa, y cada explorador medirá a cada participante un total de dos veces, para poder realizar una comparación tanto intra-observador como inter-observador.

A los participantes se les medirá la cifosis dorsal y la lordosis lumbar en bipedestación relajada y bipedestación corregida. Ninguna de las exploraciones supone riesgo para la salud, no se tomarán muestras biológicas, no hay contraindicaciones ni efectos secundarios.

Con el fin de preservar el anonimato de los participantes, los datos personales no constarán en documentos públicos quedando bajo la custodia de la Universidad de Murcia, usándose exclusivamente con fines académicos o de investigación, y no se cederán a otras instituciones. Los participantes podrán abandonar el estudio en cualquier momento sin necesidad de justificación. En caso de realizarse fotos o videos se evitará la identificación de las personas y se solicitará permiso expreso para su realización. No existe contraprestación económica ni de ningún otro tipo.

La recogida de información se realizará con un Inclinómetro y un Smartphone. El tiempo requerido a cada participante es próximo a los veinte minutos.

Le agradecemos su colaboración y quedamos a su disposición para cualquier aclaración.

Guillermo de la Encarnación Simarro

Ignacio Martínez González-Moro

Inés Albertus Cámara

##### CONSENTIMIENTO

D/Dña ....., con D.N.I. número....., declaro que he sido informado de los objetivos, métodos y riesgos de estas exploraciones y doy mi consentimiento para participar en la actividad de referencia con arreglo a las normas que la regulan.

En ....., a ..... de..... de 2022

Fdo.:

Grupo de Investigación Ejercicio Físico y Rendimiento Humano  
Facultad de Medicina. Campus de Ciencias de la Salud del Palmar 30120 Murcia

Teléfono: 868 88 71 58 email: guillermo.de1@um.es

## Anexo IV. Escala PEDro.

## Escala PEDro-Español

|   |  |
|---|--|
| 1. Los criterios de elección fueron especificados   | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)   | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 3. La asignación fue oculta   | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes  | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 5. Todos los sujetos fueron cegados   | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados   | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados  | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos   | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar" | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave  | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |
| 11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave   | no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde: |

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible "ponderar" los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa ("generalizabilidad" o "aplicabilidad" del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la "validez" de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúan alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la "calidad" de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Última modificación el 21 de junio de 1999. Traducción al español el 30 de diciembre de 2012



**Notas sobre la administración de la escala PEDro:**

- Todos los criterios Los puntos solo se otorgan cuando el criterio se cumple claramente. Si después de una lectura exhaustiva del estudio no se cumple algún criterio, no se debería otorgar la puntuación para ese criterio.
- Criterio 1 Este criterio se cumple si el artículo describe la fuente de obtención de los sujetos y un listado de los criterios que tienen que cumplir para que puedan ser incluidos en el estudio.
- Criterio 2 Se considera que un estudio ha usado una designación al azar si el artículo aporta que la asignación fue aleatoria. El método preciso de aleatorización no precisa ser especificado. Procedimientos tales como lanzar monedas y tirar los dados deberían ser considerados aleatorios. Procedimientos de asignación cuasi-aleatorios, tales como la asignación por el número de registro del hospital o la fecha de nacimiento, o la alternancia, no cumplen este criterio.
- Criterio 3 *La asignación oculta* (enmascaramiento) significa que la persona que determina si un sujeto es susceptible de ser incluido en un estudio, desconocía a que grupo iba a ser asignado cuando se tomó esta decisión. Se puntúa este criterio incluso si no se aporta que la asignación fue oculta, cuando el artículo aporta que la asignación fue por sobres opacos sellados o que la distribución fue realizada por el encargado de organizar la distribución, quien estaba fuera o aislado del resto del equipo de investigadores.
- Criterio 4 Como mínimo, en estudios de intervenciones terapéuticas, el artículo debe describir al menos una medida de la severidad de la condición tratada y al menos una medida (diferente) del resultado clave al inicio. El evaluador debe asegurarse de que los resultados de los grupos no difieran en la línea base, en una cantidad clínicamente significativa. El criterio se cumple incluso si solo se presentan los datos iniciales de los sujetos que finalizaron el estudio.
- Criterio 4, 7-11 *Los Resultados clave* son aquellos que proporcionan la medida primaria de la eficacia (o ausencia de eficacia) de la terapia. En la mayoría de los estudios, se usa más de una variable como una medida de resultado.
- Criterio 5-7 *Cegado* significa que la persona en cuestión (sujeto, terapeuta o evaluador) no conocía a que grupo había sido asignado el sujeto. Además, los sujetos o terapeutas solo se consideran "cegados" si se puede considerar que no han distinguido entre los tratamientos aplicados a diferentes grupos. En los estudios en los que los resultados clave sean auto administrados (ej. escala visual analógica, diario del dolor), el evaluador es considerado cegado si el sujeto fue cegado.
- Criterio 8 Este criterio solo se cumple si el artículo aporta explícitamente *tanto* el número de sujetos inicialmente asignados a los grupos *como* el número de sujetos de los que se obtuvieron las medidas de resultado clave. En los estudios en los que los resultados se han medido en diferentes momentos en el tiempo, un resultado clave debe haber sido medido en más del 85% de los sujetos en alguno de estos momentos.
- Criterio 9 El análisis por *intención de tratar* significa que, donde los sujetos no recibieron tratamiento (o la condición de control) según fueron asignados, y donde las medidas de los resultados estuvieron disponibles, el análisis se realizó como si los sujetos recibieran el tratamiento (o la condición de control) al que fueron asignados. Este criterio se cumple, incluso si no hay mención de análisis por intención de tratar, si el informe establece explícitamente que todos los sujetos recibieron el tratamiento o la condición de control según fueron asignados.
- Criterio 10 Una comparación estadística *entre grupos* implica la comparación estadística de un grupo con otro. Dependiendo del diseño del estudio, puede implicar la comparación de dos o más tratamientos, o la comparación de un tratamiento con una condición de control. El análisis puede ser una comparación simple de los resultados medidos después del tratamiento administrado, o una comparación del cambio experimentado por un grupo con el cambio del otro grupo (cuando se ha utilizado un análisis factorial de la varianza para analizar los datos, estos últimos son a menudo aportados como una interacción grupo x tiempo). La comparación puede realizarse mediante un contraste de hipótesis (que proporciona un valor "p", que describe la probabilidad con la que los grupos difieran sólo por el azar) o como una estimación de un tamaño del efecto (por ejemplo, la diferencia en la media o mediana, o una diferencia en las proporciones, o en el número necesario para tratar, o un riesgo relativo o hazard ratio) y su intervalo de confianza.
- Criterio 11 Una *estimación puntual* es una medida del tamaño del efecto del tratamiento. El efecto del tratamiento debe ser descrito como la diferencia en los resultados de los grupos, o como el resultado en (cada uno) de todos los grupos. Las *medidas de la variabilidad* incluyen desviaciones estándar, errores estándar, intervalos de confianza, rango intercuartílicos (u otros rangos de cuantiles), y rangos. Las estimaciones puntuales y/o las medidas de variabilidad deben ser proporcionadas gráficamente (por ejemplo, se pueden presentar desviaciones estándar como barras de error en una figura) siempre que sea necesario para aclarar lo que se está mostrando (por ejemplo, mientras quede claro si las barras de error representan las desviaciones estándar o el error estándar). Cuando los resultados son categóricos, este criterio se cumple si se presenta el número de sujetos en cada categoría para cada grupo.

## **Anexo V. Producción científica de la tesis doctoral**

### **Publicaciones pendientes de aceptación**

1. De la Encarnación-Simarro G, Martínez-González-Moro I. Reliability of two smartphone inclinometer apps in the measurement of dorsal kyphosis in three different positions.
2. De la Encarnación-Simarro G, Martínez-González-Moro I. Validity and reliability of Smartphone Inclinometer Apps: A Systematic Review.

### **Comunicaciones a congresos**

1. Influencia de la experiencia del observador sobre la fiabilidad de las mediciones realizadas con aplicaciones móviles simuladoras de inclinómetro. De la Encarnación-Simarro G, Martínez-González-Moro I, Albertus-Cámara I, Guillamón-Yelo L, Mateo Martínez P.