

# MARCADORES “PUNTOSUR” PARA LA CAPTURA MULTIMODAL 3D DEL MOVIMIENTO DE LA RODILLA

Maria Rene Ledezma <sup>1</sup>, Ariel Braidot <sup>2</sup>, Darío Santos <sup>1,3</sup>, Franco Simini <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería - Universidad de la República - **URUGUAY**

<sup>2</sup> Laboratorio de Biomecánica, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Entre Ríos - **ARGENTINA**

<sup>3</sup> Departamento de Rehabilitación, Biomecánica Clínica, Hospital de Clínicas - Universidad de la República - **URUGUAY**

Se valida un nuevo protocolo de marcadores cutáneos para el análisis de la cinemática de la rodilla. Este protocolo se denomina **PUNTOSUR** (Fig. 1) y está destinado al estudio en 3D del movimiento de la articulación de la rodilla.

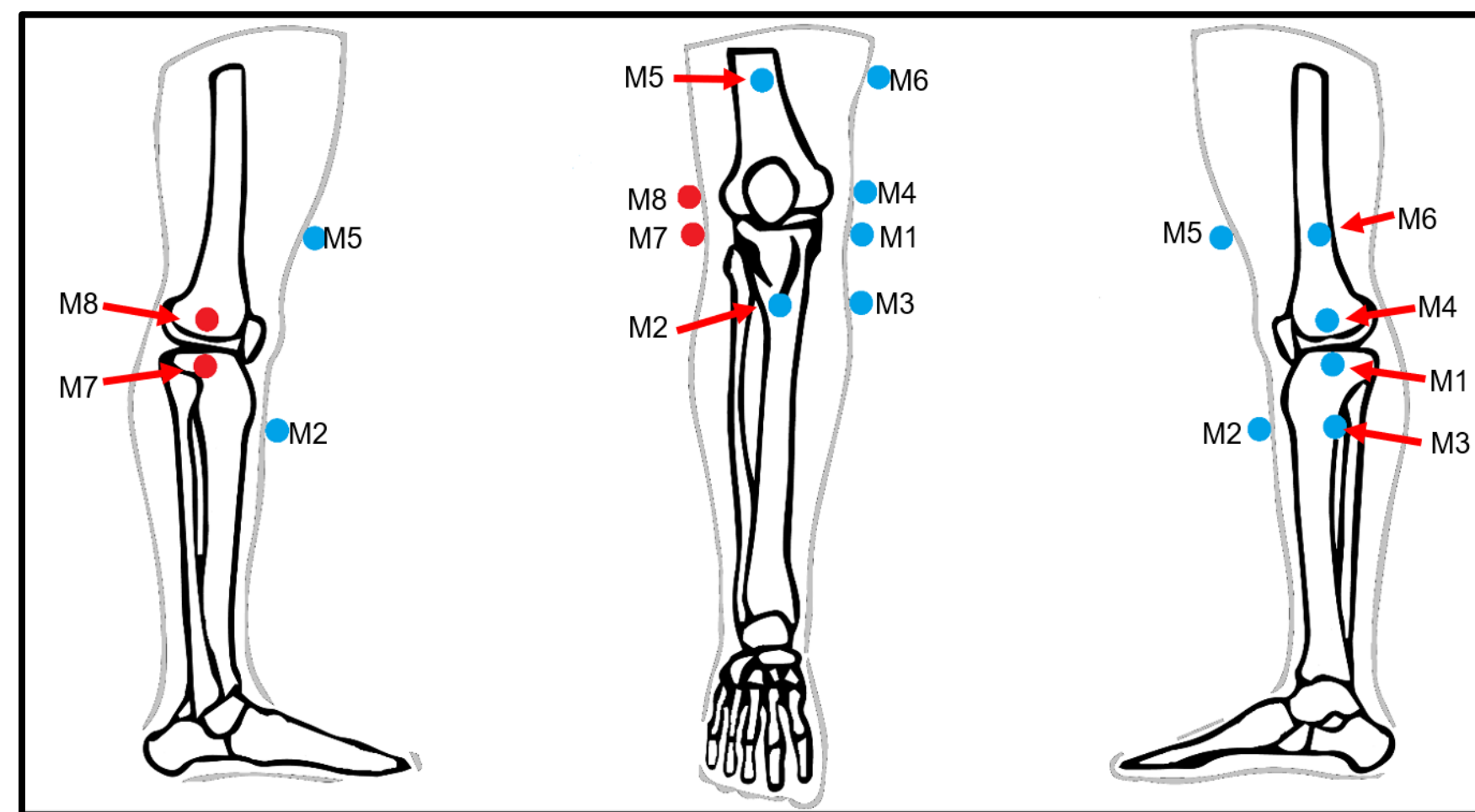


Fig 1. Protocolo **PUNTOSUR** de 8 marcadores en ambos largos del miembro inferior. **PUNTOSUR** es el conjunto de 6 marcadores fijos y 2 “virtuales” (rojo) por su uso limitado a la posición fija inicial “standing”.

## OBJETIVO

Validar el protocolo **PUNTOSUR** usando simultáneamente sus marcadores cutáneos (procesados por **CINAR-3D**) y los puntos óseos del método **CINARTRO** para estimar los ángulos de flexo-extensión durante la tarea motora de subir y bajar un escalón. Validar también **PUNTOSUR** comparando los mismos ángulos de flexo-extensión y además la rotación de la rodilla obtenidos simultáneamente con **CINAR-3D** y un sistema de fotogrametría **VICON** durante la misma tarea motora.

## COMPARACIÓN ENTRE CINAR-3D y CINARTRO

**CINAR-3D** procesa imágenes de dos cámaras ortogonales para reconstruir volúmenes 3D durante los movimientos de flexo-extensión y de rotación de la rodilla [1] y **CINARTRO** estima la migración del punto de contacto tibio femoral sobre la meseta tibial, además del ángulo de flexo-extensión (AFE) de manera dinámica durante una exploración de videofluoroscopia (VFC) [2].

Para la validación de AFE se realizaron 2 estudios **CINAR-3D / CINARTRO** a un sujeto sano, sincronizados por una plomada (Fig 2).

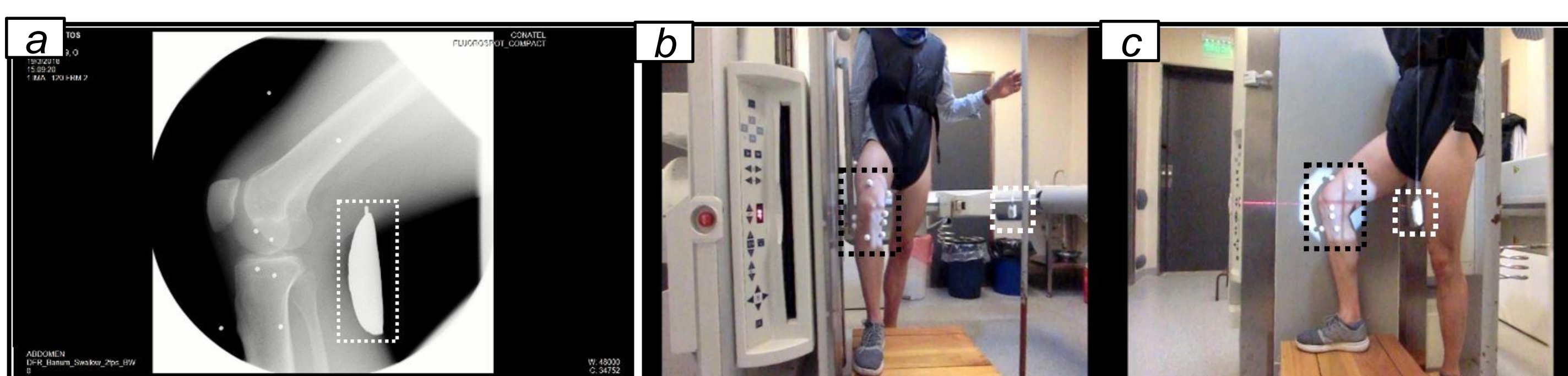


Fig 2. Sincronización de **CINAR-3D** con **CINARTRO** con una plomada oscilante visible en ambos métodos. a) VFC de rodilla con plomada, b) y c) Imágenes **CINAR-3D** con la misma plomada.

La VFC de **CINARTRO** (8 cuadros por segundo, cps) y las cámaras (120 cps) de **CINAR-3D** fueron procesadas en la misma escala de tiempo interpolando las mediciones de VFC.

## COMPARACIÓN ENTRE CINAR-3D y VICON

**VICON** es un método de fotogrametría que utiliza cámaras de iluminación infrarrojas y marcadores cutáneos reflectivos para la captura del movimiento [3]. Para la validación de AFE y de los ángulos de rotación de rodilla (AR) se realizaron 2 estudios simultáneos a un sujeto sano sincronizadas por un haz infrarrojo (Fig 3). **CINAR-3D** y **VICON** tienen la misma frecuencia de muestreo: 120 cps.

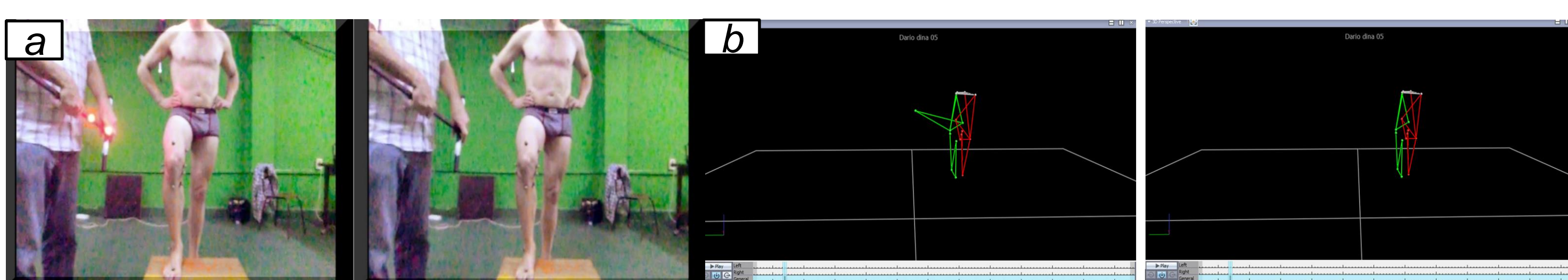


Fig3. Sincronización de las cámaras de **CINAR-3D** con las cámaras de **VICON** mediante una luz infrarroja captada por ambos métodos. a) Captura del haz de luz en una de las cámaras: luz encendida en primer fotograma, luz apagada en el siguiente. b) Imagen de los marcadores de **VICON** que dan cuenta del destello de luz infrarroja con un marcador verde que aparece y luego desaparece: es la referencia temporal adoptada

## RESULTADOS

Los dos estudios simultáneos de **CINAR-3D** y **CINARTRO** tuvieron un Error Cuadrático Medio (ECM) de estimación del AFE de 15.7% y 18.0% para el primero y segundo estudio respectivamente (Fig 4a y 4b). El rango del AFE, estimado como media del pico-a-pico de las curvas de Fig. 4, fue de 57,5° y 44,2° (estudio 1) y 60,1° y 43,7° (estudio 2) medido por **CINARTRO** y **CINAR-3D** respectivamente. La diferencia es 13,3° - 16,4° (30,0% - 37,5%) entre ambos.

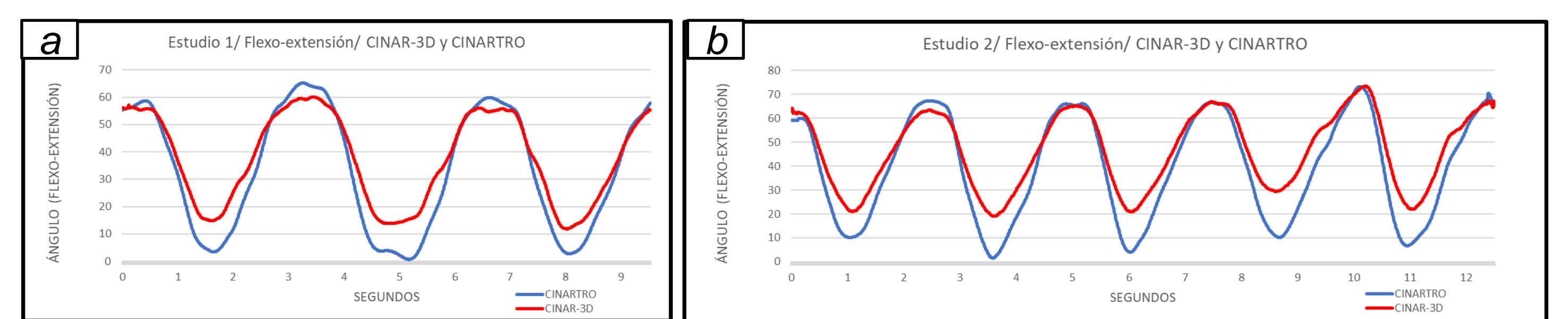


Fig 4. Datos obtenidos con **CINAR-3D** (curva roja) y **CINARTRO** (curva azul) para el AFE. a) 3 ciclos completos de la actividad motora del primer estudio. b) Segundo estudio (5 ciclos).

Los dos estudios simultáneos de **CINAR-3D** y **VICON** tuvieron un ECM de estimación del AFE de 8,3% y 7,3% para el primero y segundo estudio respectivamente (Figura 5a y 5b). El rango del AFE, estimado como media del pico-a-pico de las curvas de Fig. 5, fue de 47,3° y 52,1° (estudio 1) y 52,1° y 57,7° (estudio 2) medido por **VICON** y **CINAR-3D** respectivamente. La diferencia es 4,8° - 5,6° (10,1% - 10,7%) entre ambos.

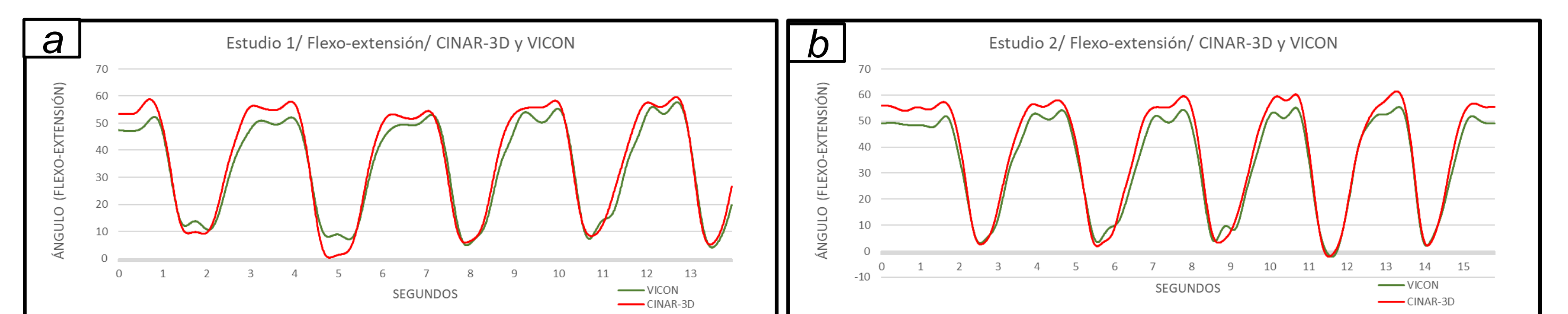


Fig 5. Datos obtenidos con **CINAR-3D** (curva roja) y **VICON** (curva verde) para el AFE. a) Primer estudio con 5 ciclos completos b) Segundo estudio con 5 ciclos completos

Los dos estudios simultáneos de **CINAR-3D** y **VICON** tuvieron un ECM de estimación del AR de 35,8% y 47,8% para el primero y segundo estudio respectivamente (Figura 6a y 6b). El rango del AR, estimado como media del pico-a-pico de las curvas de Fig. 6, fue de 9,1° y 5,7° (estudio 1) y 9,8° y 4,3° (estudio 2) medido por **VICON** y **CINAR-3D** respectivamente. La diferencia es 3,4° - 5,5° (59,6% - 127,9%) entre ambos.

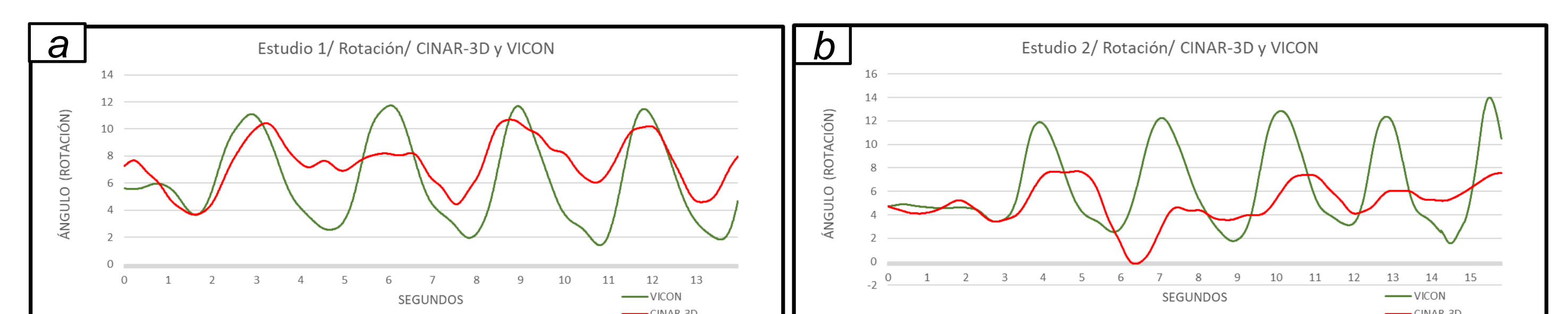


Fig 6. Datos obtenidos con **CINAR-3D** (curva roja) y **VICON** (curva verde) para el AR. a) Primer estudio con 5 ciclos completos b) Segundo estudio con 5 ciclos completos.

## CONCLUSIÓN

La medida de flexo-extensión con los marcadores cutáneos de **PUNTOSUR** conlleva un error con respecto a la medida con puntos óseos de **CINARTRO**. Esto se debe al corrimiento cutáneo con respecto a la estructura ósea. Esta diferencia es menor entre ángulos medidos por **CINAR-3D** y **VICON** debido a que ambos se miden con marcadores cutáneos.

En cuanto a la rotación de la tibia respecto al fémur, su rango de movimiento es menor, lo que aumenta la incertidumbre de medida con marcadores cutáneos, en especial si los marcadores se encuentran cercanos.

Para contrarrestar la incertidumbre de las medidas de rotación de la tibia con **PUNTOSUR**, se verá ampliar la cantidad de marcadores hasta el tobillo y la cadera, tomando referencias de todo el miembro inferior.

[1] R. Ledezma, B. Ariel, D. Santos, and F. Simini, “3D Reconstruction of Knee Motion by Videofluoroscopy & Videography with Orthogonal Cameras,” in XV International Symposium on 3D Analysis of Human Movement. University of Salford, Salford; UK, 2018, pp. 134–5

[2] W. Olivera, M. Rodriguez, D. Santos, and F. Simini, “CINARTRO: Clinical tool to assess knee kinematics by videofluoroscopy,” IFMBE Proc., vol. 60, pp. 130–133, 2017.

[3] VICON, “Plug-in Gait Product Guide-Foundation Notes.” p. 76, 2008.

