

## **CINAR-XLS: Herramienta de consolidación de datos de la biomecánica de la rodilla para su análisis poblacional**

### **CINAR-XLS: Merging Tool for Knee Biomechanics Data Analysis**

Franco Pariani<sup>1\*</sup>

Darío Santos<sup>2</sup>

Franco Simini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Ingeniería Biomédica, Facultades de Medicina e Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

<sup>2</sup>Departamento de Rehabilitación y Medicina Física, Hospital de Clínicas, Universidad de la República, Uruguay

\* Autor para la correspondencia: [franco.pariani@fing.edu.uy](mailto:franco.pariani@fing.edu.uy)

#### **RESUMEN**

**Introducción:** CINARTRO es un instrumento original que permite determinar los parámetros biomecánicos de la rodilla en movimiento durante la rehabilitación, al realizar tareas motoras. Se calculan el punto de contacto tibio-femoral y el brazo de palanca a partir de la videofluoroscopia, lo que permite definir el estado funcional dinámico de la rodilla.

**Objetivo:** Diseñar e implementar CINAR-XLS que consolide los datos generados por CINARTRO para realizar análisis poblacionales.

**Método:** Se desarrolla una plataforma Java que reúne archivos de resultados de varios pacientes y los unifica en un archivo XLS. Compatible Linux y Windows, CINAR-XLS tiene una interfaz de usuario amigable.

**Resultados:** Se obtiene una herramienta de informática médica que aporta el eslabón faltante entre la producción clínica de datos de la biomecánica de la rodilla y la capacidad de realizar fácilmente estudios epidemiológicos y de caracterización fisiológica de la rodilla en movimiento.

**Conclusión:** Esta realización interdisciplinaria es una contribución al aprovechamiento inmediato de datos clínicos (datamining) a cargo del personal asistencial y de investigación médica.

**Palabras clave:** biomecánica; articulación de la rodilla; minería de datos; rehabilitación.

#### **ABSTRACT**

**Introduction:** CINARTRO is an original instrument to calculate mechanical parameters of the moving knee during rehabilitation motor tasks. The interactive software calculates the tibio-femoral contact point and the moment arm from videofluoroscopic images, which allows to define the knee functional behavior.

**Objective:** Design and implement CINAR-XLS to merge data created by CINARTRO for subsequent

population analyses.

**Method:** Development of a Java platform to join several patient results files into an XLS file. CINAR-XLS is compatible with Linux and Windows through a friendly user interface.

**Results:** We have obtained a medical informatics tool to fill in the missing link between knee clinical biomechanics data production and epidemiological data analysis. The tool is also useful to characterize the physiology of the moving knee.

**Conclusion:** This interdisciplinary achievement is a contribution to easy clinical data processing (datamining) by health personnel and medical research staff.

**Keywords:** biomechanics; knee joint; data mining; rehabilitation.

## Introducción

La atención médica en el siglo XXI incluye el uso creciente de herramientas informáticas que le permiten ampliar los beneficios de su evolución a poblaciones cada vez mayores. La Historia Clínica Electrónica (HCE) es una realidad consistentemente presente en la mayoría de los países en la cual se registra una gran cantidad de información. Las técnicas de datamining no prejuzgan la estructura de los datos para extraer información de las bases de datos. Se trata de un uso retrospectivo de los datos recabados. El uso prospectivo, en cambio, no es habitual dado que los sistemas de captura de imágenes y de datos clínicos son pensados para el uso inmediato para la toma de decisiones concernientes a un paciente individual. Algunos autores proponen el ordenamiento de la información desde los instrumentos de captura hacia archivos susceptibles de análisis estadísticos <sup>(1)</sup>. De la misma manera, el desarrollo de equipamiento biomédico original en Uruguay presenta una situación similar en la cual nos proponemos multiplicar el provecho obtenido para cada paciente y llevarlo a la creación de conocimiento sobre bases poblacionales.

CINARTRO es un producto que por primera vez en la práctica clínica permite determinar en forma interactiva los parámetros biomecánicos de la rodilla en movimiento, al realizar determinadas tareas motoras <sup>(2,3,4)</sup>. Esta información cuantitativa, que puede volverse a medir durante la rehabilitación, permite estudiar por ejemplo la evolución de una rodilla operada de ligamento cruzado anterior (LCA). CINARTRO determina una aproximación tangible del centro de rotación instantáneo de la rodilla procesando imágenes de videofluoroscopia (VFC). La VFC es una serie temporal de imágenes de Rx de una estructura del cuerpo en movimiento para su estudio <sup>(5)</sup>. Para procesar estas imágenes, CINARTRO aplica modelos geométricos y genera informes para la HCE en formato CDA <sup>(6)</sup>. Estos informes son de utilidad para el seguimiento de la rodilla afectada ya que se puede comparar con la rodilla sana y con estudios en diferentes momentos de la rehabilitación. La identificación del paciente es consultada en el registro maestro de pacientes del país (Índice Nacional de Usuarios de Salud - INUS) y el resultado está destinado a la HCE almacenada en repositorios normalizados de tipo XDS <sup>(7)</sup> previstos en la organización nacional de los servicios de salud <sup>(8)</sup>. CINARTRO tiene la particularidad de que para cada estudio de un paciente genera y almacena los datos por separado, lo que vuelve engorroso el análisis posterior de los parámetros biomecánicos para generar conocimiento fisiopatológico a lo largo de su uso. En esta publicación se define y presenta la implementación de CINAR-XLS que responde a la necesidad de facilitar el

procesamiento de los resultados de CINARTRO.

El objetivo planteado fue generar una herramienta que facilitara el manejo de los resultados obtenidos por CINARTRO dispersos en los dispositivos de almacenamiento de datos. Se desea que la nueva herramienta, CINAR-XLS, recolecte, ordene y genere toda la información para que pueda ser analizada con aplicaciones de propósito general. CINAR-XLS, además, ejecuta la determinación de los parámetros biomecánicos, al igual que la aplicación CINARTRO, debido a su falta de persistencia durante el procesamiento de las imágenes originales. Se espera que el producto desarrollado sea fácil de utilizar y que el resultado obtenido permita analizar los datos generando gráficas e histogramas.

## Métodos

Se desarrolló una plataforma de escritorio utilizando tecnologías Java, más específicamente JavaFX<sup>(9)</sup>. El hecho de que los datos se encuentren dispersos en archivos en las computadoras personales de los profesionales que utilizan CINARTRO dificulta la posibilidad de que la nueva herramienta se encuentre de manera *online* ya que se debe realizar una búsqueda exhaustiva de los archivos en los directorios deseados. Por otro lado, la herramienta debe funcionar en computadoras con sistemas operativos tanto Linux como Windows, siendo posible utilizarla también en versiones antiguas. Entre las tecnologías estudiadas que cumplieran los requisitos se optó por Java<sup>(10)</sup> que, coincidentemente, fue utilizada para el desarrollo de CINARTRO<sup>(11)</sup>.

Se especifica que el archivo resultante sea de tipo XLS ya que el soporte de Java para generar este formato es bueno y puede ser utilizado para procesar datos de poblaciones de pacientes.

## Proyecto de la aplicación CINAR-XLS

La especificación de CINAR-XLS fue redactada en forma interdisciplinaria en conjunto por fisioterapeutas e ingenieros.

## Requerimientos funcionales

- Recolectar archivos que cumplan un cierto patrón en su nombre y se encuentren dentro de una carpeta específica, siendo ambos parámetros indicados por el usuario
  - La carpeta puede ser seleccionada presionando un botón que despliegue el sistema de archivos (*file system*) de la computadora, pudiendo seleccionar una carpeta. La carpeta puede también ser ingresada o editada especificando la ruta a la carpeta.
  - El patrón de nombres de archivos se debe ingresar en un campo de texto al igual que la ruta de la carpeta, debiendo seguir la sintaxis Glob<sup>(12)</sup>.
  - Se deben indicar alertas cuando la carpeta no existe o cuando no se encuentran resultados que cumplan el patrón y la ubicación.
- Procesar los archivos recolectados para adquirir la información generada por CINARTRO y

generar un archivo en formato XLS con todos los datos de los estudios encontrados en los archivos, bajo forma de tabla plana. La planilla XLS resultante debe contener las siguientes columnas:

- Datos del estudio y del paciente:
  - Id:** Identificador autogenerado del estudio
  - CI:** Cédula de identidad del paciente
  - Nombre:** Nombre del paciente
  - Procedimiento:** Nombre del estudio
  - Fecha:** Fecha del estudio
  - Lateralidad:** Columna para completar con la pierna hábil del paciente
  - Diagnóstico:** Columna para completar con un diagnóstico del paciente
- Datos de cada imagen del estudio:
  - Angulo( $\alpha$ ) n:** Ángulo de la rodilla
  - TFCP(%):** Punto de contacto tibio-femoral en porcentaje del segmento definido como “platillo tibial”
  - MA(mm):** Brazo momento entre el TFCP - tomado como aproximación del punto de contacto instantáneo - y la línea de fuerza del tendón rotuliano
  - TFD bone (mm):** Distancia tibio-femoral ósea, que abarca ambas capas de cartílago
- Links a las hasta 20 imágenes usadas por CINARTRO (Imagen 1, Imagen 2, ...)
- Ruta al archivo XML creado por CINARTRO
- Puntos seleccionados por el usuario en cada imagen (Extremidades del platillo tibial, cóndilo femoral, etc.) bajo forma de “Coordenada x, Coordenada y”
- Puntos calibrados de cada imagen bajo forma de “Coordenada x, Coordenada y”

### Requerimientos no funcionales

Los requerimientos no funcionales fueron los siguientes:

- Soporte para Linux
- Soporte para Windows 7 en adelante
- Textos en español

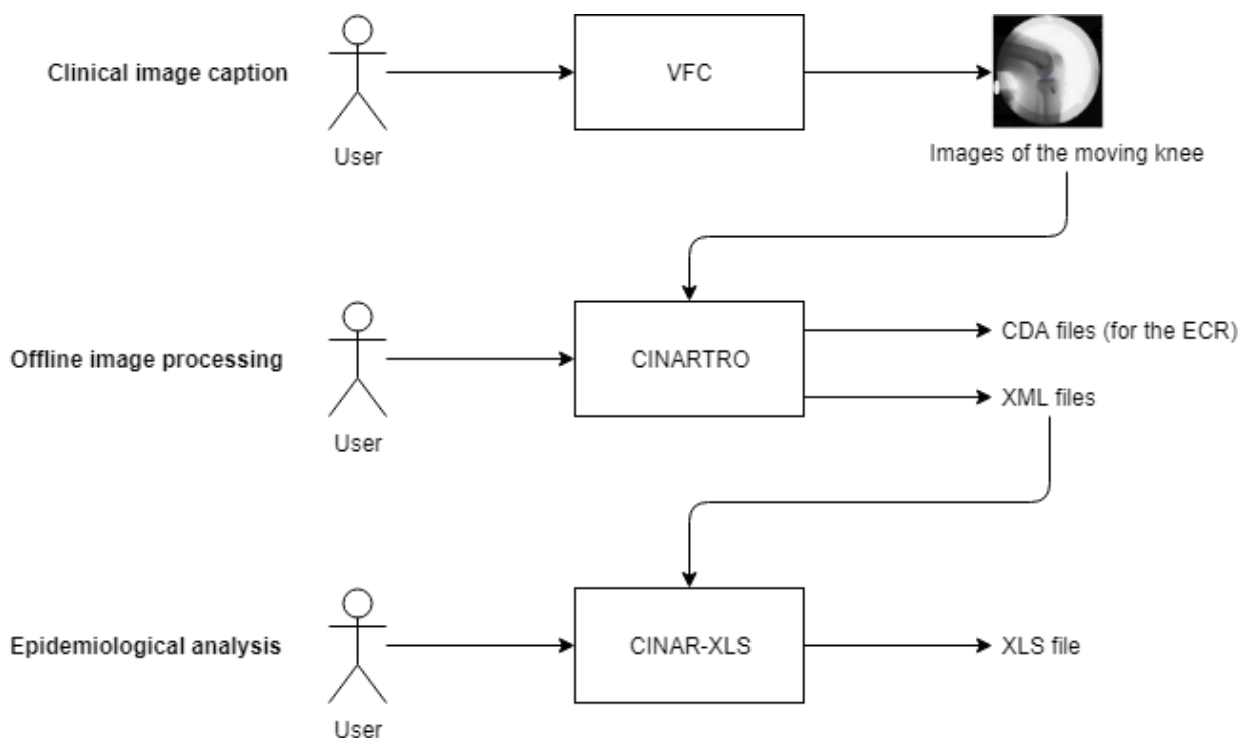
### Diseño de la interfaz de usuario

Se diseña una interfaz simple para el usuario de acuerdo al “Mock-up” de la Figura 1. Desde una única pantalla se accede a todas las funcionalidades de la aplicación.



**Fig. 1** – Disposición en pantalla de los comandos y definiciones del usuario para CINAR-XLS

## Diseño del análisis de la biomecánica de la rodilla



**Fig. 2** – Etapas del procesamiento de imágenes de la biomecánica de la rodilla con CINARTRO y CINAR-XLS.  
 VFC: Videofluoroscopia; CDA: Clinical Document Architecture; ECR: Electronic Clinical Record.

Se diseñó de acuerdo a la Figura 2 la secuencia de procesamientos que se encadenan con los resultados de CINARTRO. La entrada a CINAR-XLS son las imágenes de VFC y los puntos definidos por el usuario de CINARTRO analizando cada una de ellas. Se configuran por lo tanto las siguientes etapas:

1er etapa: Adquisición clínica de imágenes

2da etapa: Generación de informes clínicos

3ra etapa: Análisis poblacional

### Implementación

El proyecto de CINAR-XLS construido consta de los siguientes módulos:

- Main: Módulo de definición y arranque
- UIController: Controlador de la interfaz con el usuario
- Utils: Métodos auxiliares
- UI.fxml: Vista del GUI

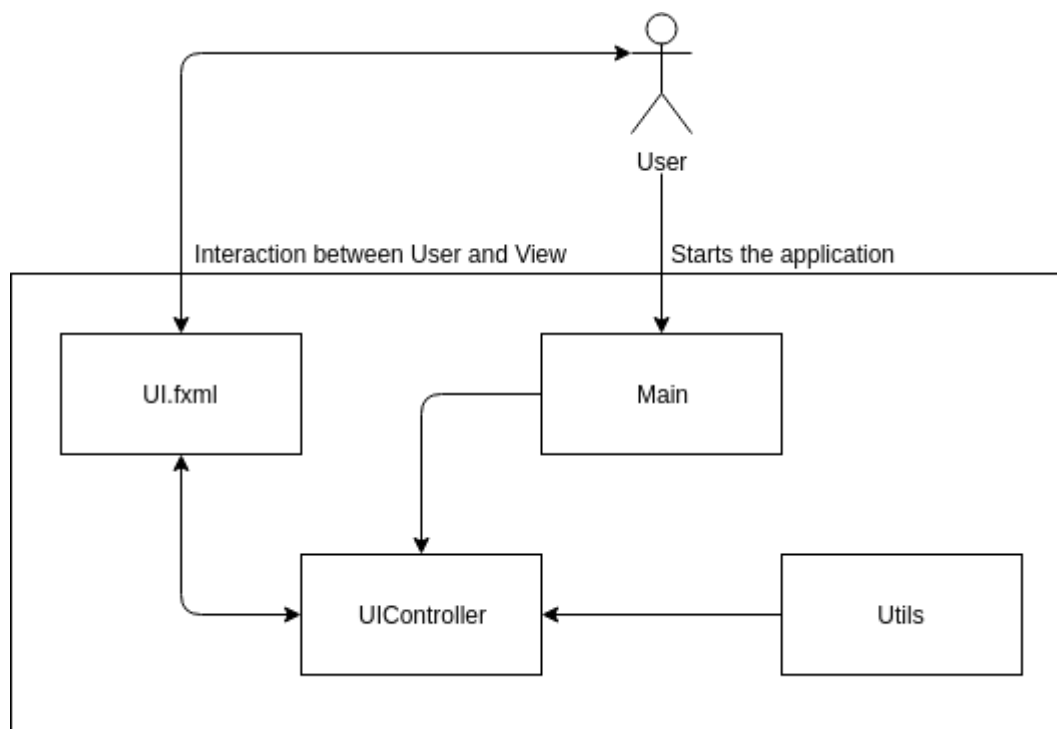


Fig. 3 – Módulos de CINAR-XLS.

El módulo Main se encarga de desplegar la aplicación cuando el usuario la ejecuta desde el archivo ejecutable compilado. Una vez que se ejecuta, delega el control de todas las acciones al módulo UIController.

UIController, además de manejar la lógica de las acciones disponibles, despliega la ventana de interfaz de usuario. Mapea los elementos como los campos de texto y botones con elementos lógicos del lenguaje Java. En base al sistema operativo desde el cual se ejecuta la aplicación (Windows o Linux), despliega una ruta a la carpeta raíz del usuario y un patrón de búsqueda de archivos específico para cada uno. Contiene por lo tanto los siguientes métodos:

- *searchFolder*, despliega una ventana para seleccionar una carpeta.
- *generateXls*, verifica que exista la carpeta indicada y busca los archivos que contiene según el patrón indicado.
- *transformFilesToXls*, dados los archivos encontrados obtiene la información de los estudios generada por CINARTRO, la ordena y genera la planilla XLS.
- *buildXlsRow*, construye una fila de la planilla en base a los datos del estudio.

El módulo Utils es un auxiliar de UIController en el cual se mantienen métodos que son de utilidad para construir la planilla resultado.

Por último, UI.fxml representa a la interfaz de usuario, siendo FXML un lenguaje de marcado de interfaz de usuario basado en XML (*XML-based user interface markup language*) (cita A fxml).

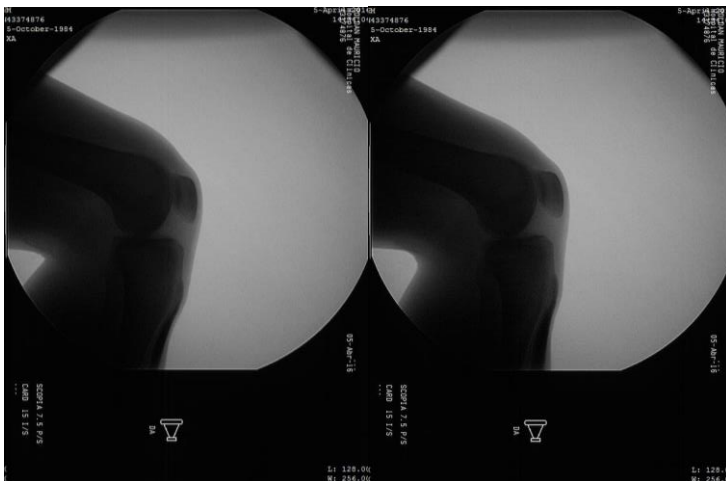
Los archivos cuentan con la siguiente cantidad de líneas:

- Main.java, 26 líneas.
- UIController.java, 490 líneas.
- Utils.java, 103 líneas.
- UI.fxml, 126 líneas.

Total: 745 líneas.

### **Ejemplo de estudio: brazo de palanca del cuádriceps de un paciente**

Para corroborar el correcto funcionamiento de CINAR-XLS se considera la VFC de un paciente que ejecuta una tarea motora determinada. La serie de imágenes de VFC es del tipo de lo que se muestra en la Figura 4.



**Fig. 4** – Imágenes extraídas de la VFC de la rodilla de un paciente. La serie completa de 16 imágenes es utilizada por CINARTRO para los cálculos de la biomecánica de la rodilla.



Los resultados obtenidos mediante CINAR-XLS son guardados en un archivo XLS como se muestra en la Figura 5.

Angulo( $\alpha$ ) n0	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)	Angulo( $\alpha$ ) n1	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)
-8	61	52	6	6	52	59	6
Angulo( $\alpha$ ) n2	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)	Angulo( $\alpha$ ) n3	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)
11	67	55	7	22	34	72	6
Angulo( $\alpha$ ) n4	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)	Angulo( $\alpha$ ) n5	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)
34	33	71	9	45	32	69	6
Angulo( $\alpha$ ) n6	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)	Angulo( $\alpha$ ) n7	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)
				67	36	66	9
Angulo( $\alpha$ ) n8	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)	Angulo( $\alpha$ ) n9	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)
				81	36	62	4

Fig. 5 – Resultado del ordenamiento de datos de CINARTRO por CINAR-XLS en el archivo “Paciente.xls”

CINAR-XLS calcula para cada ángulo de extensión/flexión el brazo de palanca en función del ángulo, como se muestra en la Figura 6.

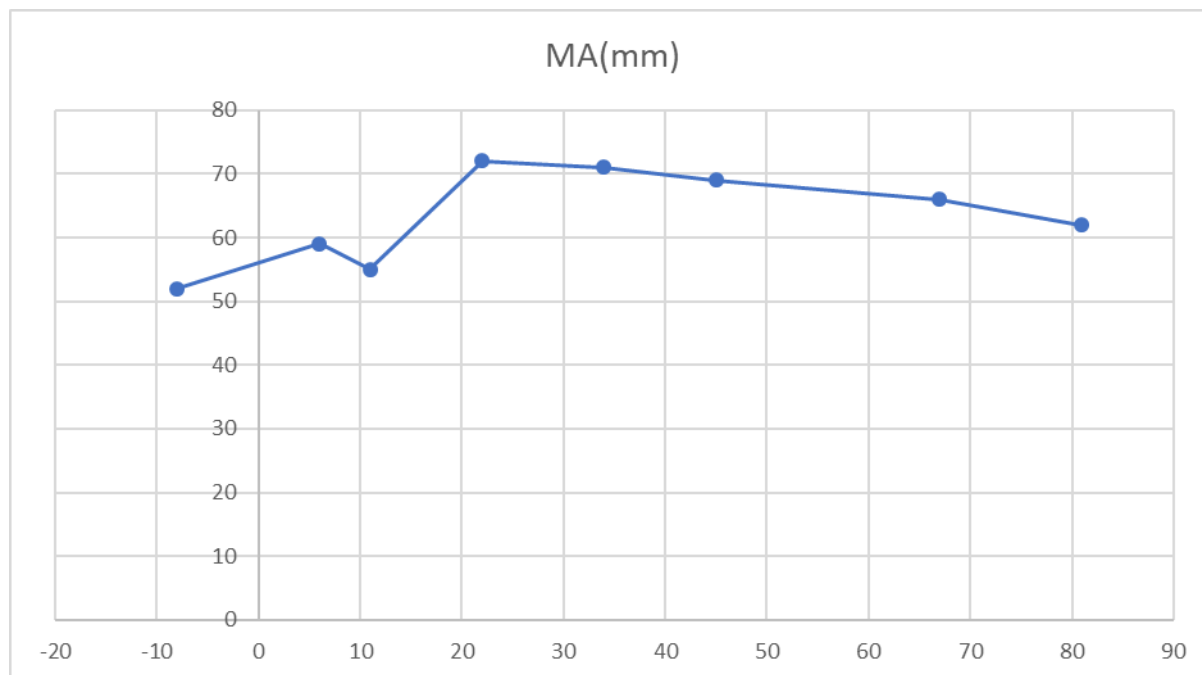


Fig. 6 – Brazo de palanca de la fuerza del cuádriceps a lo largo de la extensión de -10 a 80 grados (°) de un paciente, gráfica ordenada por CINAR-XLS sobre datos procesados por CINARTRO.

La facilidad de obtención de la gráfica de la Figura 6 permite al investigador un avance de importancia respecto a la situación previa a CINAR-XLS. Con la simple selección de los estudios puntuales CINAR-XLS produce gráficas de elevado contenido científico. De la misma manera que se obtiene una curva como en la Figura 6, si el operador hubiese seleccionado simultáneamente el estudio de un miembro inferior junto con el contralateral, la figura generada por CINAR-XLS mostraría la comparación entre ambos.

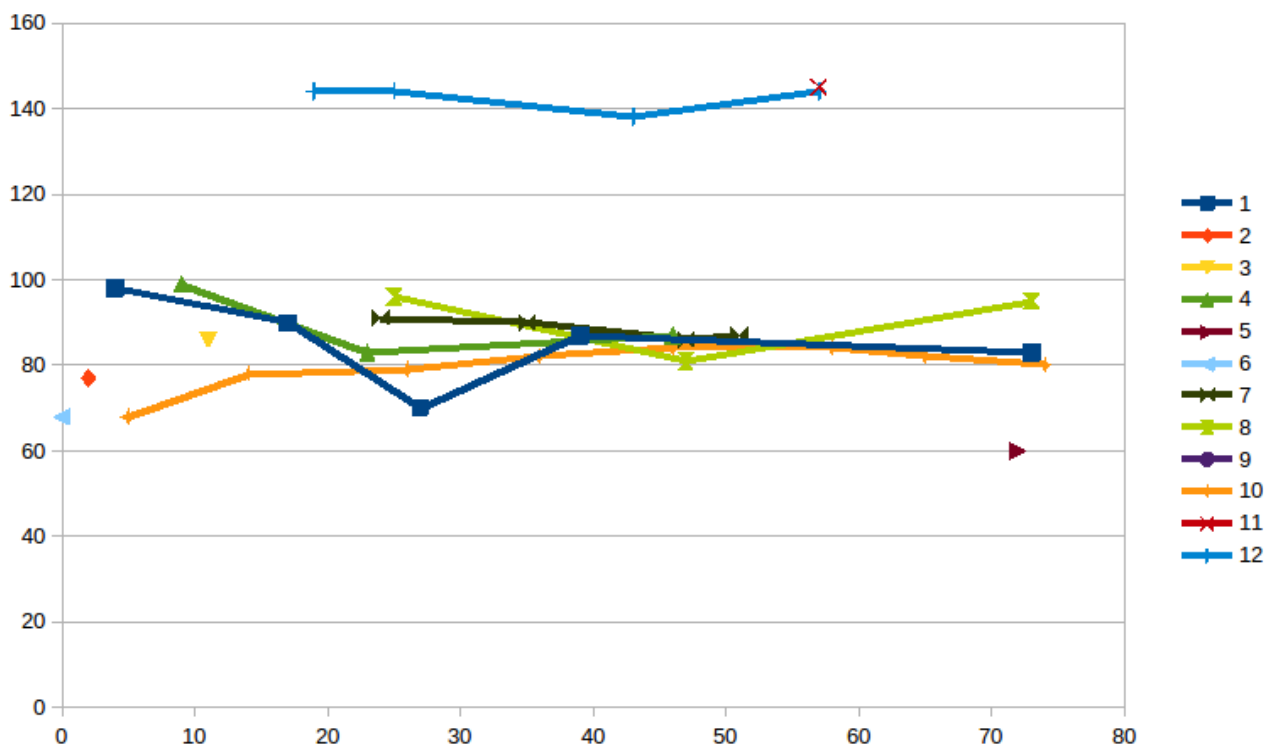
### Ejemplo de consolidación de los estudios de 12 pacientes

Se realizó una prueba poblacional con 12 estudios diferentes, lo que incluye distintas situaciones de normalidad o reconstrucción quirúrgica del ligamento cruzado anterior (LCA). Los resultados generados por CINAR-XLS tienen la forma que se muestra en la Figura 7.

Angulo( $\alpha$ ) n2	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)	Angulo( $\alpha$ ) n3	TFCP(%)	MA(mm)	TFD bone (mm)
17	62	90	14	27	67	70	11
11	37	86	23	23	60	83	11
				24	46	91	16
				25	51	96	11
14	38	78	6	26	36	79	9
19	29	144	12	25	29	144	13

**Fig. 7** – Extracto del archivo XLS generado por CINAR-XLS al ser alimentado con 12 estudios diferentes realizados por CINARTRO y almacenados en el disco del usuario.

La Figura 8 muestra en consecuencia el brazo de palanca de los datos de la Figura 7, en función del ángulo para cada estudio:



**Fig. 8** – Representación gráfica obtenida por la planilla electrónica a partir del archivo XLS generado por CINAR-XLS al ordenar 12 procesamientos de CINARTRO.

### Discusión

El desarrollo de herramientas de informática médica como fue el caso de CINARTRO no incluyó

una base de datos y en cambio dejó la información en memoria. Esto, si bien puede ser considerado eficiente en el diseño y la operación, impide el análisis poblacional y por lo tanto la creación de conocimiento en base a la experiencia y el uso clínico. El CINAR-XLS, que hemos presentado aquí, subsana esta limitación dando al usuario la capacidad de usar las técnicas de datamining, procesamiento estadístico y de inferir nuevo conocimiento.

Mediante el uso de CINAR-XLS los resultados clínicos obtenidos en distintos entornos asistenciales pueden ser consolidados fácilmente en series estadísticamente significativas con un esfuerzo menor. Antes de la existencia de CINAR-XLS los resultados de CINARTRO debían ser transcritos manualmente de las pantallas a una planilla electrónica u otro instrumento. Esta situación atentaba contra el análisis poblacional de datos obtenidos en la clínica. No era posible extraer información resumida para mejorar el entendimiento de la rehabilitación de pacientes según metodologías diferentes. El uso de CINAR-XLS va a facilitar la comparación de estrategias de rehabilitación y de perfeccionamiento de deportistas de elite.

Habitualmente los instrumentos de uso clínico están desconectados de la práctica científica epidemiológica al concentrarse en el resultado individual de cada paciente. El trabajo interdisciplinario de los desarrolladores de informática médica, de los clínicos y de los investigadores en fisiopatología, física médica y epidemiología ha permitido la concepción, especificación e implementación de CINAR-XLS que completa el eslabón que habitualmente falta entre la clínica y la extracción de conocimiento de su práctica. Trabajo que únicamente puede ser cumplido en forma eficiente con una herramienta concebida desde el propio dispositivo de uso clínico como es el caso de CINAR-XLS.

De la misma forma, los grupos interdisciplinarios de otras especialidades podrán sacar inspiración de CINAR-XLS para contribuir a reforzar el “músculo deductivo” que permite fácilmente analizar grandes cantidades de resultados clínicos con poco esfuerzo. Esta actividad facilita lo que en el momento actual es conocido como el datamining.

## Referencias

1. de Lusignan S, van Weel C. The use of routinely collected computer data for research in primary care: Opportunities and challenges. *Family Practice*. 2006.
2. Simini F, Santos D. Anterior Cruciate Ligament reconstruction follow-up instrumentation based on Centre of Rotation videofluoroscopy determination: Development of an original equipment, CINARTRO, and first clinical use. In: Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. 2014. p. 923–6.
3. Santos D, Massa F, Simini F. Evaluation of anterior cruciate ligament reconstructed patients should include both self-evaluation and anteroposterior joint movement estimation? *Phys Ther Rehabil* [Internet]. 2015;2(1):3. Available from: <http://www.hoajonline.com/phystherrehabil/2055-2386/2/3>
4. Simini F, Santos D, Artigas J, Gigirey V, Dibarboure L, Francescoli L. Measurement of knee articulation laxity by videofluoroscopy image analysis: CINARTRO. *Med Imaging Radiol*. 2017;5(4):1–6.
5. Baltzopoulos V. A videofluoroscopy method for optical distortion correction and measurement of knee-joint kinematics. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. Elsevier Science; 1995 Mar;10(2):85–92.
6. HL7 International. Health Level Seven International. Health Level Seven International Homepage. 2016.
7. Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) Cross-Enterprise Document Sharing XDS [Internet]. [cited 2019 Feb 12]. Available from: [https://wiki.ihe.net/index.php/Cross-Enterprise\\_Document\\_Sharing](https://wiki.ihe.net/index.php/Cross-Enterprise_Document_Sharing)
8. Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información de Uruguay (AGESIC), SALUD.UY [Internet]. [cited 2019 Feb 12]. Available from: <http://salud.gub.uy/>
9. JavaFX [Internet]. [cited 2019 Feb 12]. Available from: <https://openjfx.io/>
10. Oracle Corporation, Java Software [Internet]. [cited 2019 Feb 12]. Available from: <https://www.java.com/es/about/>
11. Olivera W, Rodriguez M, Santos D, Simini F. CINARTRO: Clinical Tool to Assess Knee Kinematics by Videofluoroscopy. VII Lat Am Congr Biomed Eng CLAIB. 2016;8–11.
12. Globbing pathnames: Wilcard matching [Internet]. Linux. [cited 2019 Feb 12]. Available from: <http://man7.org/linux/man-pages/man7/glob.7.html>