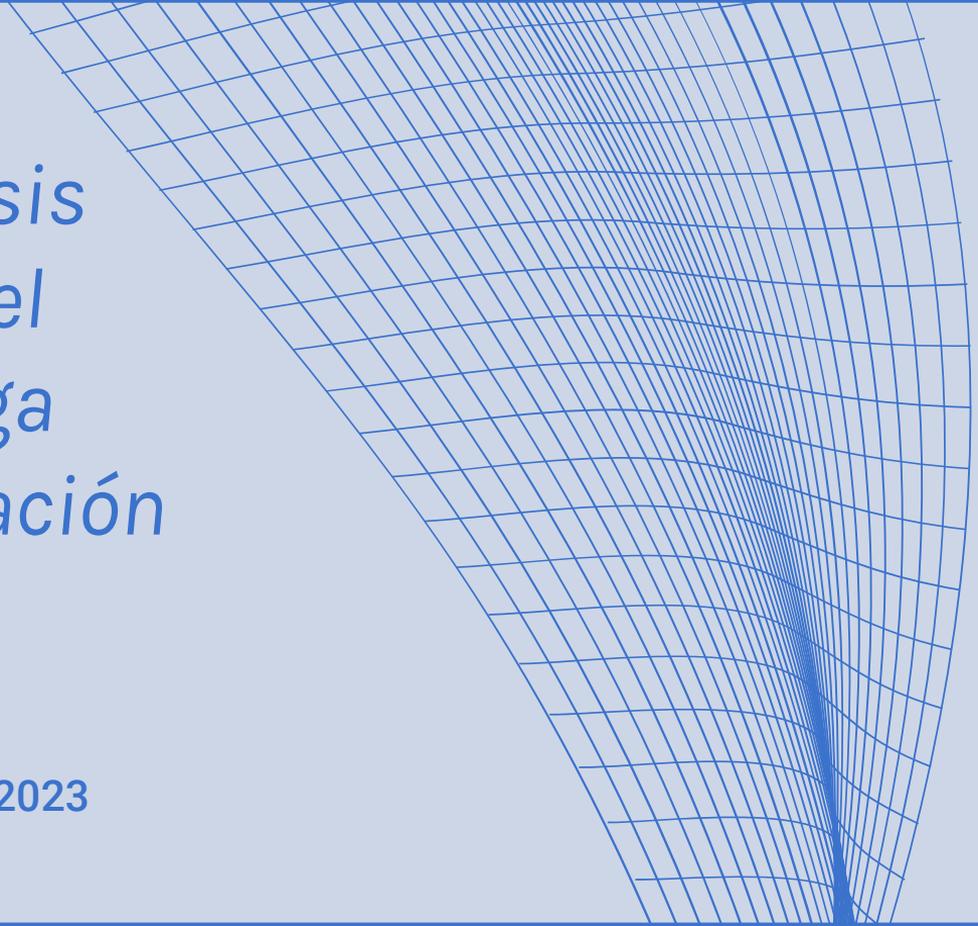
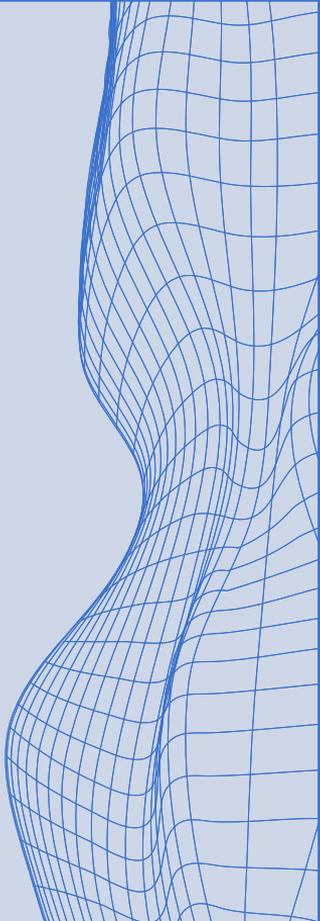
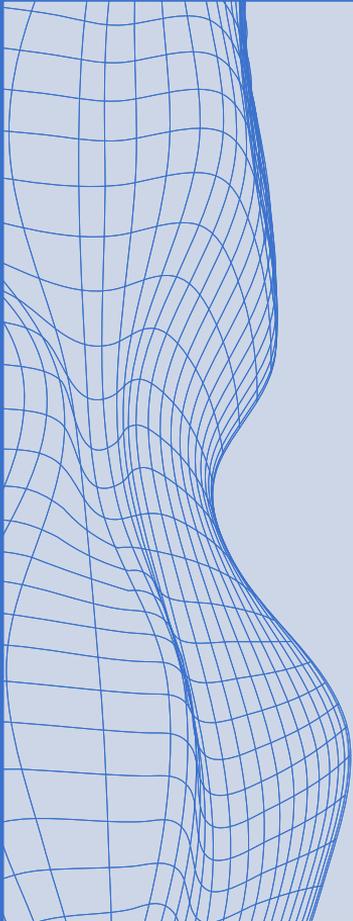


*Modelado y análisis  
computacional del  
problema de fatiga  
muscular y validación  
experimental*

Lucía Cuadrado TFG Medicina 2023

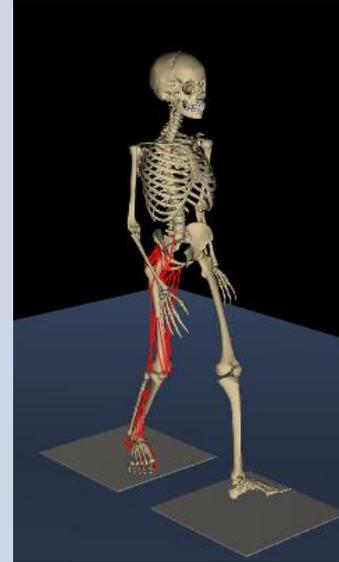
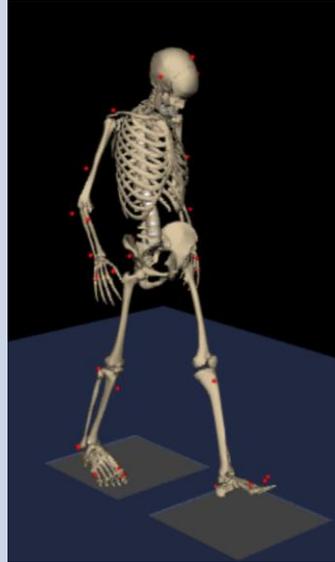




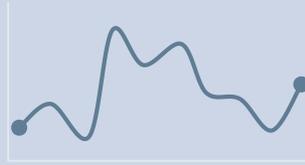
**OBJETIVO:**  
SIMULAR LA  
FATIGA MUSCULAR

## El análisis de movimiento se puede realizar a varios niveles:

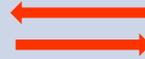
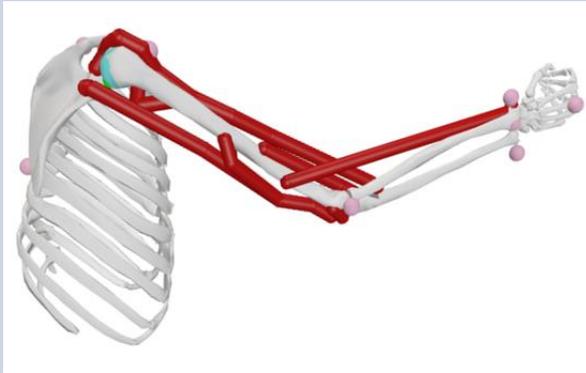
- Esquelético (sistema óptico y medida de fuerzas): cinemática (posiciones, velocidades, etc.) y dinámica (pares articulares).
- Musculoesquelético: fuerzas musculares, activaciones, consumo de energía.







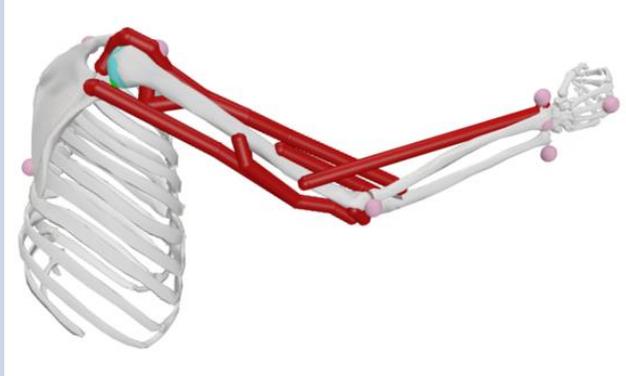
SIMULACIÓN



EXPERIMENTO



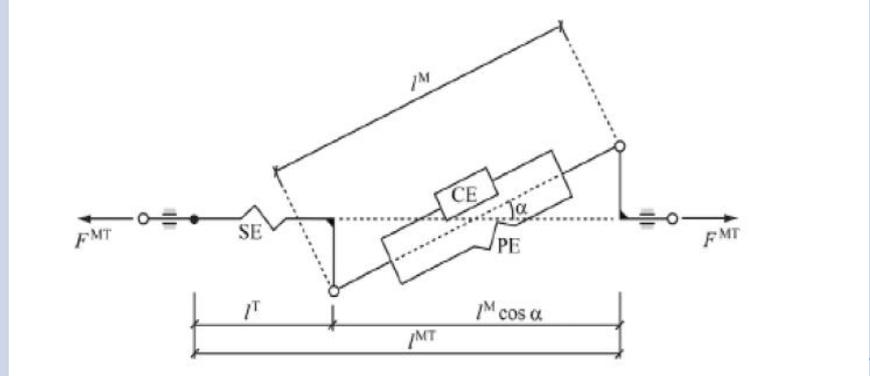
# MODELO ANALÍTICO



Modelo músculo-esquelético  
de la extremidad superior.

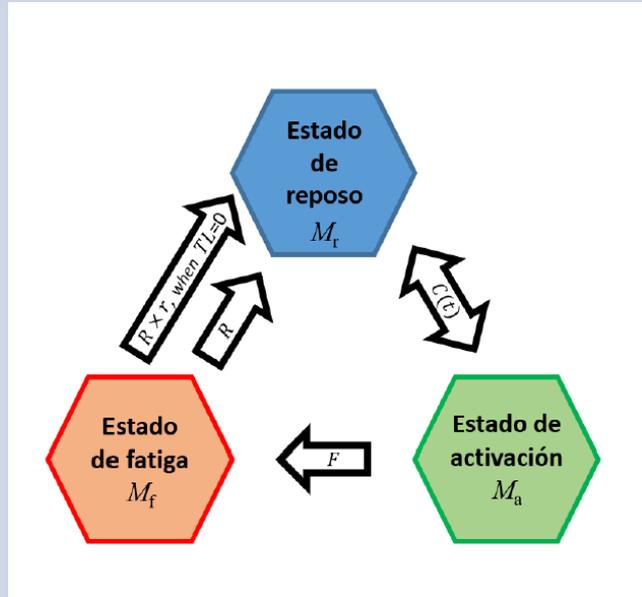


Reparto del par articular en las  
fuerzas musculares.



Modelo de músculo de Hill.

# MODELO ANALÍTICO



Modelo de los tres  
compartimentos (3CCr)



**Laura A. Frey Law**

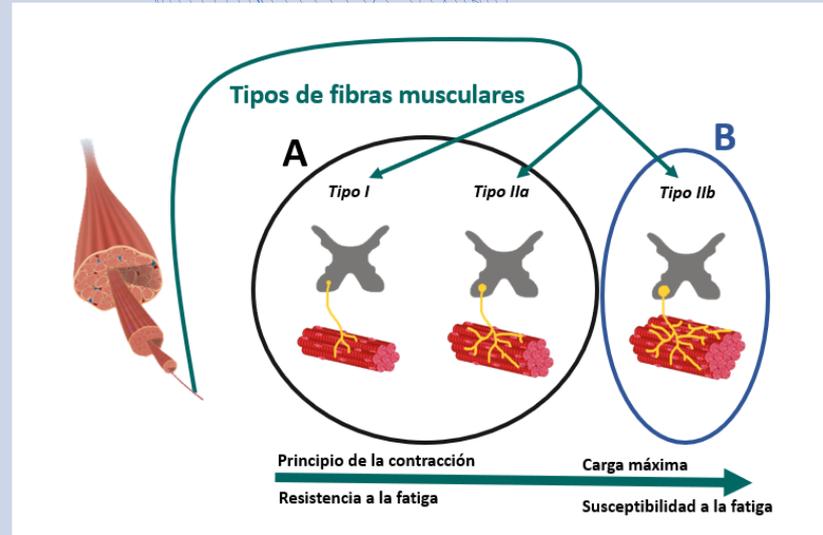
Professor of Physical Therapy and  
Rehabilitation Science at the University  
of Iowa  
Neuromuscular Biomechanics Laboratory

# MODELO ANALÍTICO

Fatiga

Dinámica del  
modelo de  
músculo de  
Hill

Optimización  
reparto  
muscular



NOVEDAD: Introducción tipo de fibras

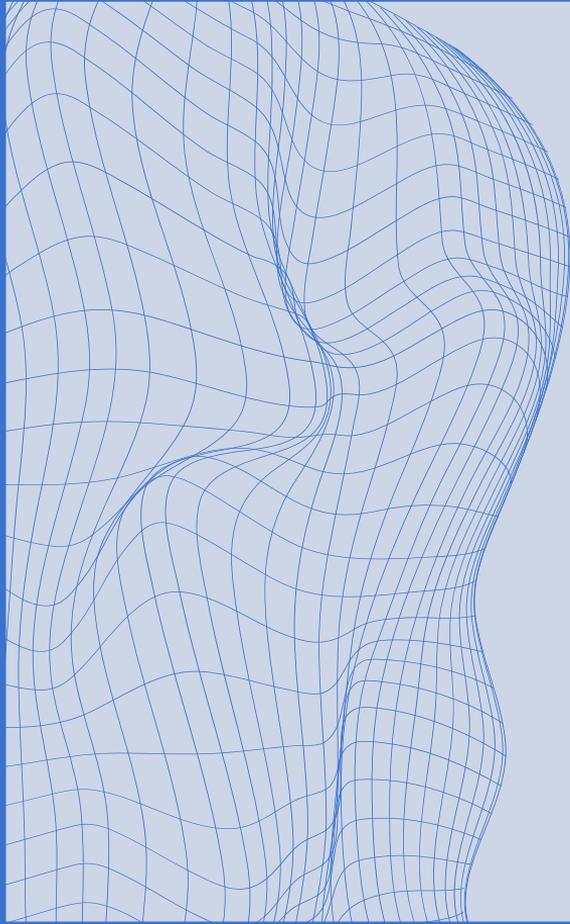
# ANÁLISIS:

## Tipo de ejercicio

- Isométrico
- Dinámico (*curl* de bíceps)

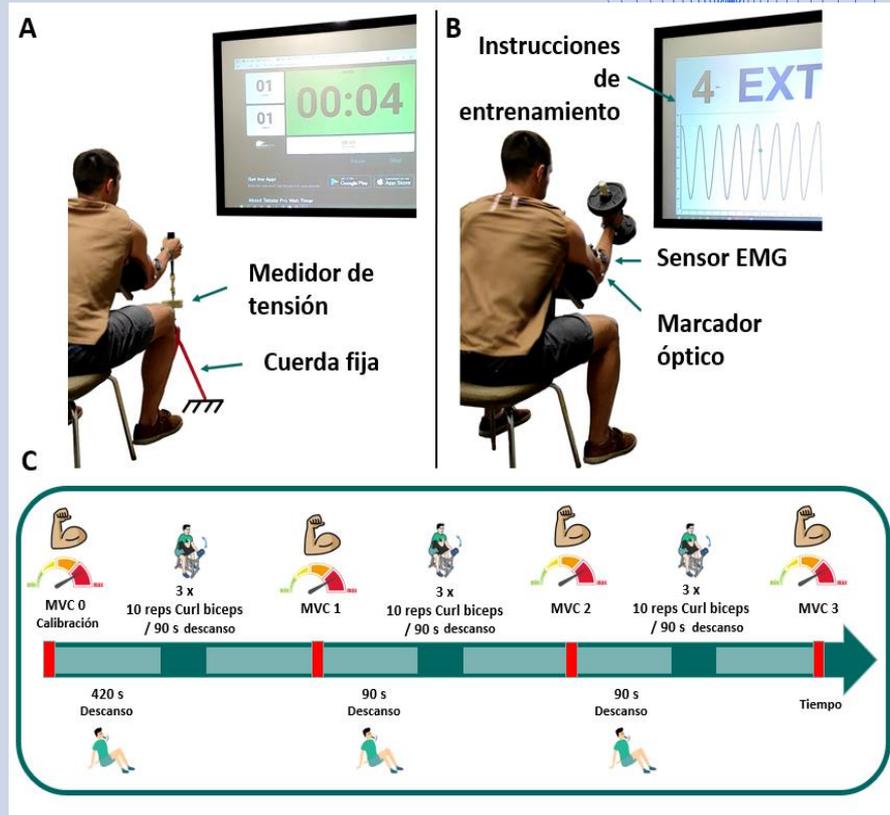
## Modelo

- 2M: Sin reparto
- 7M: Reparto
- 14M: Tipo de fibras

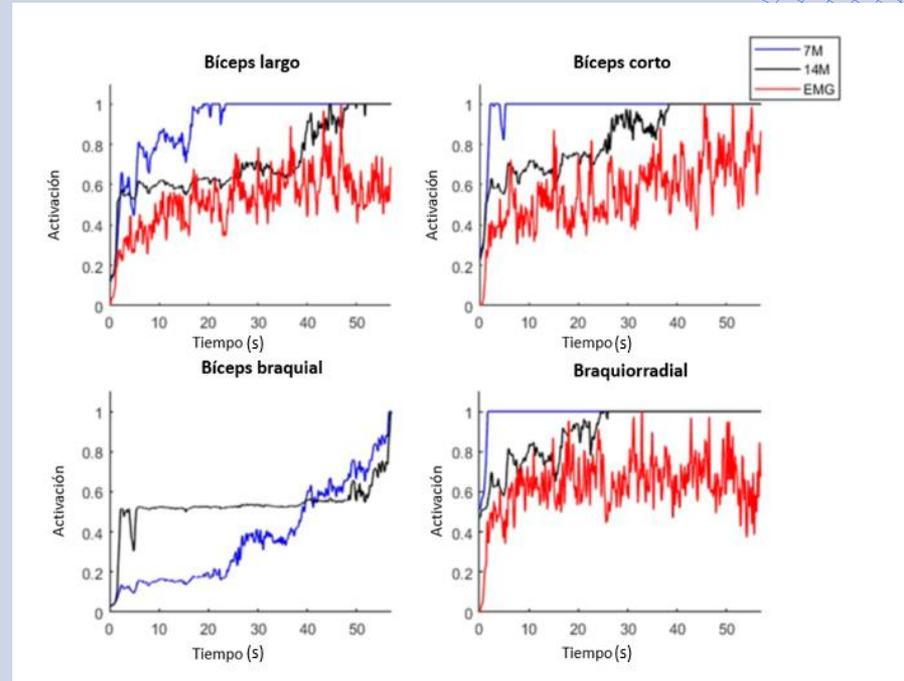
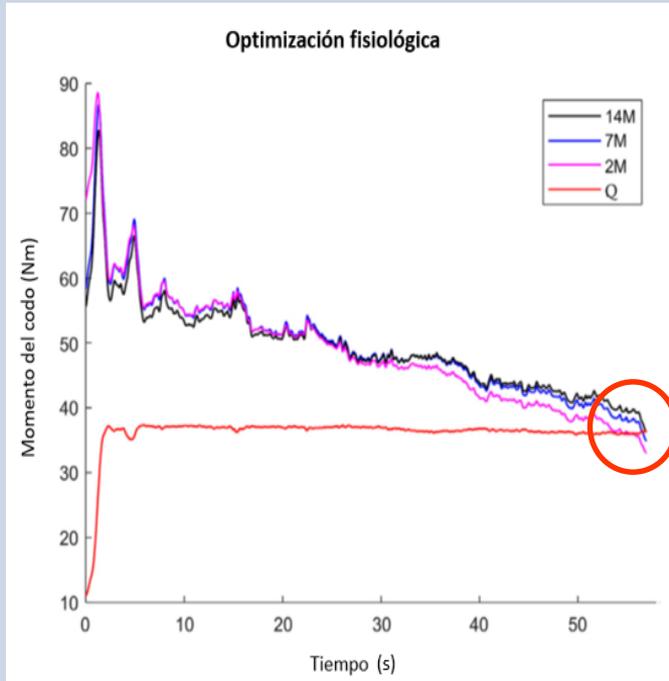


# EXPERIMENTO

- Sujeto: Hombre, 31 años, 180 cm, 80 kg.
- Prueba para la calibración del modelo: MVC0.
- Prueba estática: 65 % de la fuerza máxima hasta fallo.
- Prueba dinámica: ciclos de flexión/extensión de antebrazo (*curl* de martillo).

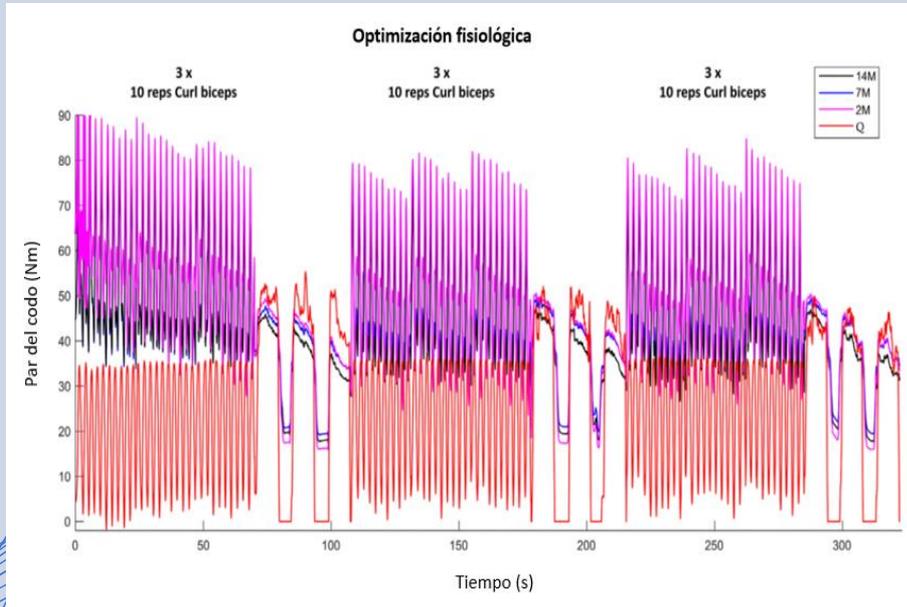


# RESULTADOS: CASO ESTÁTICO



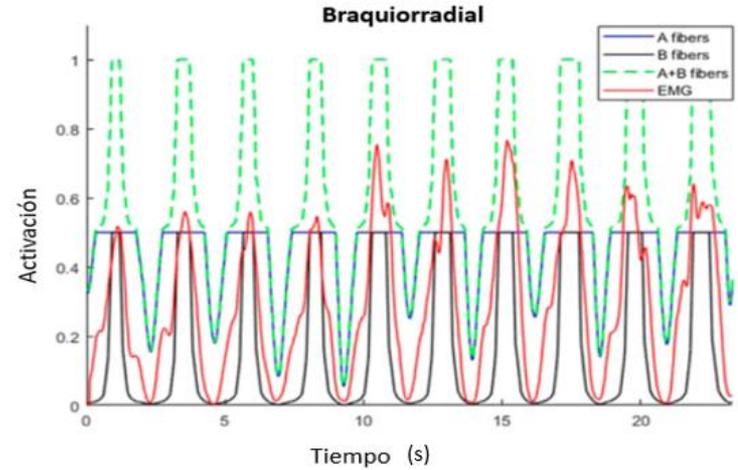
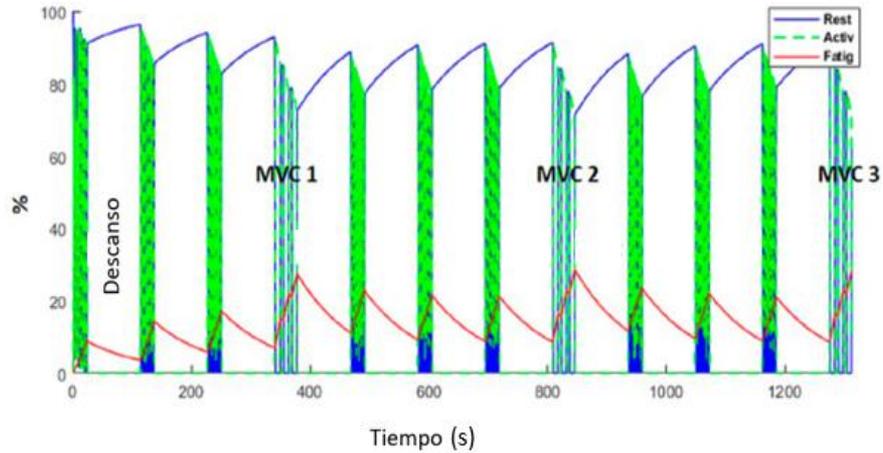
Tiempo hasta el fallo: 56.97 segundos, 14M error <1 segundo.

# RESULTADOS: CASO DINÁMICO

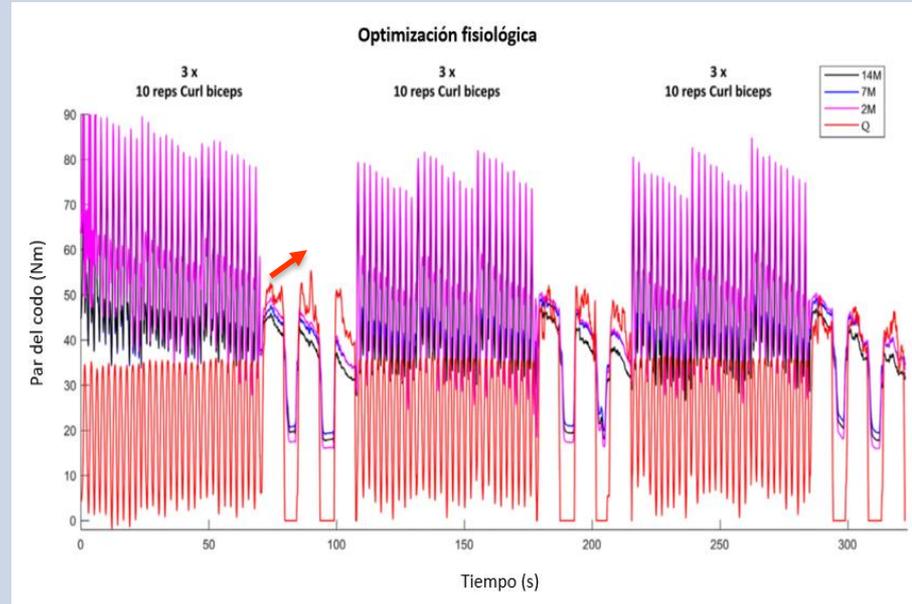


		RMSE de estimación del momento del codo durante MVC (Nm)		
		Modelo muscular		
		2M	7M	14M
MVC1	MVC1-1	3.1	4.2	6.5
	MVC1-2	5.09	6.07	8.8
	MVC1-3	8.07	8.57	11.16
	Media 1	5.42	6.28	8.82
MVC2	MVC2-1	4.07	3.38	3.18
	MVC2-2	4.06	4.82	7.52
	MVC2-3	4.76	5.55	8.36
	Media 2	4.3	4.58	6.36
MVC3	MVC3-1	5.36	4.34	2.61
	MVC3-2	1.63	1.76	3.86
	MVC3-3	3.43	3.99	6.43
	Media 3	3.47	3.36	4.3
Media total		4.4	4.74	6.49

# RESULTADOS: CASO DINÁMICO



# POTENCIACIÓN MUSCULAR



# EXPERIMENTO

- **Hipótesis:** tras un MVC, la fuerza máxima será mayor en el siguiente MVC.
- **Muestra:** 10 sujetos sanos de edades comprendidas entre 18 y 30 años.



# RESULTADOS

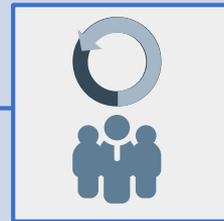
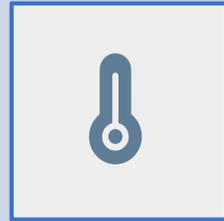


- De 10 sujetos, solo 2 mostraron potenciación en más de la mitad de las mediciones.
- T de Student de muestras apareadas: la primera fuerza máxima es mayor que la segunda con un nivel de confianza >99%.

# SEGUNDO EXPERIMENTO

Introducción  
calentamiento  
intenso

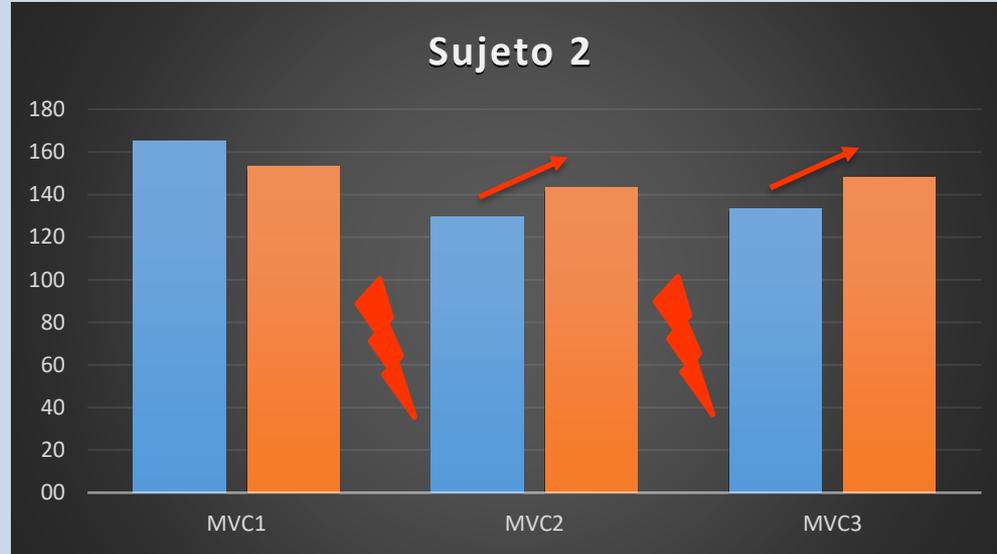
MVC1 siempre  
mayor:  
acondicionamiento  
más fatiga que  
potenciación



Repetición  
experimento  
(6 sujetos)

Potenciación en  
la tercera serie  
de **8.7%** de  
media

# RESULTADOS

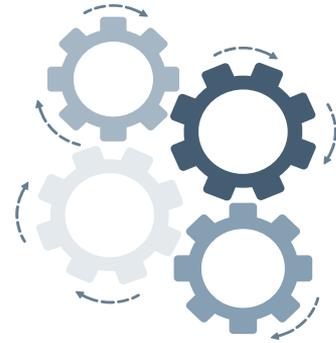


## CONCLUSIONES:

- Necesidad de mejora en la **calibración** de parámetros.
- Necesidad de mejora del **modelo para cierta carga de ejercicio**.
- Necesidad de más investigación sobre fenómeno **potenciación**.



# TRABAJO MULTIDISCIPLINAR



> [Front Physiol.](#) 2023 Apr 24;14:1167748. doi: 10.3389/fphys.2023.1167748. eCollection 2023.

## Applying a muscle fatigue model when optimizing load-sharing between muscles for short-duration high-intensity exercise: A preliminary study

Florian Michaud <sup>1</sup>, Laura A Frey-Law <sup>2</sup>, Urbano Lúgrís <sup>1</sup>, Lucía Cuadrado <sup>3</sup>, Jesús Figueroa-Rodríguez <sup>3</sup>, Javier Cuadrado <sup>1</sup>

Affiliations + expand

PMID: 37168228 PMCID: PMC10165736 DOI: 10.3389/fphys.2023.1167748

Free PMC article

### Abstract

**Introduction:** Multiple different mathematical models have been developed to represent muscle force, to represent multiple muscles in the musculoskeletal system, and to represent muscle fatigue.

#### FULL TEXT LINKS



#### ACTIONS



#### SHARE





Código de registro 2023/046

DICTAMEN DEL Comité de ética de la investigación de Santiago-Lugo (CEI-SL)

Ana Estany Gestal, Secretaria del Comité de ética de la investigación de Santiago-Lugo

**CERTIFICA:**

Que este Comité evaluó la propuesta del estudio

**Título:** Modelado y análisis computacional del problema de fatiga muscular y validación experimental

**Código de Registro:** 2023/046

**Promotor:** Jesús Figueroa Rodriguez

**Investigador:** Jesús Figueroa Rodriguez

**Versión/fecha del protocolo y Hoja de Información al Paciente:** Versión 2: marzo de 2023

Que este Comité vista la solicitud, ha realizado la de evaluación del estudio de investigación y ha valorado las respuestas del promotor a las aclaraciones solicitadas (si las hubiera), de acuerdo con lo previsto en el Decreto 63/2013 por el que se regulan los Comités de ética de la investigación en Galicia y considera que:

- 1 El procedimiento para obtener el consentimiento informado, si lo hubiera, (incluyendo las hojas de información y consentimientos informados mencionados en el encabezamiento), y el plan de reclutamiento de sujetos previsto son adecuados y cumplen con los requisitos para la obtención del consentimiento informado previstos en la legislación vigente.
- 2 El procedimiento previsto para el manejo de datos personales es adecuado.
- 3 El uso futuro de las muestras biológicas obtenidas durante el estudio, si las hubiera, se adecua a lo previsto en el Real Decreto 1716/2011.

Que este Comité decidió emitir **DICTAMEN FAVORABLE** en la reunión celebrada el día 19/04/2023. Que en dicha reunión se cumplieron los requisitos establecidos en la legislación para que la decisión del citado CEI sea válida.

Que el Comité tanto en su composición como en sus procedimientos, cumple con las normas de BPC (CPMP/CH/135/95) y con la legislación vigente que regula su funcionamiento, y que la composición del mismo es la indicada en el anexo I, teniendo en cuenta que en el caso de que algún miembro participe en el ensayo o declare algún conflicto de interés, se ausentará durante la evaluación.

Comité Territorial de Santiago y Lugo  
XERENCIA DO SERVIZO GALEGO DE SAÚDE  
Complexo Administrativo de San Lázaro  
15724 Santiago de Compostela  
T. 881 346423  
solic@sergs.gal  
<https://www.sergas.es/cartafo/Redes-de-Comites-de-Etica-da-Investigacion>

Documento assinado digitalmente por:  
Ana Estany Gestal (037622023 15,02)  
<https://sede.sunta.gal/ver/flows-SADC-LIGA-BOM-CFAC-TMM-COMI-34TL-4108-3119-01-01-15>



GRACIAS

