

La Ingeniería Biomédica, ... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente

Eloy Irigoyen Gordo
GICI
DISA – EIB
UPV/EHU

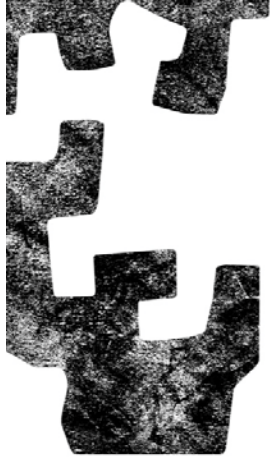
Bilbao-Madrid, 17 de noviembre de 2020



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

NAZIOARTEKO
BIKAINASUN
CAMPUSA
CAMPUS DE
EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Prof. Dr. Eloy Irigoyen Gordo

**Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
E.I.B.
UPV/EHU**



**Responsable y coordinador del
Grupo de Investigación
de Control Inteligente**

<https://www.ehu.eus/es/web/gici>



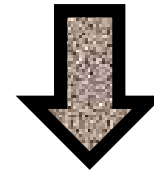


Grupo de investigación: MIEMBROS

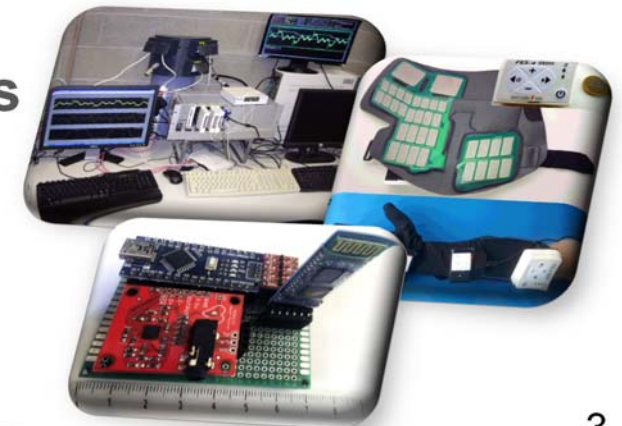


Grupo de investigación: ESPACIOS DE TRABAJO

Laboratorios
docentes



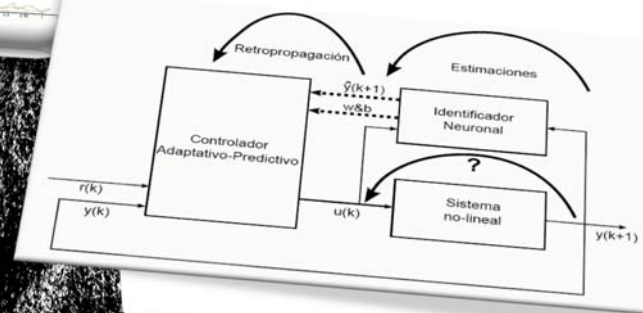
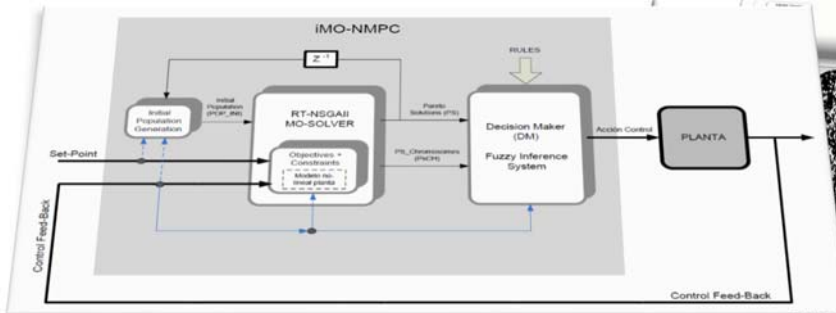
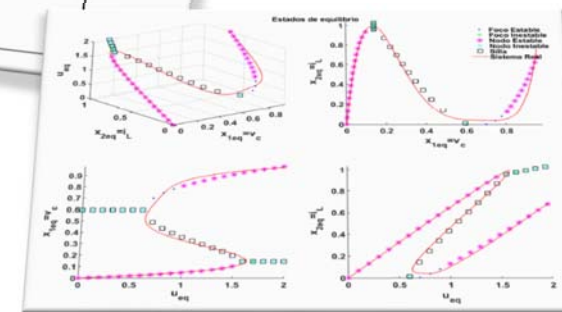
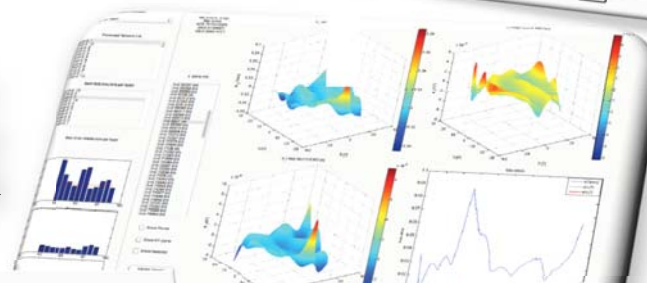
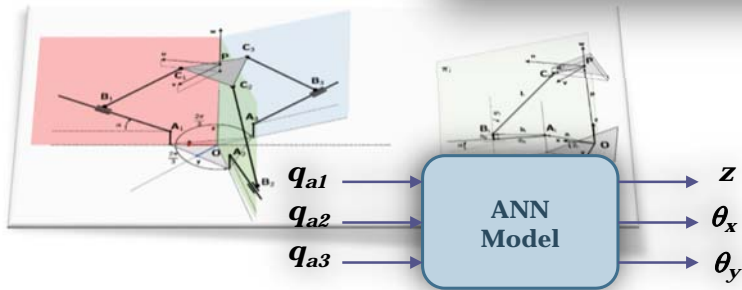
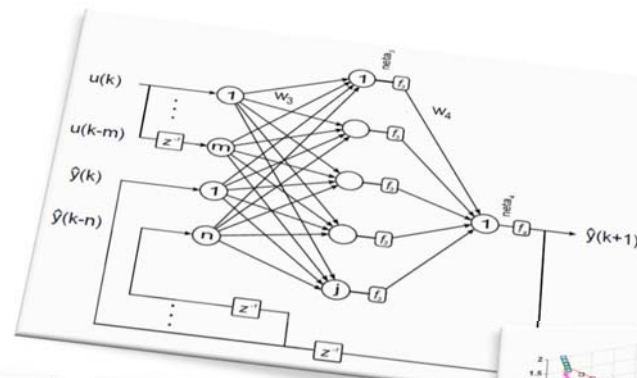
Laboratorios
especializados



GRUPO de INVESTIGACIÓN
de CONTROL INTELIGENTE

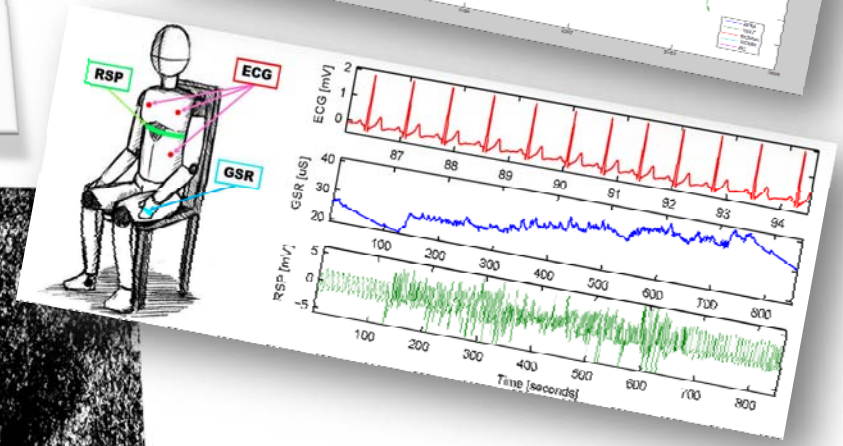
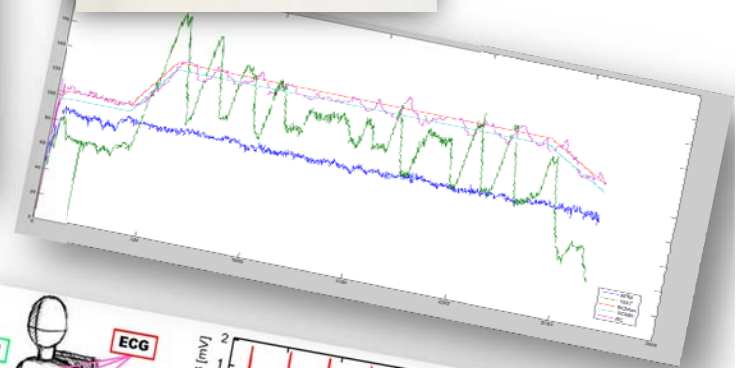
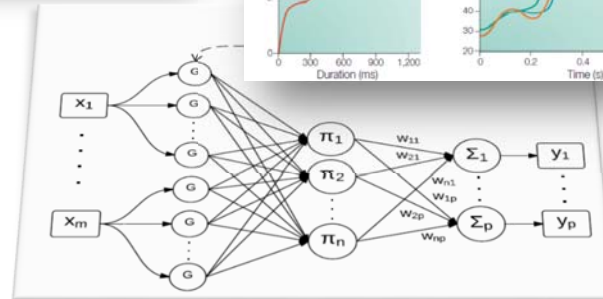
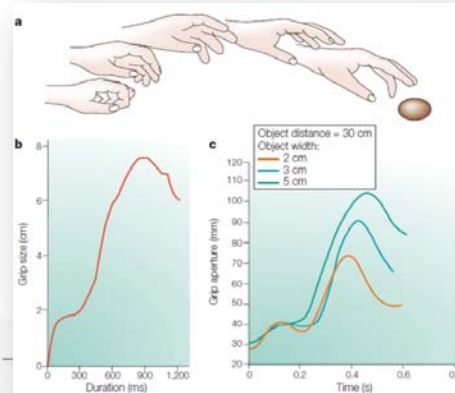


GICI Línea de investigación: CONTROL





GIC Línea de investigación: SALUD ASISTENCIAL





GICI Inquietudes y orígenes

- Ayuda y asistencia a personas dependientes o con capacidades reducidas:

- Discapacidad intelectual.
- Discapacidad funcional.
- Tercera edad.
- Patologías severas.



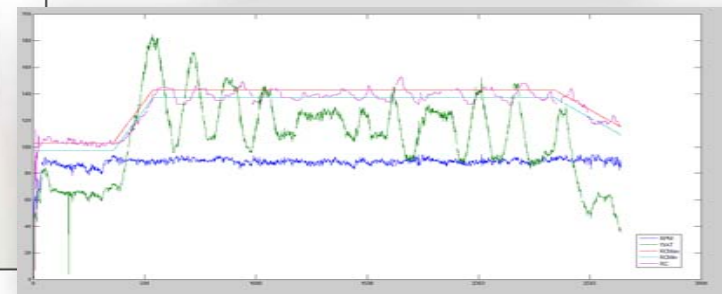
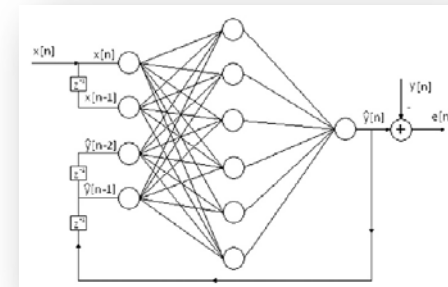
Hablaremos de...

Terapias cardiovasculares activas



- Cicloergómetro:

- Herramienta de rehabilitación activa.
- Perfiles de entrenamiento.
- Control de ritmo cardíaco.





Hablaremos de...

Estimulación eléctrica funcional



- Herramientas de ayuda a la movilidad

- Personas con problemas de movilidad por enfermedades degenerativas, ictus, accidentes,...
- Asistencia a movimientos básicos, en función de la capacidad de cada persona.
- Neuroprótesis.



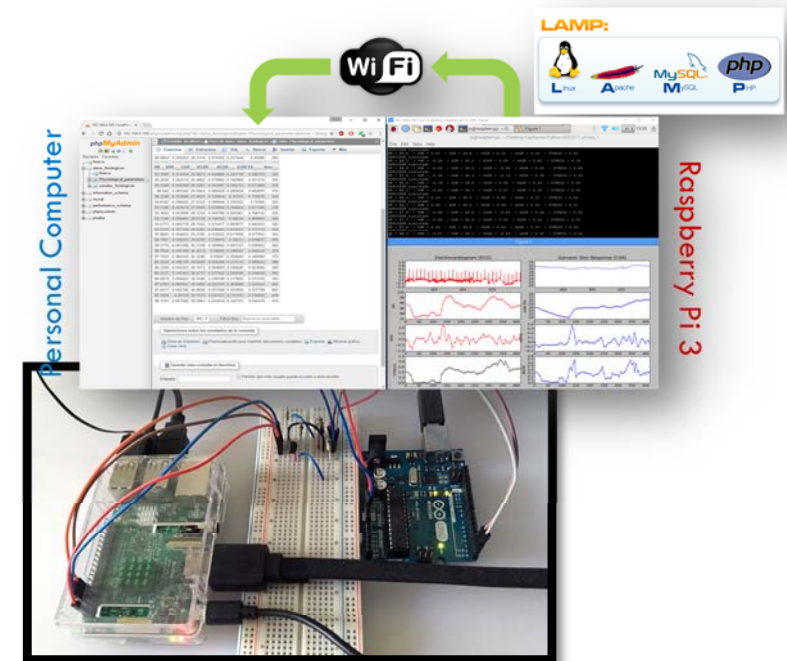


Hablaremos de...

Estrés emocional



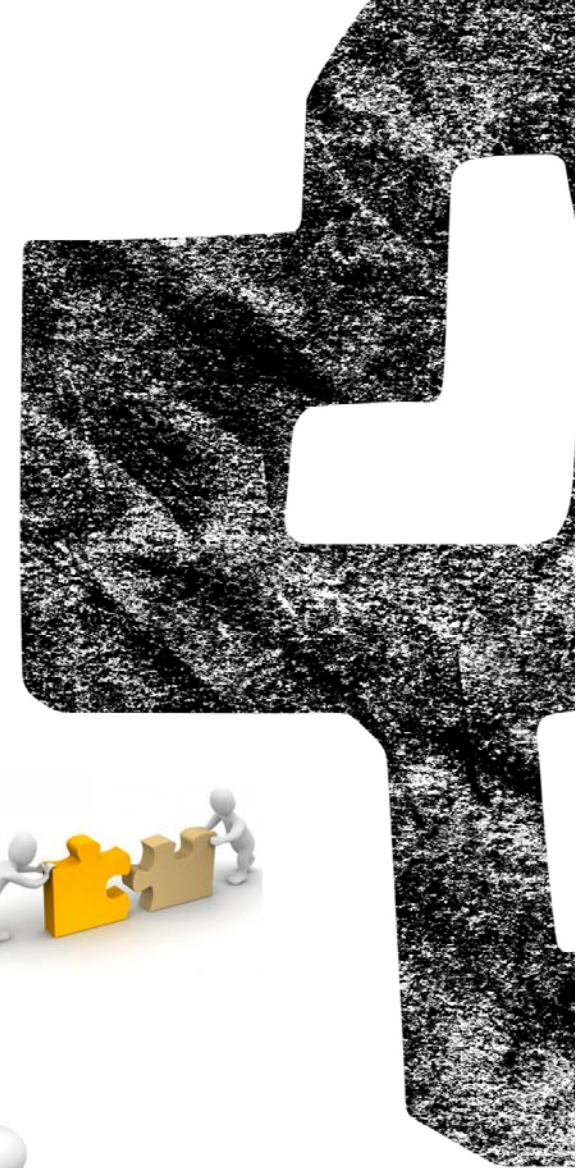
- **Análisis de variables fisiológicas:**
 - Personas con discapacidad o dependientes.
 - Sensores no invasivos.
 - Procesamiento avanzado de señales.





Contenido

- **Ingeniería Biomédica.**
- **Terapias cardiovasculares activas.**
- **Estimulación eléctrica funcional.**
- **Estrés emocional.**



**Grupo de Investigación
de Control Inteligente**

Ingeniería Biomédica

Eloy Irigoyen Gordo
DISA – EIB
UPV/EHU



Ingeniería Biomédica

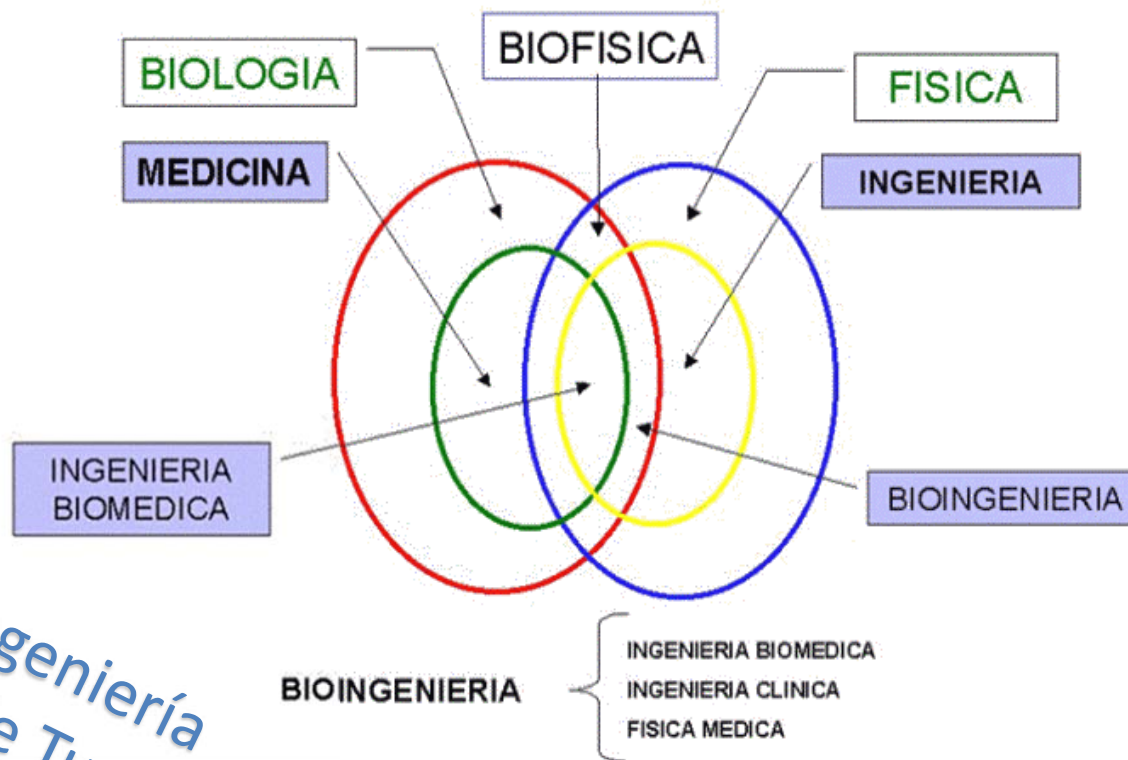
¿Qué es?



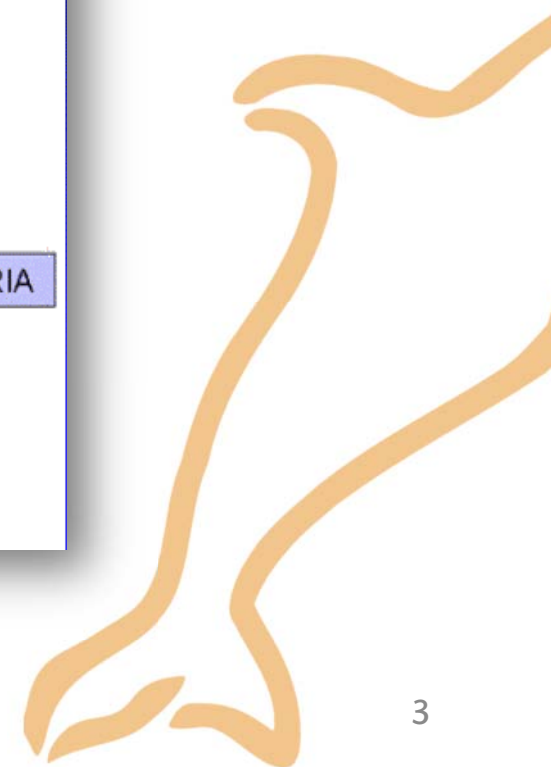


Contexto

BIOFÍSICA, BIOINGENIERÍA Y ÁREAS CONEXAS



Dpto. Bioingeniería
Univ. Nacional de Tucumán





Definiciones

- **Bioingeniería:**
 - Aplicación de las ciencias exactas a la solución de problemas biológicos.
 - Une los principios de la Ingeniería, sus herramientas y la tecnología para aplicarlos a problemas de la Biología y Medicina.
- **Ingeniería Biomédica:**
 - Aplicación de las ciencias exactas en el ámbito de la salud.



Definiciones



- **GOOGLE – Ingeniería Biomédica**



- **Master Universitario en Ingeniería Biomédica**



Investigación



- **EMB - IEEE Engineering in Medicine & Biology Society**



- **SEIB - Sociedad Española de Ingeniería Biomédica**



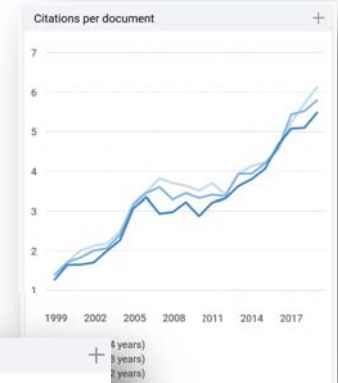
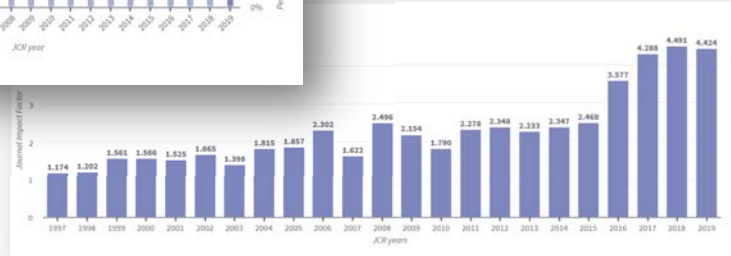
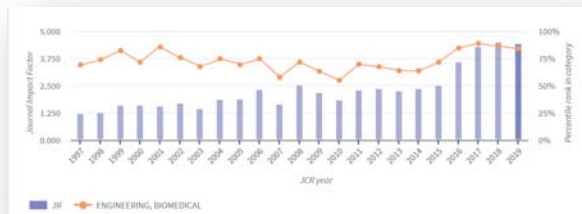
- **CEA - Grupo temático de Bioingeniería**





Publicaciones

- **Web of Science**
 - Biomedical Engineering Category (87 Journals)
- **Scimago Journal & Country Rank**
 - Biomedical Engineering Category (324 Journals)



Publicaciones

- **IEEE Trans. on Biomedical Engineering (1953)**

- <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=10>

- **Nature Biomedical Engineering (2017)**

- <https://www.nature.com/natbiomedeng/>

- **RIAI – Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (2004)**

- <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI>





Ingeniería Biomédica

¿Qué relación guarda con la
Automática y el Control?



$$\begin{aligned}
 \mathbf{T}_{k,k+1} &= A(\beta_k) \cdot B(b_k) \cdot C(\alpha_k) \cdot D(\alpha_k) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\beta_k) & -\sin(\beta_k)\cos(\alpha_k) & \sin(\beta_k)\sin(\alpha_k) & a_k \cdot \cos(\beta_k) \\ \sin(\beta_k) & \cos(\beta_k)\cos(\alpha_k) & -\cos(\beta_k)\sin(\alpha_k) & a_k \cdot \sin(\beta_k) \\ 0 & \sin(\alpha_k) & \cos(\alpha_k) & b_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Robótica

Matriz de transformación

Ingeniería Biomédica



Biomecánica - Prótesis - Órtesis

Ingeniería Biomédica



$$\hat{\psi}(2\xi) = e^{2\pi i \xi m_0} \overline{\left(\xi + \frac{1}{2}\right)} \hat{\varphi}(xi) = e^{2\pi i \xi} \frac{(1 - e^{-2\pi i \xi})(e^{2\pi i \xi} - 1)}{4\pi i \xi}.$$

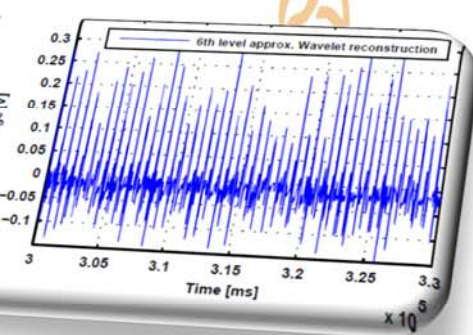
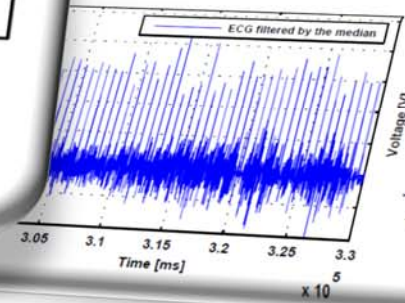
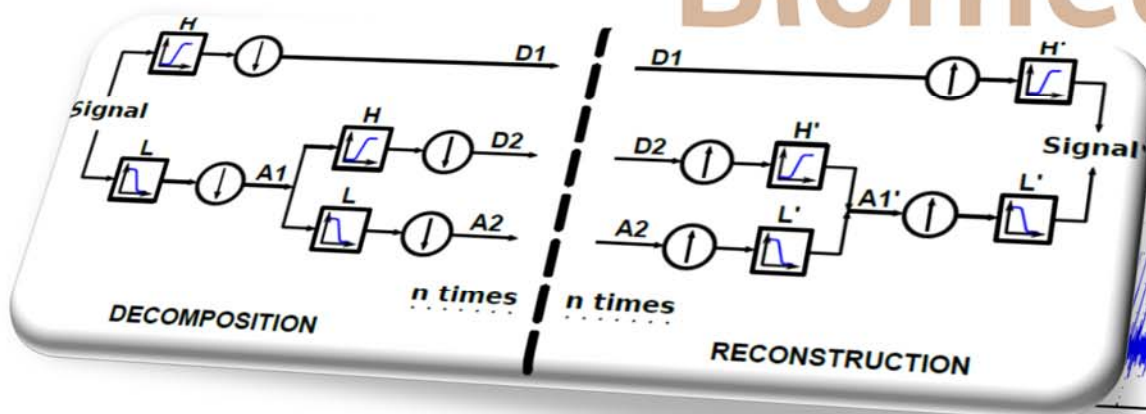
$$\begin{aligned}\hat{\psi}(2\xi) &= e^{2\pi i \xi m_0} \overline{\left(\xi + \frac{1}{2}\right)} \hat{\varphi}(\xi) \\ &= e^{2\pi i \xi m_0} \left(\xi + \frac{1}{2}\right) \chi_{[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}]}(\xi) \\ &= e^{2\pi i \xi} \chi_{([-1/2, -1/4] \cup [1/4, 1/2])}(\xi).\end{aligned}$$



Telecomunicación

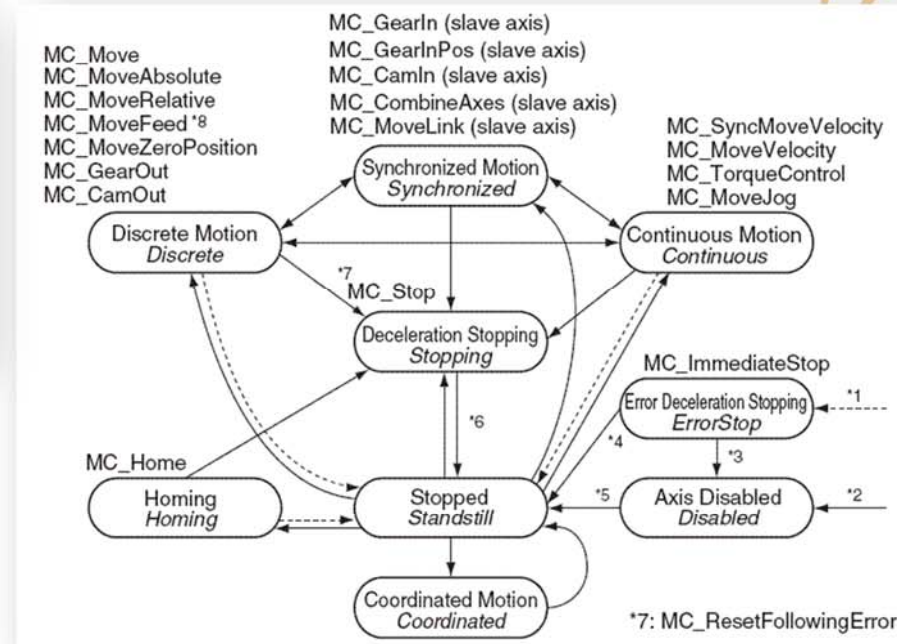
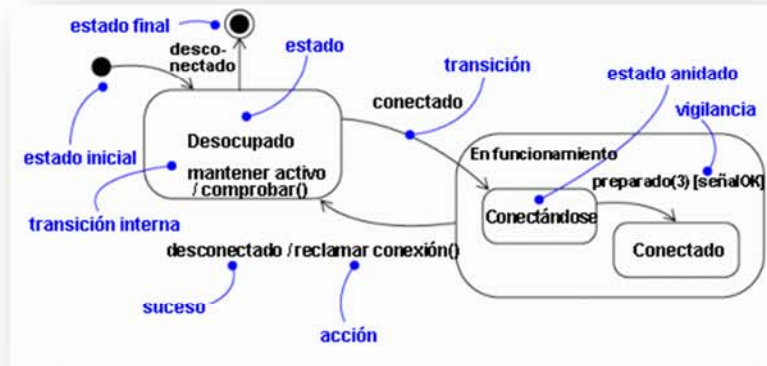
Wavelets: Análisis de señales

Ingeniería Biomédica



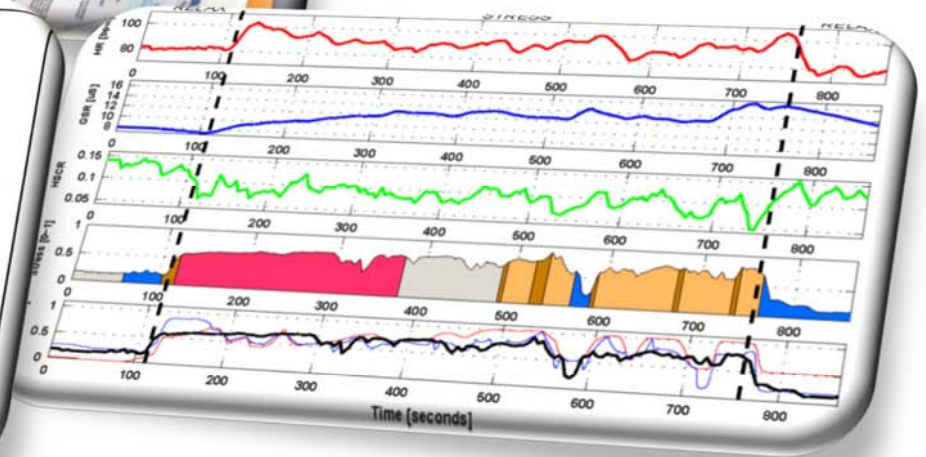
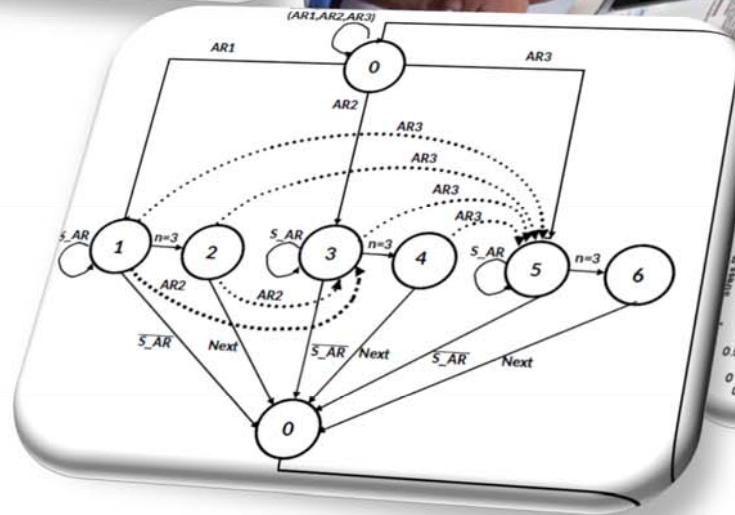
Señales fisiológicas (ECG)

Ingeniería Biomédica



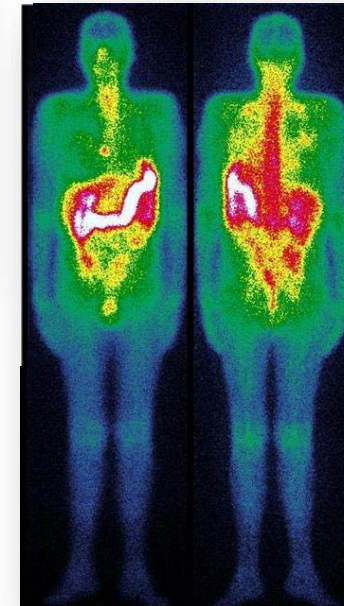
Automatización Industrial Máquinas de estado

Ingeniería Biomédica



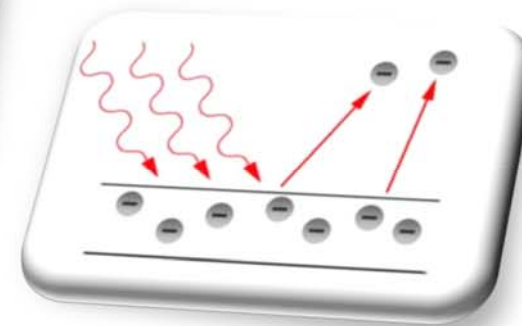
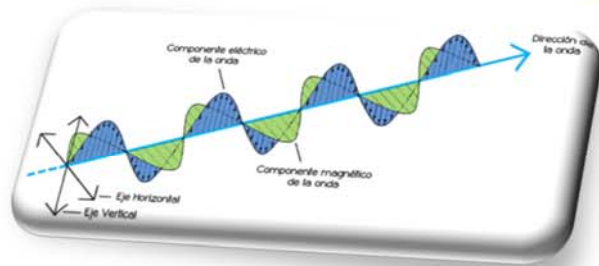
Herramienta de decisión diagnóstica o clasificación emocional

Ingeniería Biomédica



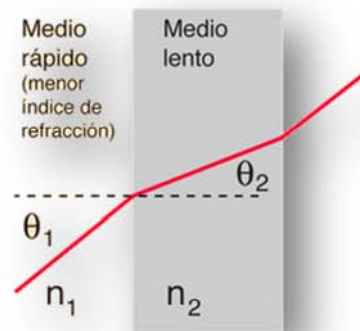
Radiografías – Gammagrafías

Ingeniería Biomédica



Ley de Snell

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$



$$E = h\nu$$

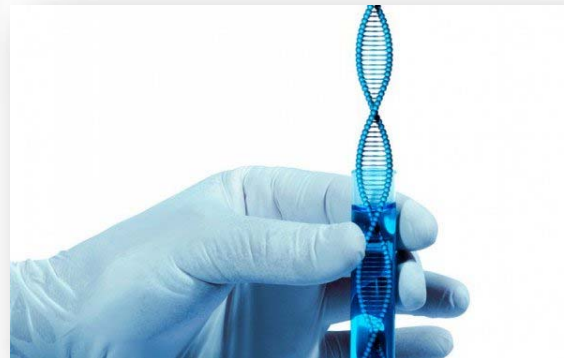
frecuencia de radiación escrita a veces como f , dando la expresión $E = hf$.

Energía cuántica de un fotón.

$h = \text{constante de Planck} = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Julios} \cdot \text{seg} = 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

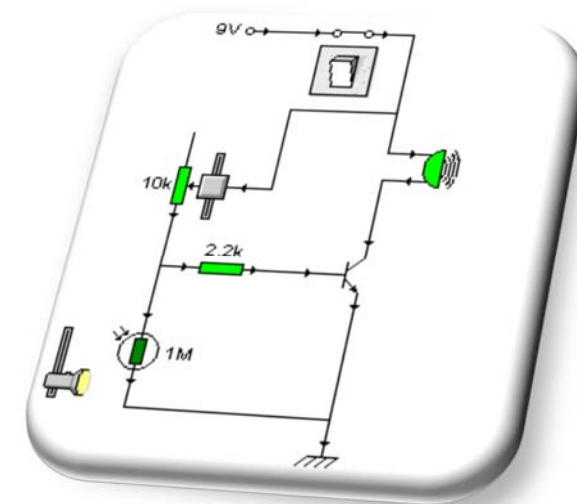
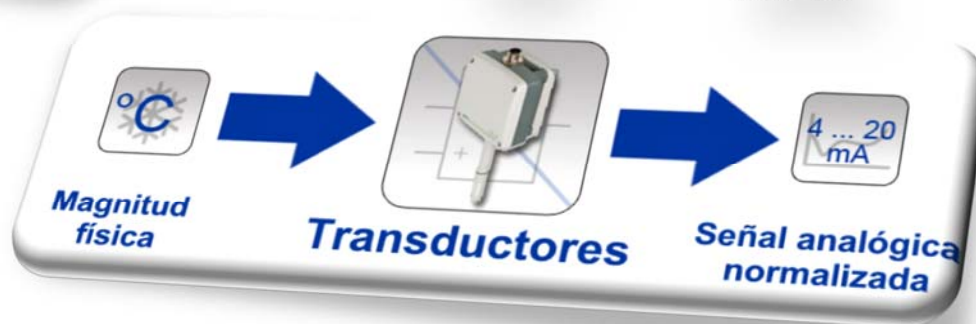
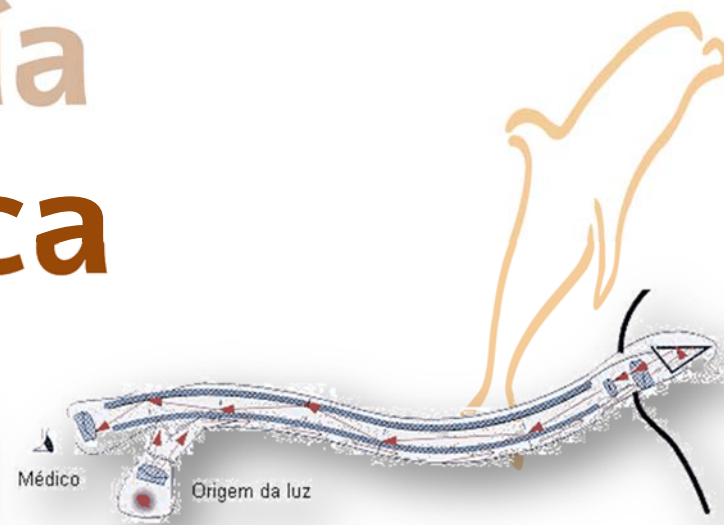
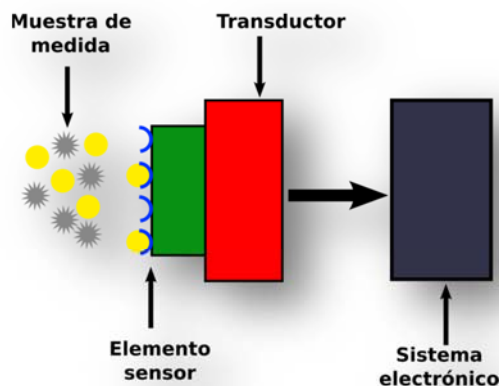
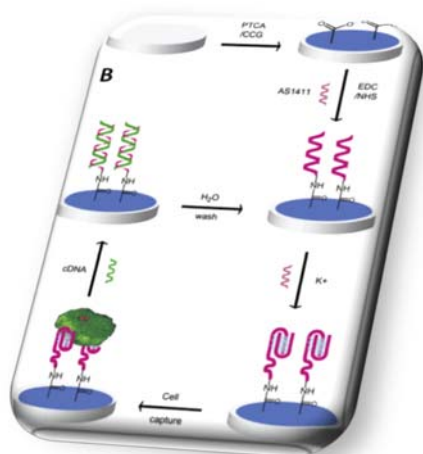
Teoría onda-corpúscular Espectro electromagnético

Ingeniería Biomédica



Analíticas - Chequeos

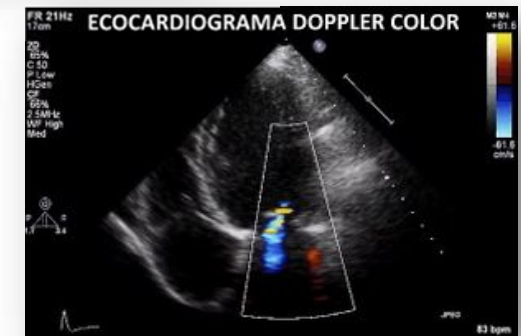
Ingeniería Biomédica



Instrumentación Sensorización

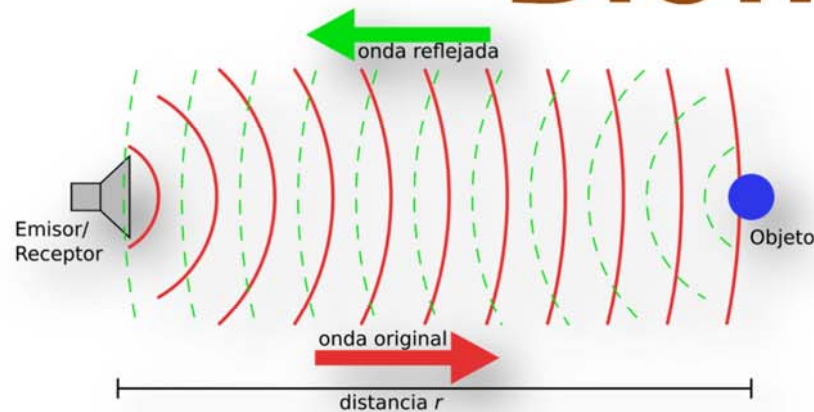
La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la
han hecho madurar enormemente.

Ingeniería Biomédica



Escáneres - Ecografías

Ingeniería Biomédica



$$c^2 = K_m / \rho$$

K_m : módulo de elasticidad volumétrica

ρ : densidad

- Sólidos

Ondas longitudinales	Ondas transversales
$c^2 = \frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}$	$c^2 = \frac{E}{2\mu(1+\mu)}$
E : módulo de Young; μ : coeficiente de Poisson	

Aire: $c \cong 300$ m/s
 Agua: $c \cong 1500$ m/s
 Acero: $c \cong 5900$ m/s
 Aluminio: $c \cong 6320$ m/s

Acero: $\rho \cong 7850$ kg/m³
 Aluminio: $\rho \cong 2700$ kg/m³

Ondas mecánicas Ultrasonidos

La Ingeniería Biomédica,
 ... y como los avances en tecnología la
 han hecho madurar enormemente.

Campos de aplicación



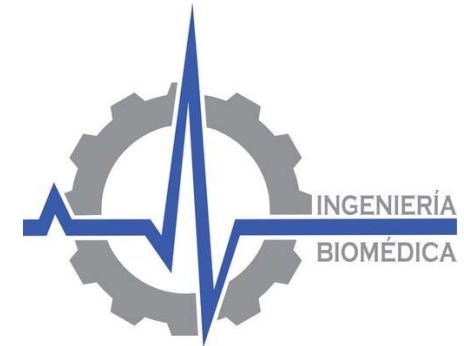
ASISTENCIAL



SANITARIO



INGENIERÍA



Científico / Investigación

Desarrollos nacionales



COVID-19

INTERFACES

TERCERA EDAD

REHABILITACIÓN

CORAZÓN

PÁRKINSON

CAPACIDADES REDUCIDAS

DIABETES

DEPENDENCIA

DINÁMICAS FISIOLÓGICAS

CEREBRO

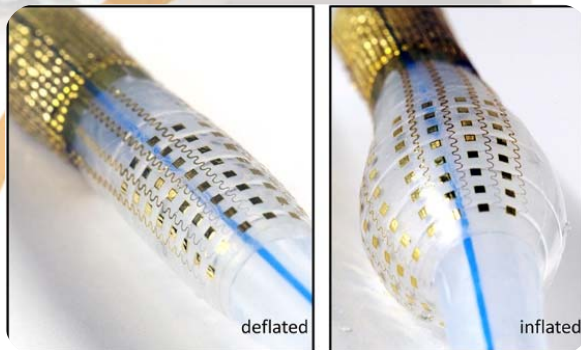


Avances tecnológicos



RESUHURGE

<https://youtu.be/yOWAwLgVu-4>



CATHETER-INTEGRATED SOFT MULTILAYER ELECTRONIC ARRAYS FOR MULTIPLEXED SENSING AND ACTUATION DURING CARDIAC SURGERY

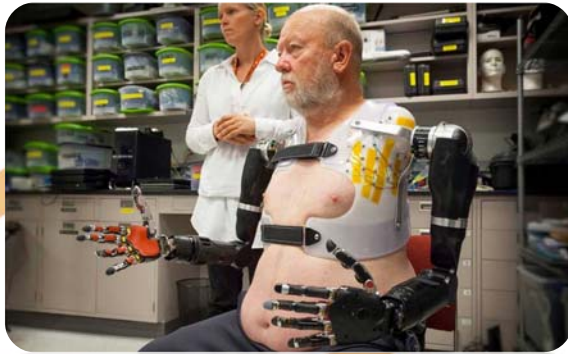
<https://youtu.be/Np9qEK6Az7M>



ENSEÑAN A UN ROBOT CIRUJANO MOSTRÁNDOLE VÍDEOS DE CIRUGÍAS REALIZADAS POR MÉDICOS

<https://xurl.es/txoji>

Avances tecnológicos



**PROSTHETIC LIMBS,
CONTROLLED BY THOUGHT**

<https://nyti.ms/2jYHk1N>



**UNIVERSIDAD AUSTRALIANA
CONCLUYE CON ÉXITO PRUEBAS EN
ANIMALES DE UN OJO BIÓNICO**

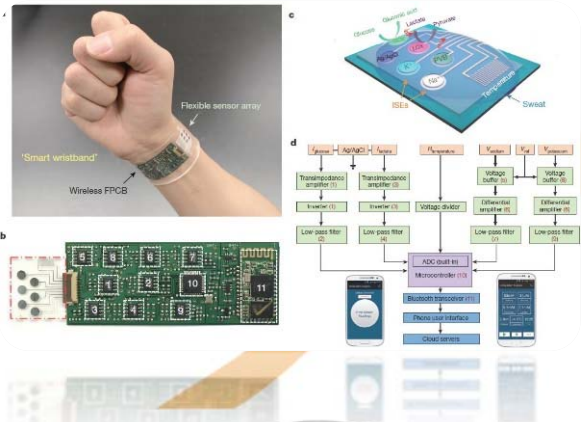
<https://youtu.be/zcnMSc1Nlm4>



**EL GREGORIO MARAÑÓN INICIA UN
PROYECTO CON GAFAS DE REALIDAD
MIXTA EN QUIRÓFANOS**

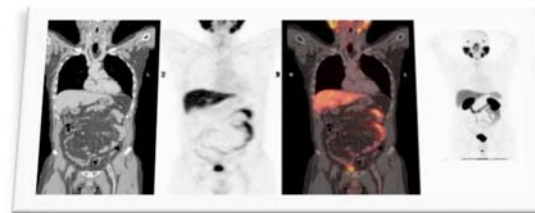
<https://youtu.be/0jllFz3pYxk>

Avances tecnológicos



WEARABLE BIOSENSORS

<https://youtu.be/kRP4i-WZGSU>



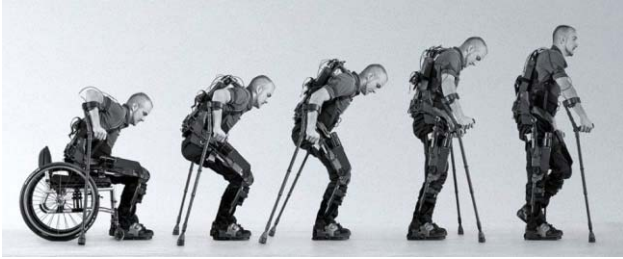
MEDICINA NUCLEAR PET-TAC

<https://youtu.be/2a8wFY3TZo8>



NATURE › NATURE BIOMEDICAL ENGINEERING › COLLECTIONS

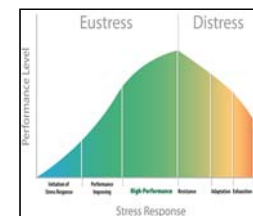
<https://www.nature.com/natbiomedeng/collections>



Automática



Inteligencia Computacional



La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente



Análisis y desarrollo de un sistema basado en Control Inteligente, para un cicloergómetro de rehabilitación cardiovascular

Eloy Irigoyen Gordo
GICI
DISA – EIB
UPV/EHU

Bilbao-Madrid, 17 de noviembre de 2020

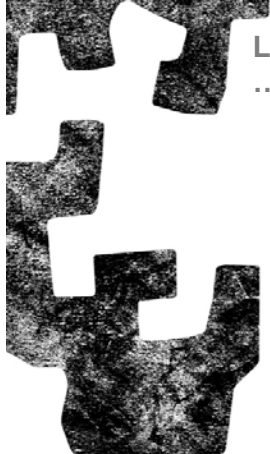


Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

NAZIOARTEKO
BIKAITASUN
CAMPUSA
CAMPUS DE
EXCELENCIA
INTERNACIONAL

La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente



D. Gorka Miñano Durántez

**Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
E.I.B.
UPV/EHU**



**Investigador colaborador
del GICI desde 2010**

Contexto



Problemas Cardiacos:

- Necesidad de un ejercicio cardiovascular controlado.

Cicloergómetro:

- Entrenamiento.

Control:

- Computación Inteligente.



Patologías con afección cardíaca



Muy comunes en la sociedad actual.

**Necesidad de ejercicio
cardiovascular:**

– Prevenir y resolver.

**Necesidad de entrenamiento
personal avanzado y seguro.**



Cicloergómetro

- **Bicicleta entrenamiento.**
- **Sensor de pulso.**
- **Sistema de control avanzado.**





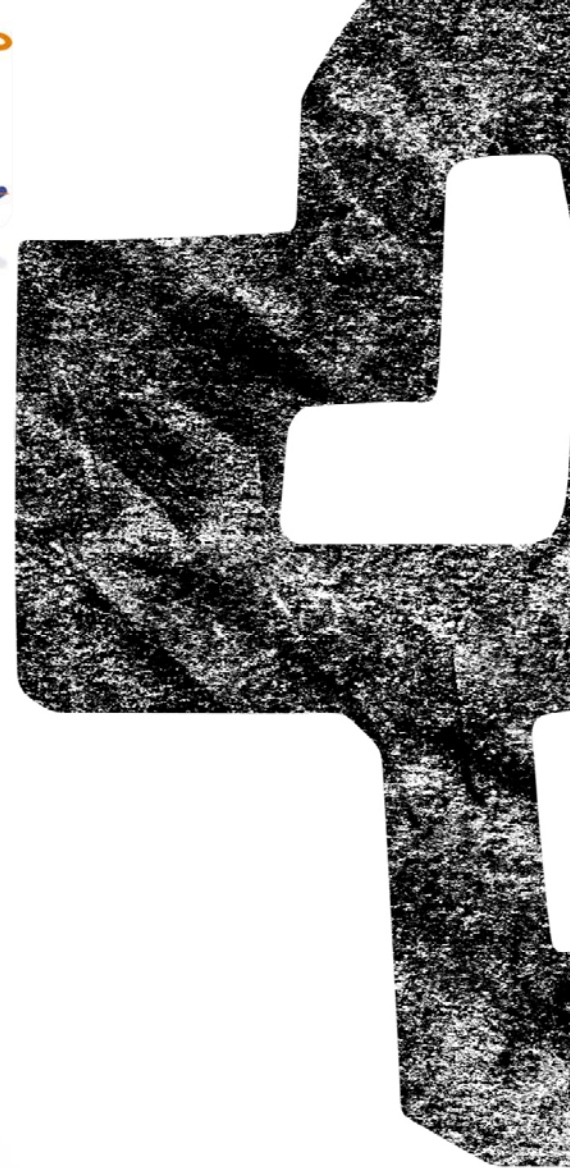
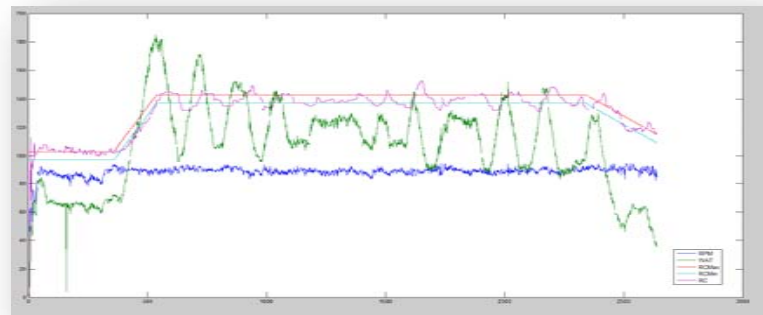
Entrenamientos terapéuticos

**Orientados al esfuerzo
cardiovascular.**

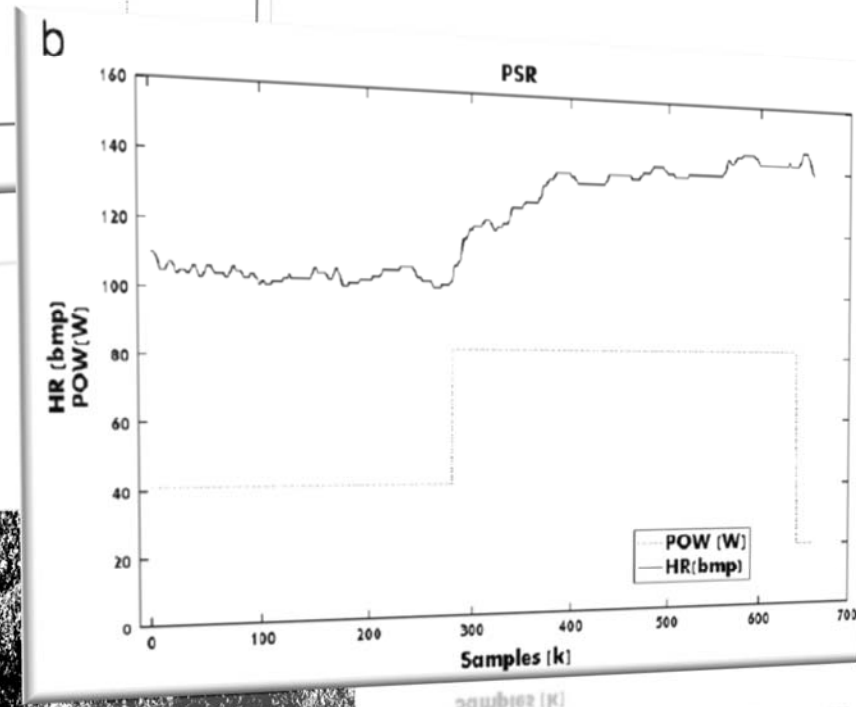
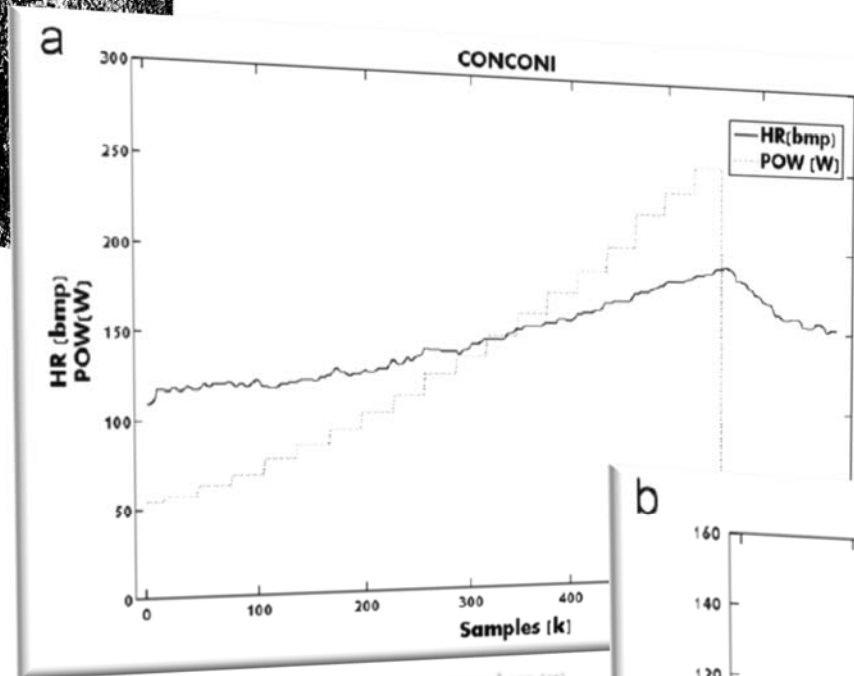
**Necesidad de entrenamientos
personalizados.**

Mantener límites de seguridad.

Alcanzar objetivos de esfuerzo.



Tipos de entrenamiento

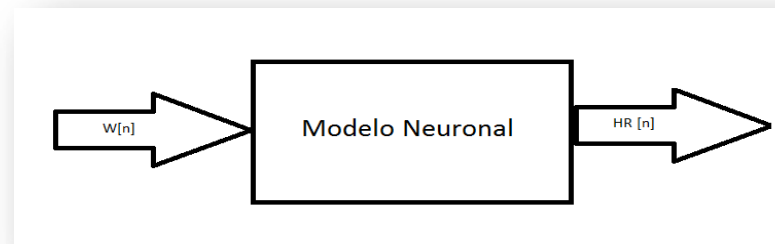
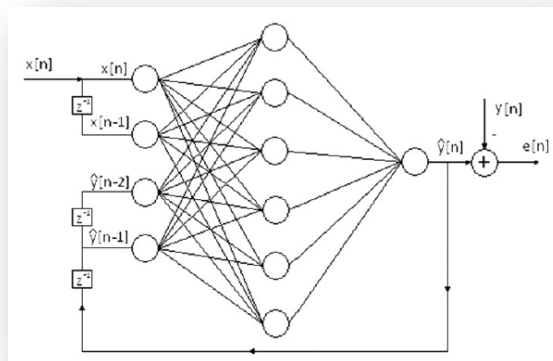




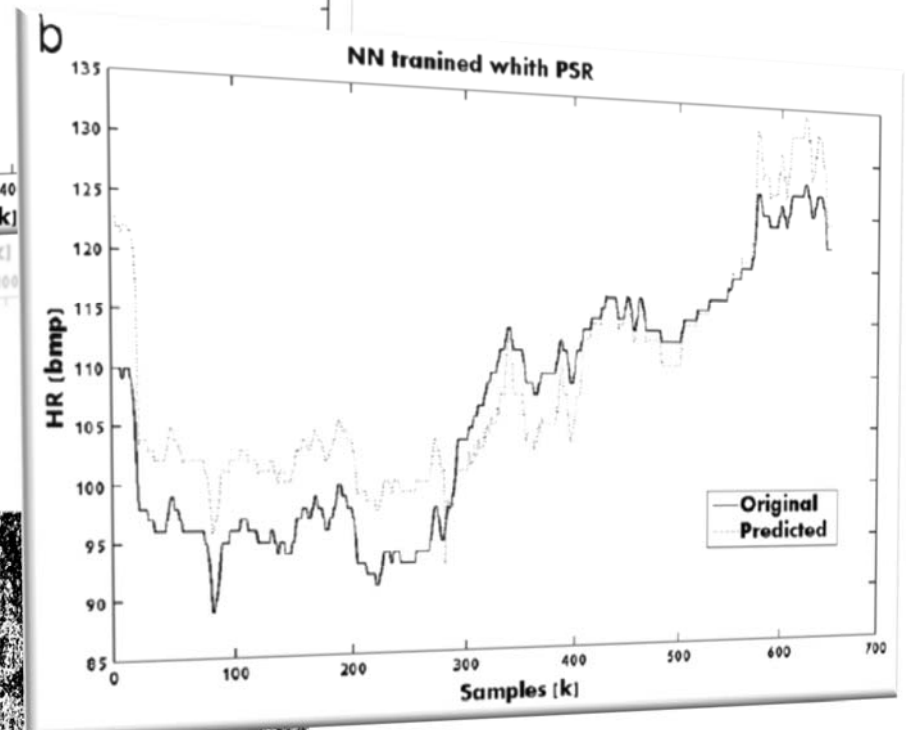
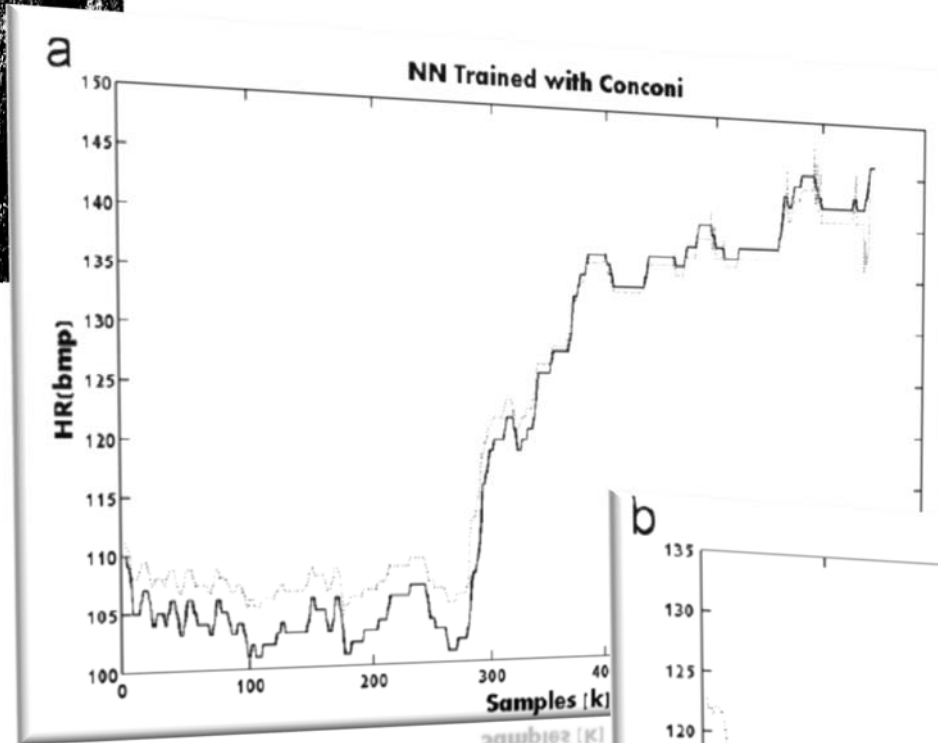
NARX Neural Network

Tradicionalmente el control es directo por un médico o mediante el uso de sistemas de control basados en niveles.

Modelo de la relación:
RESISTENCIA QUE PRESENTA LA MÁQUINA
Y
RITMO CARDÍACO



Resultados



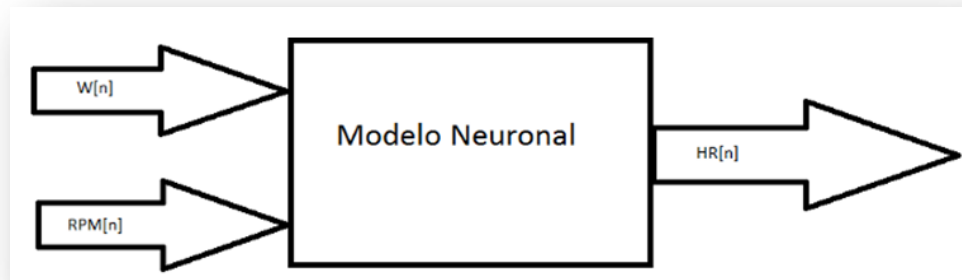
NN topology	PSR MSE	PSR variance	Conconi MSE	Conconi variance
4-5-1	4,3512	6,5838	1,4304	2,1649
5-4-1	6,5506	9,6915	1,7553	2,4523
6-7-1	3,2634	6,2832	1,0974	3,9769
7-7-1	0,3254	5,1202	0,1171	3,0216
8-7-1	1,3991	6,3993	0,3041	2,2707



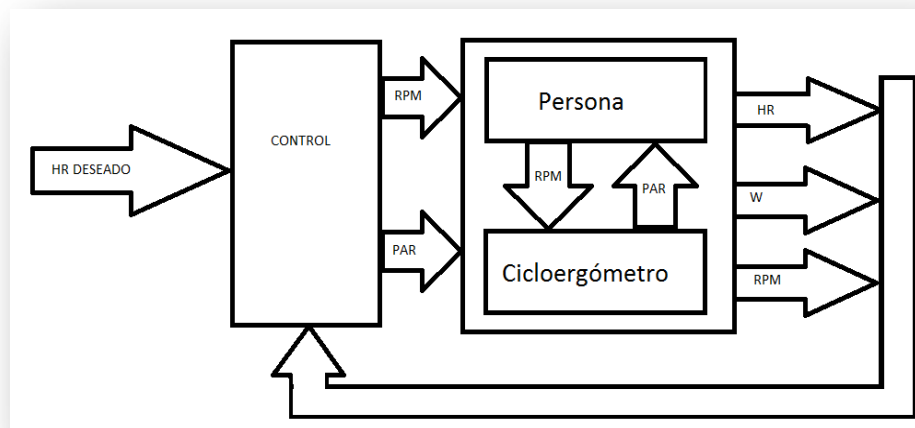


Futuros desarrollos

- Ampliar el estudio del modelo neuronal.



- Diseñar el sistema de control.



Contribuciones



-G. Miñano and E. Irigoyen, “Computational Intelligence Techniques Application to Enhance Controlled Training for People with Cardiovascular Problems,” in Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications, 6th International Conference SOCO 2011, vol. 87, Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 611–619.

- E. Irigoyen and G. Miñano, “A NARX neural network model for enhancing cardiovascular rehabilitation therapies,” Neurocomputing, vol. 109, pp. 9 – 15, 2013.



La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente



Neuro-fuzzy Modeling of Multi-Field Surface Neuroprostheses for Hand Grasp

Eloy Irigoyen Gordo
GICI
DISA – EIB
UPV/EHU

Bilbao-Madrid, 17 de noviembre de 2020



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

NAZIOARTEKO
BIKAINASUN
CAMPUSA
CAMPUS DE
EXCELENCIA
INTERNACIONAL

La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente



Dra. Eukene Imatz Ojanguren

Tecnalia
División de salud



**Investigadora colaboradora
del GICI desde 2013**



Contexto

Problemas Movilidad/Autonomía:

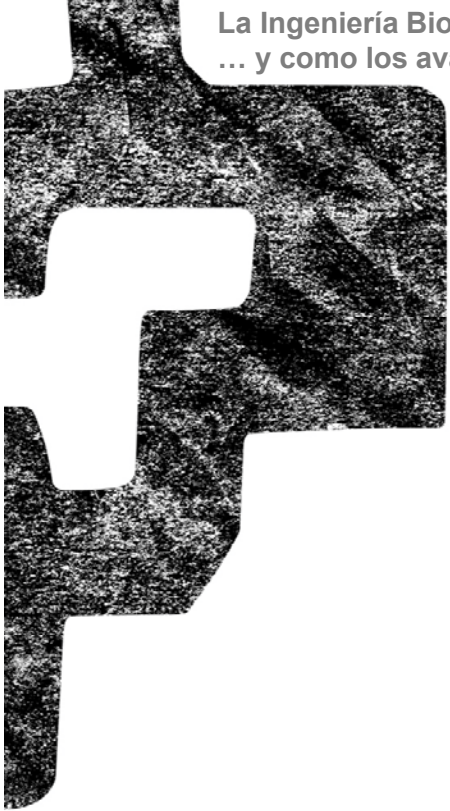
- ❑ Realización de tareas diarias cotidianas.

Neuroprótesis-FES:

- ❑ Prótesis para el sistema nervioso.

Control Inteligente:

- ❑ Uso de técnicas de I.C. para modelar movimientos de la mano provocados por una neuroprótesis.



Pérdida de funciones motrices de personas con trastornos neurológicos



El Accidente Cerebro Vascular es la mayor causa de incapacidad del mundo.

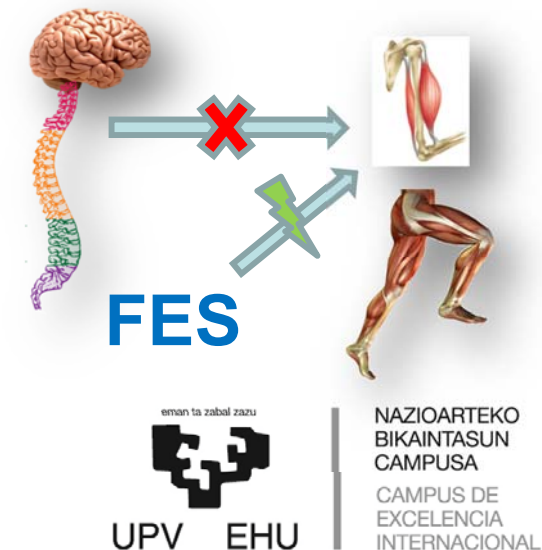
Necesidad de probar y validar nuevas tecnologías: Miembro superior.

Modelos necesarios para desarrollar algoritmos de control de agarre.



Neuroprótesis

- El objetivo de las neuroprótesis es el de restablecer funciones motrices.
- Neuroprótesis de miembros.
- Estimulación Eléctrica Funcional - FES



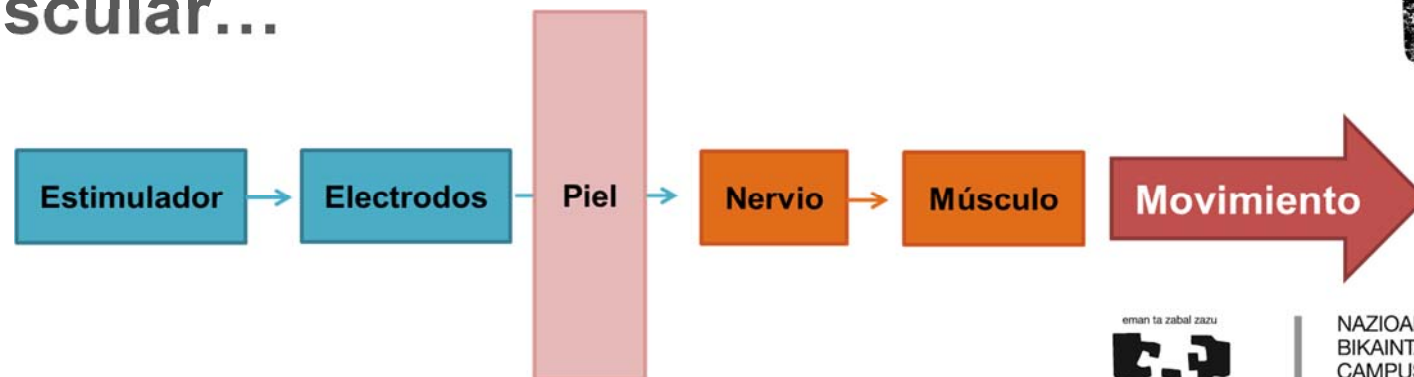


FES

Tecnología asistiva, para sustituir funciones motrices perdidas (ictus, EM, lesionados medulares,...)

Neurorehabilitación de tareas como alcance, agarre, marcha,...

Tratamiento de dolor, fortalecimiento de músculo, mejora de circulación, aumento de masa muscular...



La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente



<https://www.youtube.com/watch?v=ihHpUHyl760>



<https://www.youtube.com/watch?v=YeJiq0bfpbs>



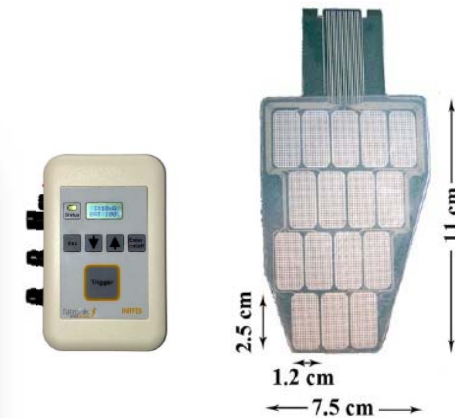
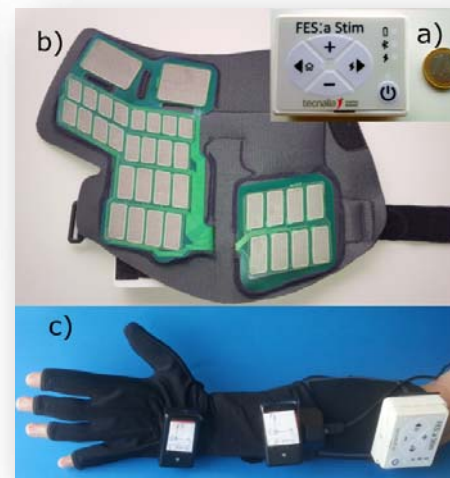
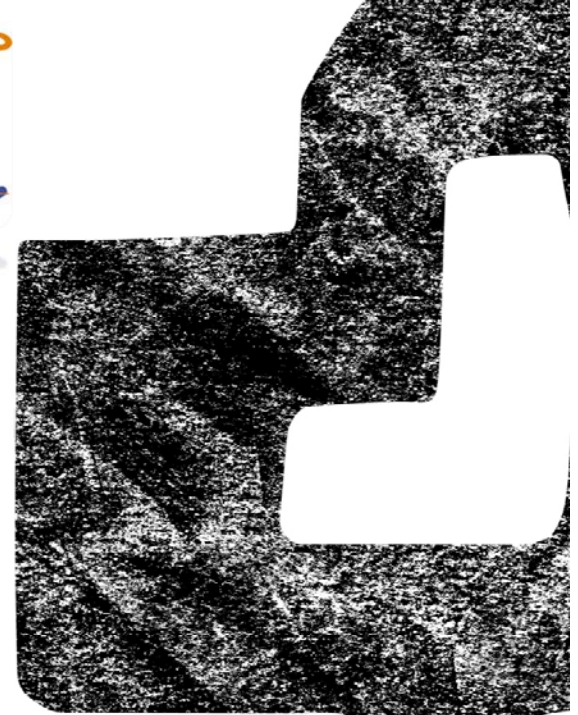


Estimulación superficial no invasiva

Electrodos multi-campo.

Estudio de incomodidad (dolor).

Modelización neuroprótesis de
miembro superior.



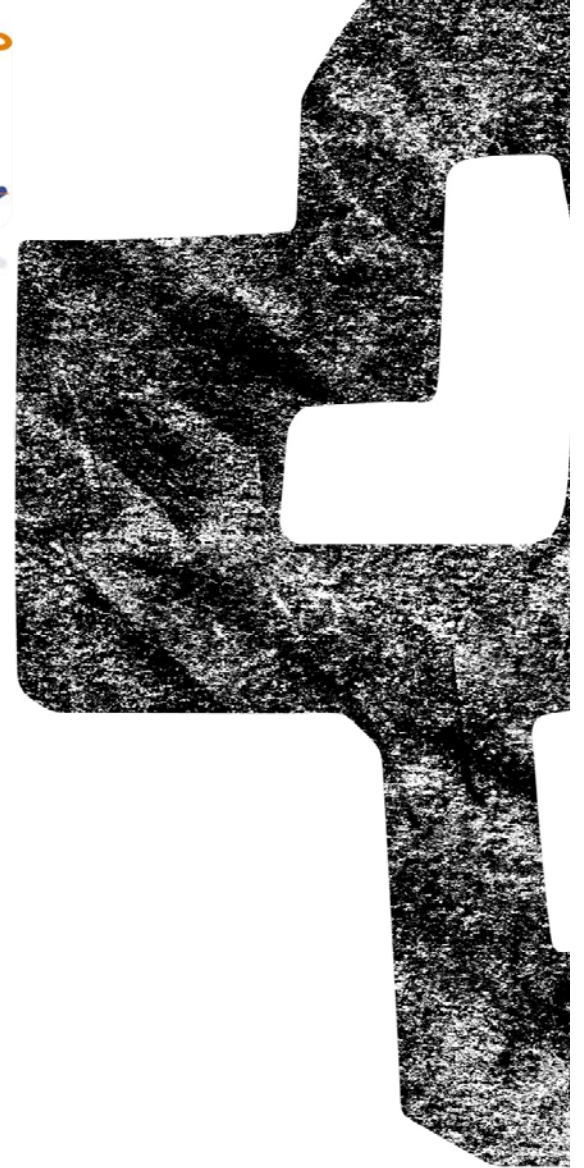
ETAPA I: Incomodidad



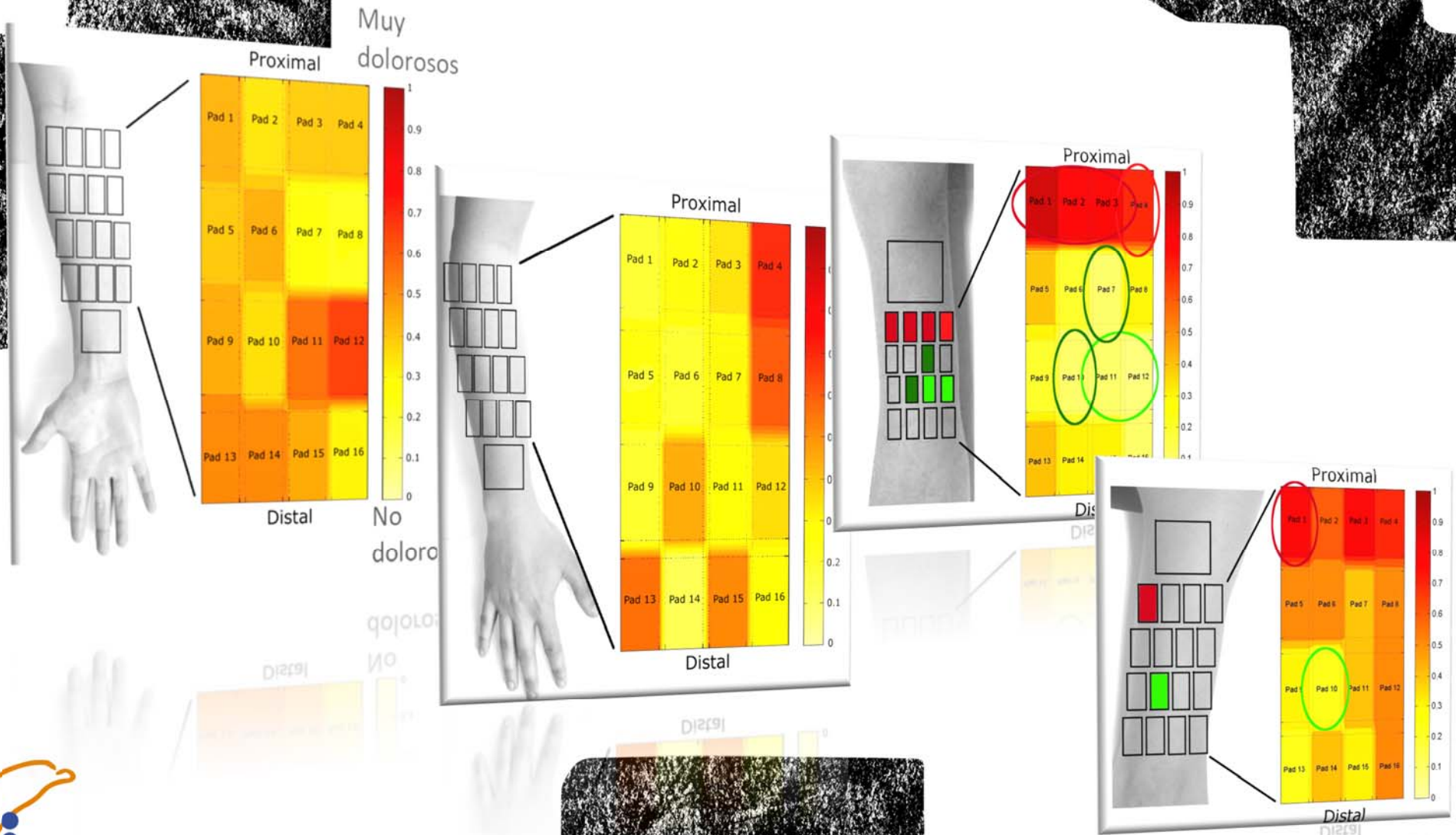
La sensación es importante en FES superficial.

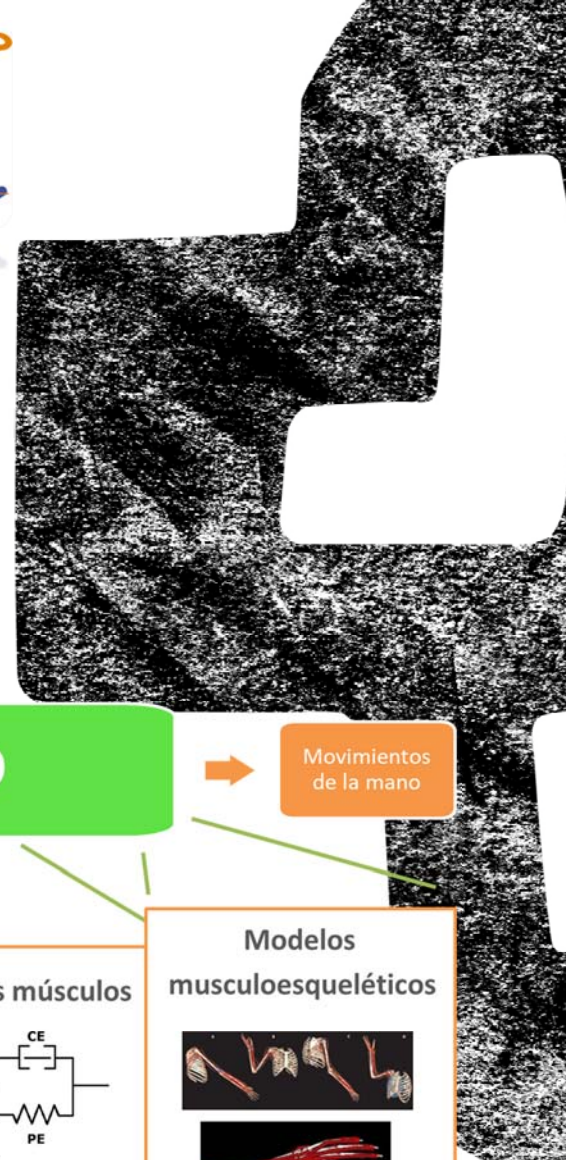
Los electrodos multi-campo brindan nuevas posibilidades de estimulación.

Objetivo → Conseguir o superar la fuerza de referencia sin dolor.



Mapas de dolor

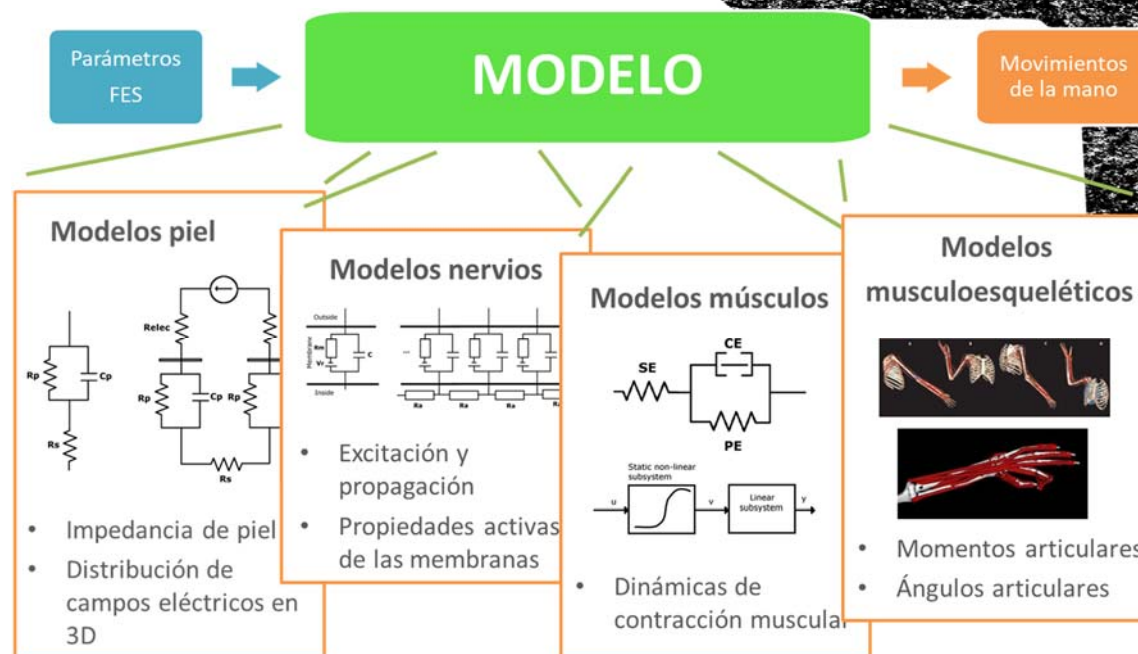




ETAPA II: Modelización

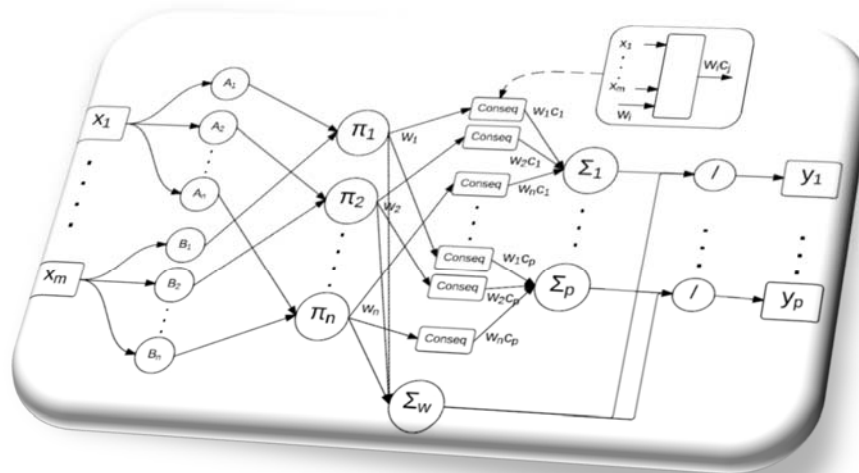
Modelo:

- Gran número de GDL.
- Neuroanatomía compleja.
- Variabilidad entre sujetos.
- Tareas no cíclicas.
- No lineal.
- Sistema dinámico.

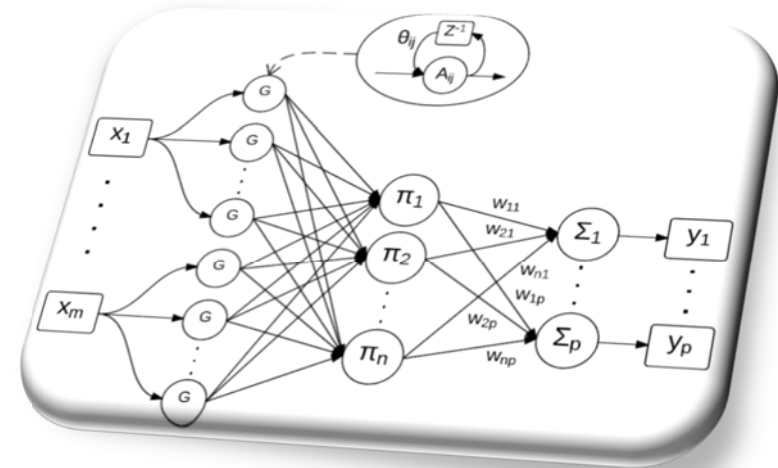


Sistemas Neuro-difusos

Combina ventajas: interpretabilidad
lingüística y capacidad de aprender
de la experiencia.



CANFIS



RFNN



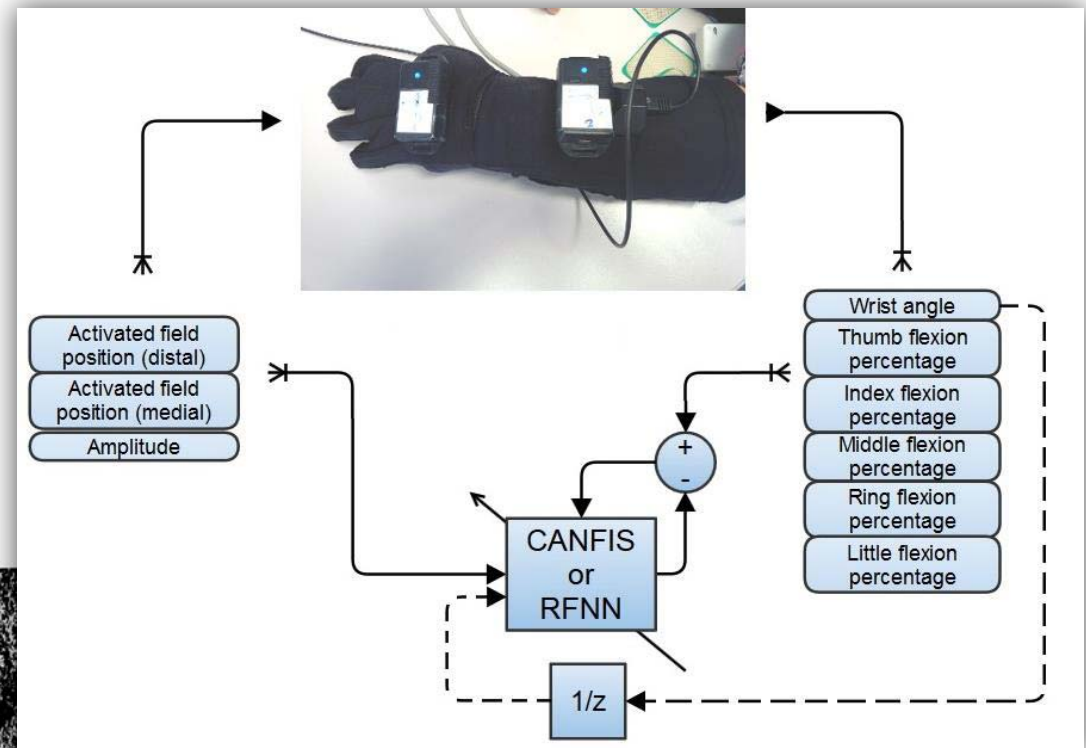
Metodología de trabajo

Matlab/Simulink

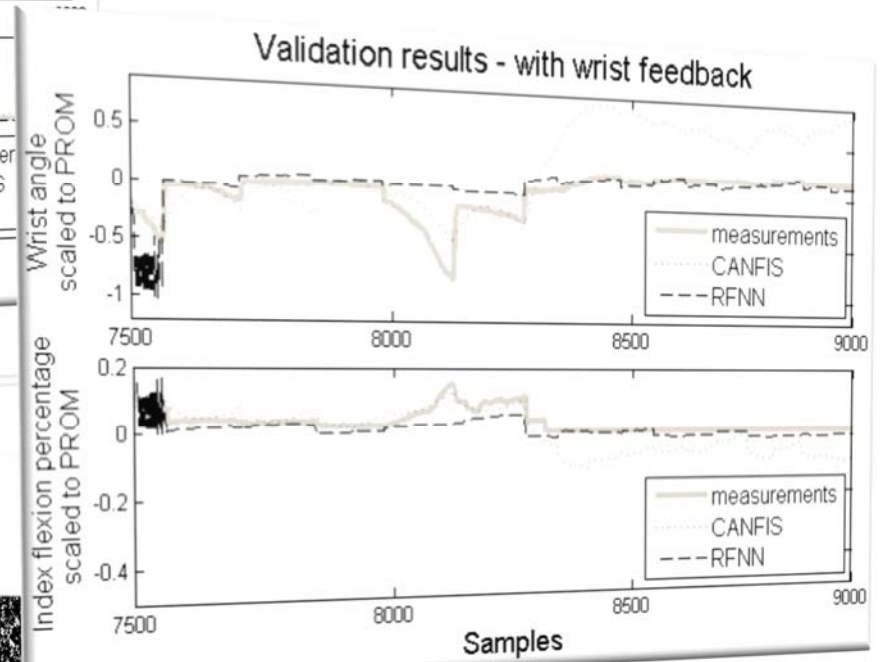
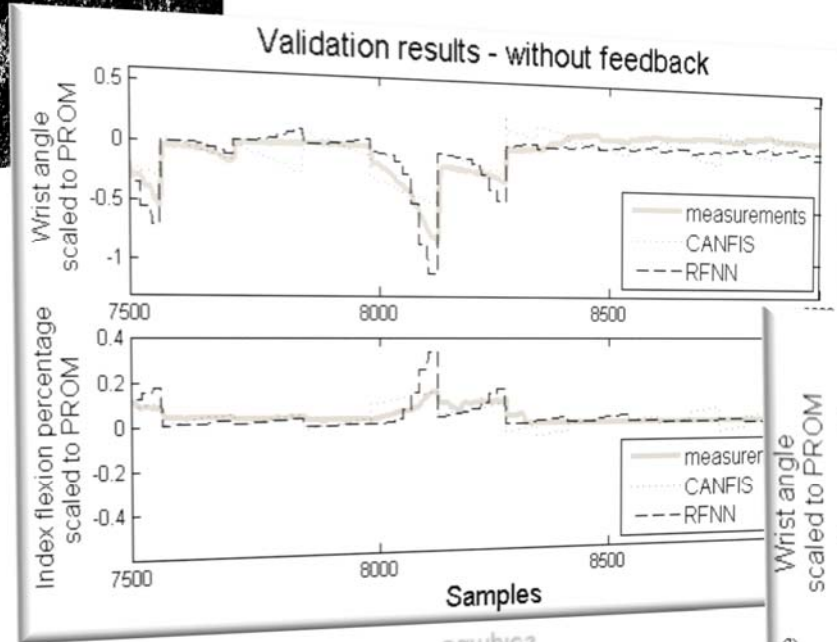
Descenso de gradiente (BP).

80% entrenamiento
/ 20% validación

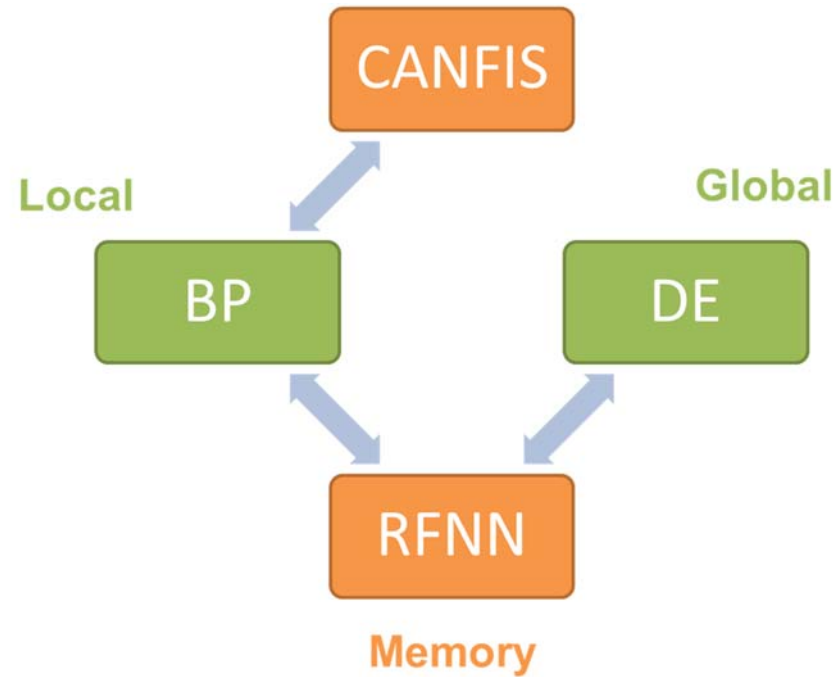
Funciones de membresía
Gaussianas



Modelo estático



Modelo dinámico

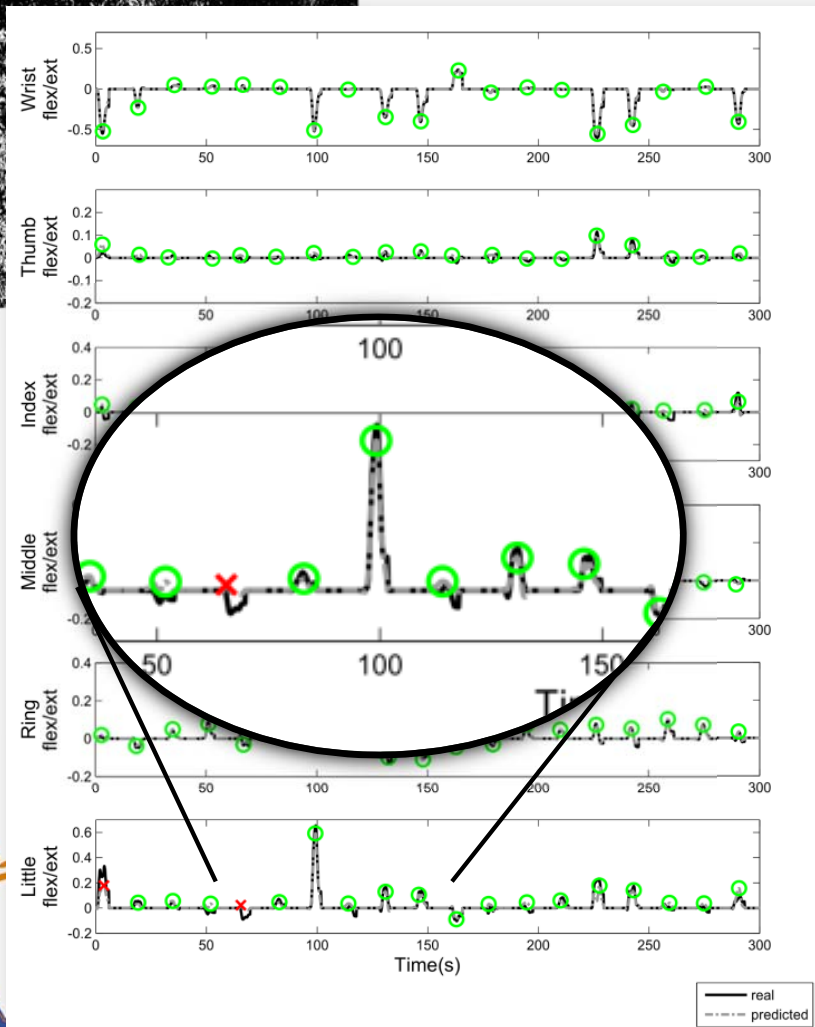


Buscar la mejor estructura para modelar los movimientos de la mano inducidos por una neuroprótesis en sanos y pacientes de ACV.

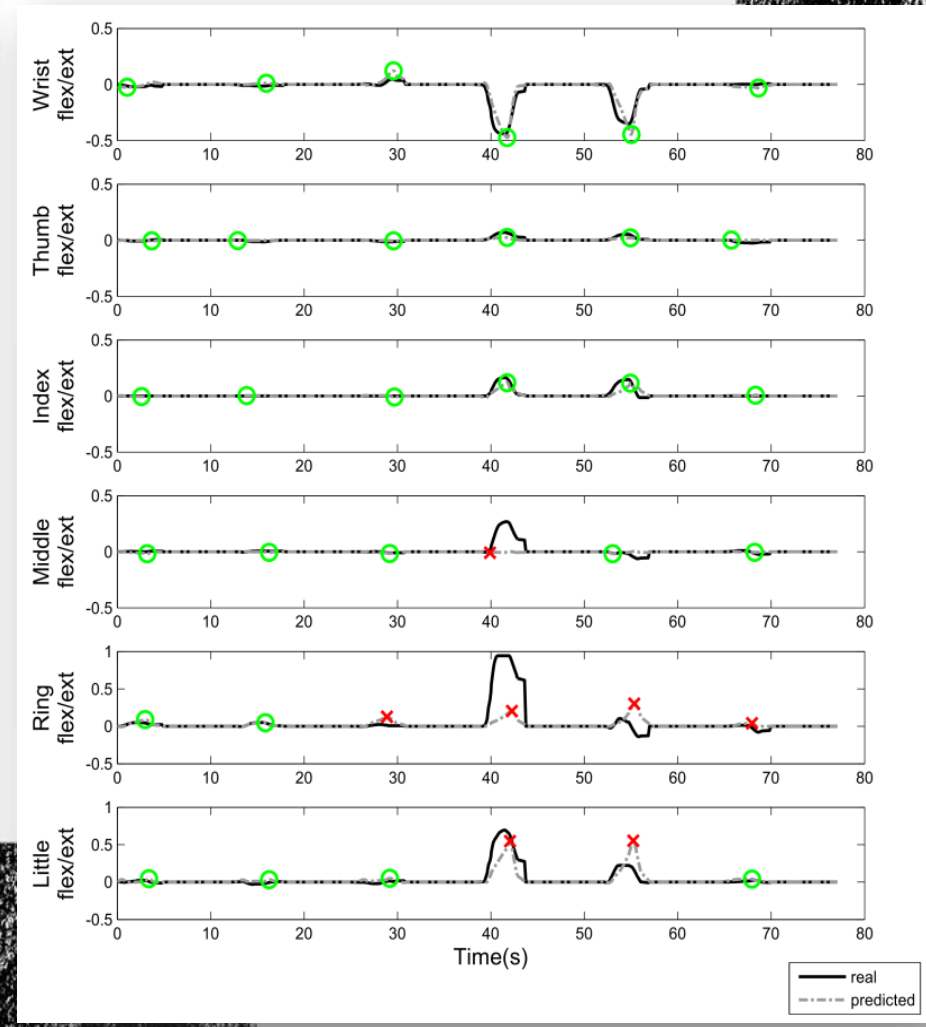


Resultados BP

Entrenamiento

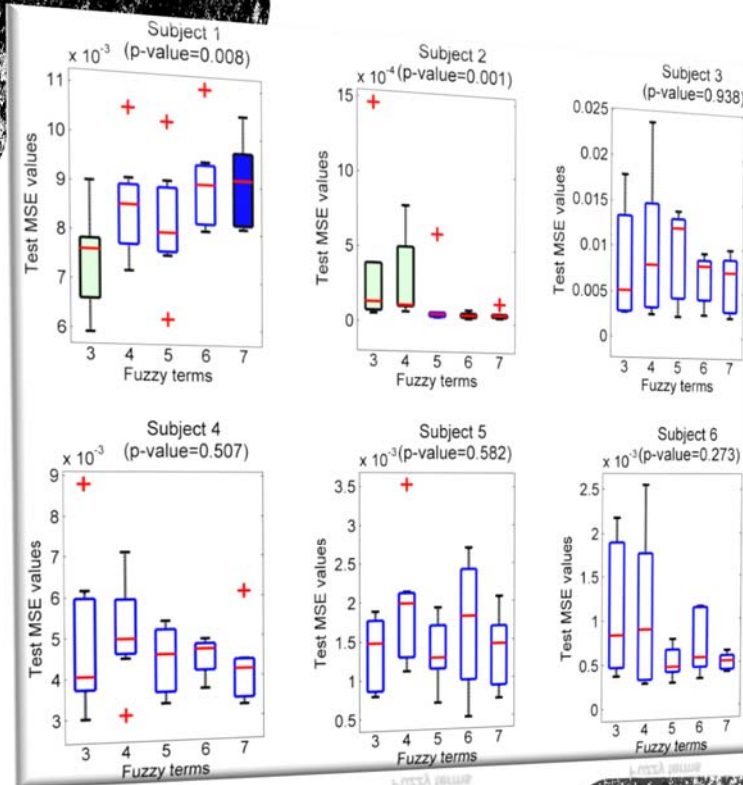


Validación

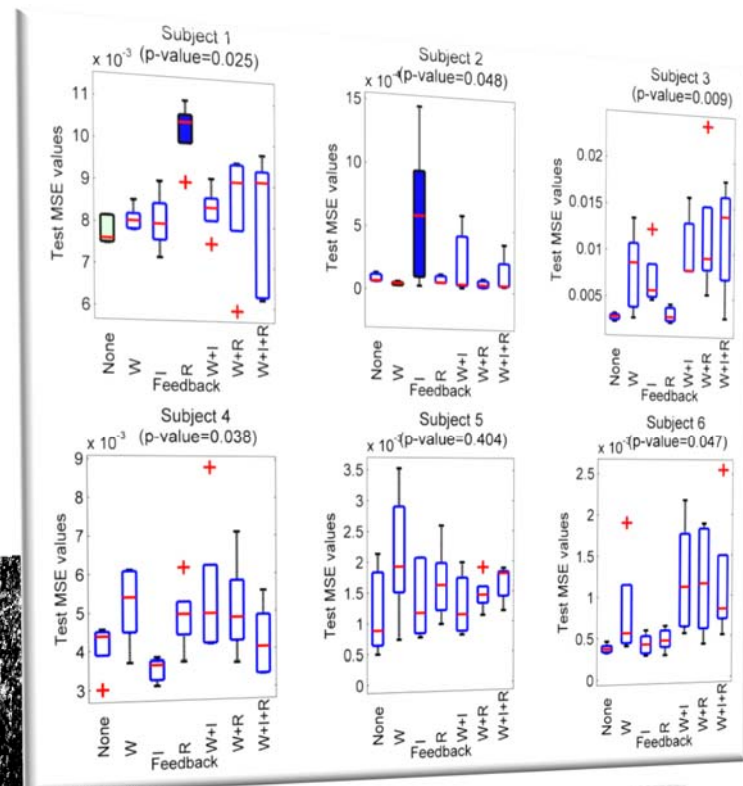


Resultados BP

Efecto del nº de términos difusos

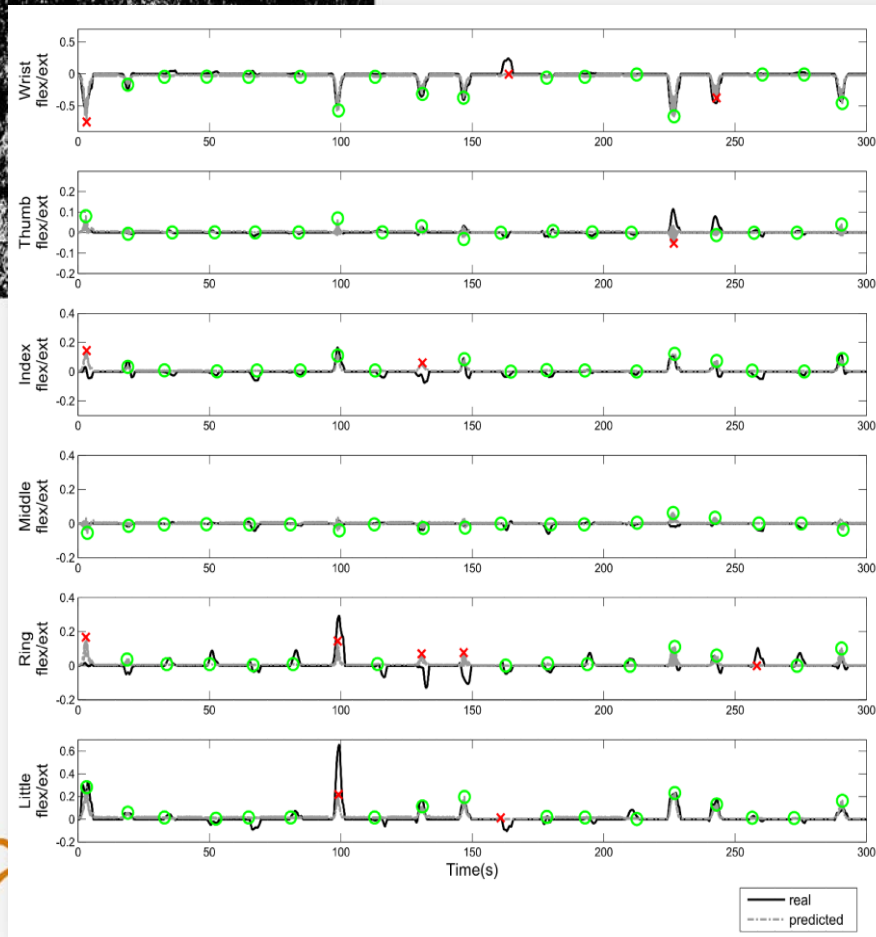


Efecto del tipo de realimentación

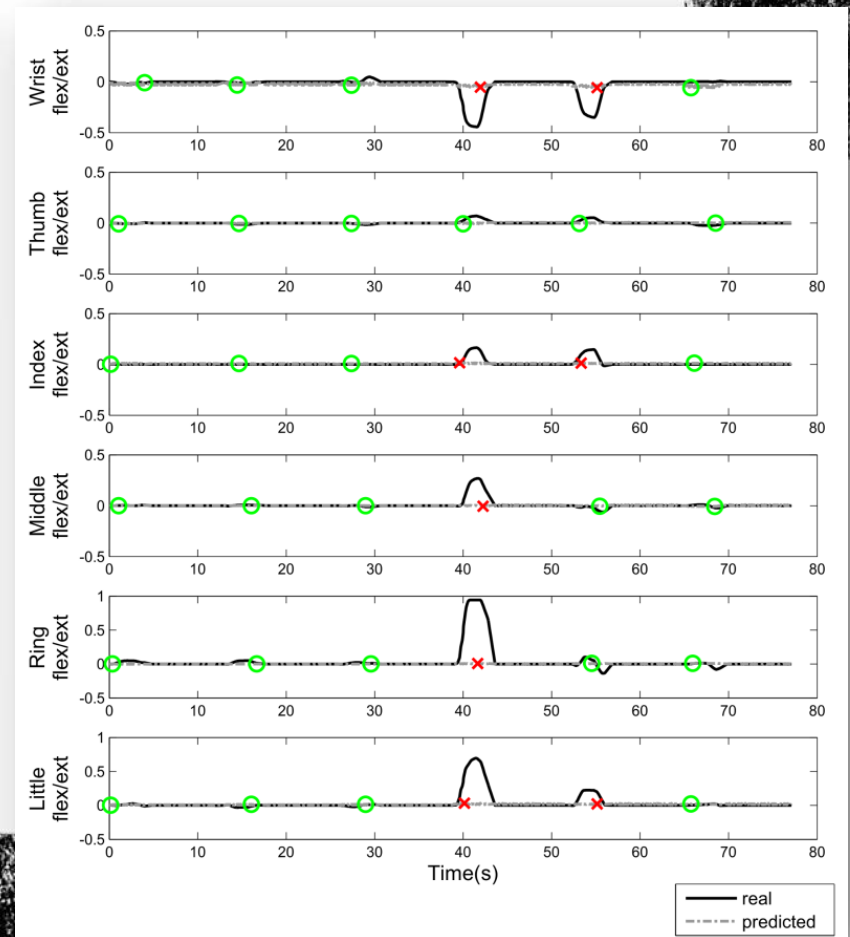


Resultados DE

Entrenamiento

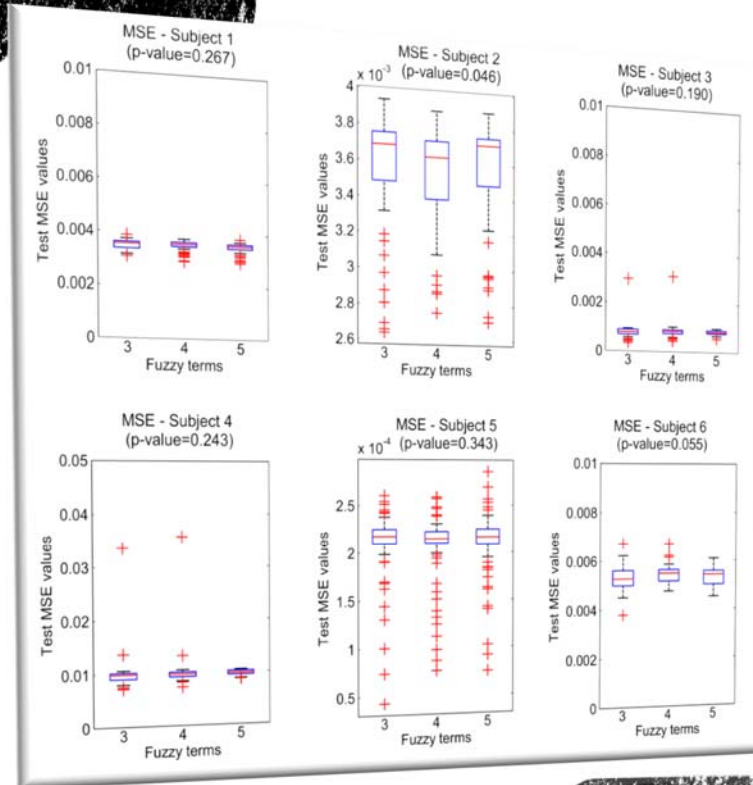


Validación

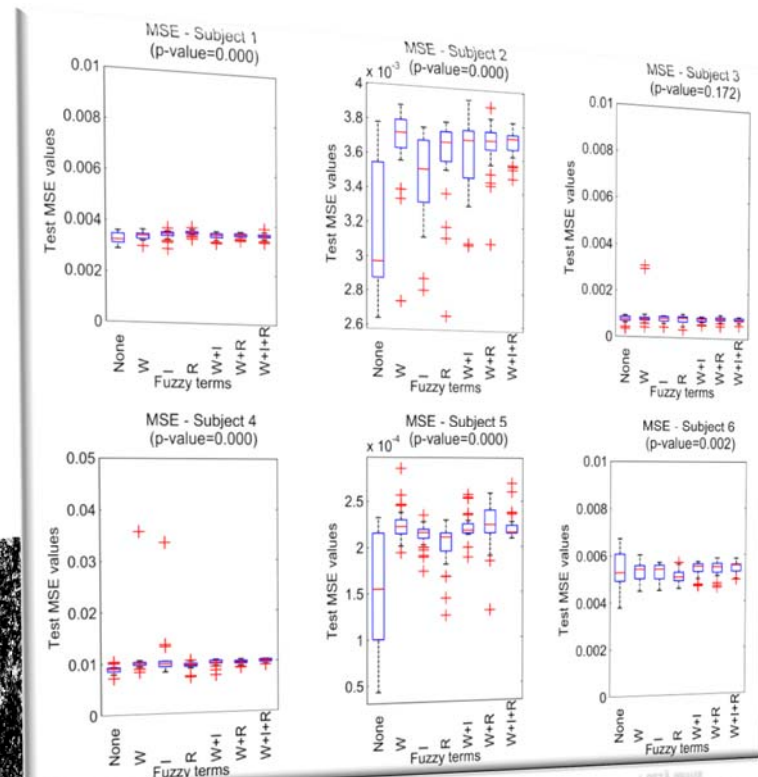


Resultados DE

Efecto del nº de términos difusos



Efecto del tipo de realimentación





Conclusiones

- Se analizó la incomodidad causada por las neuroprótesis de miembro superior con electrodos multi-campo superficiales.
- Se estudió y sustentó el uso de técnicas de Inteligencia Computacional para modelar movimientos de la mano generados por una neuroprótesis de miembro superior.



Contribuciones



- Reinforcement learning for hand grasp with surface multi-field neuroprostheses, Imatz-Ojanguren, E., Irigoyen, E., Keller, T., Advances in Intelligent Systems and Computing, 527, pp. 313-322, 2017.
- Neuro-fuzzy models for hand movements induced by functional electrical stimulation in able-bodied and hemiplegic subjects, Imatz-Ojanguren, E., Irigoyen, E., Valencia-Blanco, D., Keller, T., Medical Engineering and Physics, 38(11), pp. 1214-1222, 2016.
- Feasibility of using neuro-fuzzy subject-specific models for Functional Electrical Stimulation induced hand movements, Imatz, E., Irigoyen, E., Valencia, D., Keller, T., IFAC-PapersOnLine, 28(20), pp. 321-326, 2015.
- Transcutaneous FES-induced pain maps on post-stroke upper limb: Preliminary study Imatz, E., Keller, T., Cuesta, A., Iglesias, J., Carratala, M., IFESS 2014 - Conference Proceedings, 2014.



La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente



UNED

Identificación de estados de estrés y relajación mediante soluciones HW de bajo coste

Eloy Irigoyen Gordo
GICI
DISA – EIB
UPV/EHU

Bilbao-Madrid, 17 de noviembre de 2020



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

NAZIOARTEKO
BIKAITASUN
CAMPUSA
CAMPUS DE
EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Dra. Raquel Martínez Rodríguez

**Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
E.I.B. UPV/EHU**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y
CLASIFICACIÓN DE CAMBIOS EMOCIONALES
BASADO EN EL ANÁLISIS DE SEÑALES
FISIOLÓGICAS NO INTRUSIVAS**



**Investigadora
del GICI desde 2009**

La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente



Dr. Asier Salazar

**Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
E.I.B. UPV/EHU**

**CONTRIBUTIONS TO PHYSIOLOGICAL
COMPUTING BY MEANS OF
AUTOMATIC LEARNING**



**Investigador
del GICl desde 2013**

La Ingeniería Biomédica,
... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente



D. Unai Zalabarría Peña

Dialoga Group



**IDENTIFICATION OF THE STRESS AND RELAXATION
LEVEL IN PEOPLE, BASED ON THE STUDY AND THE
ADVANCED PROCESSING OF PHYSIOLOGICAL
SIGNALS RELATED TO THE ACTIVITY OF THE
AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM**



**Investigador colaborador
del GICI desde 2015**



Contexto

Alteración del sistema nervioso:

- ❑ Consecuencias derivadas del estrés.

Señales fisiológicas:

- ❑ Análisis no intrusivo.

Control Inteligente:

- ❑ Uso de técnicas de I.C. para analizar, modelar e identificar estados de estrés y relajación.



Atención a personas dependientes, con capacidades reducidas y de la tercera edad



La asistencia a personas es crucial en ciertos colectivos y precisa avances.

Objetivo: Mejorar la calidad de vida de las personas.

Sistemas de apoyo a médicos, tutores, familiares y responsables.



Soluciones portables

- Dispositivos “vestibles”, robustos, seguros y de bajo coste.
- Algoritmos de identificación de estados de estrés/relajación en RT.
- Señales no intrusivas:
 - » ECG – RESP – EDA (GSR)

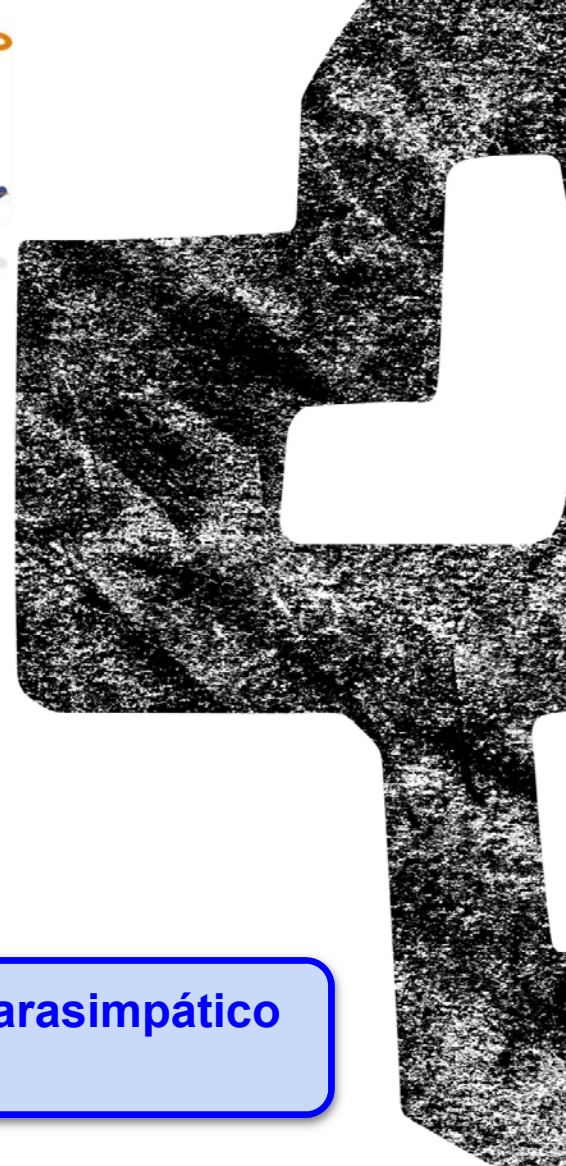
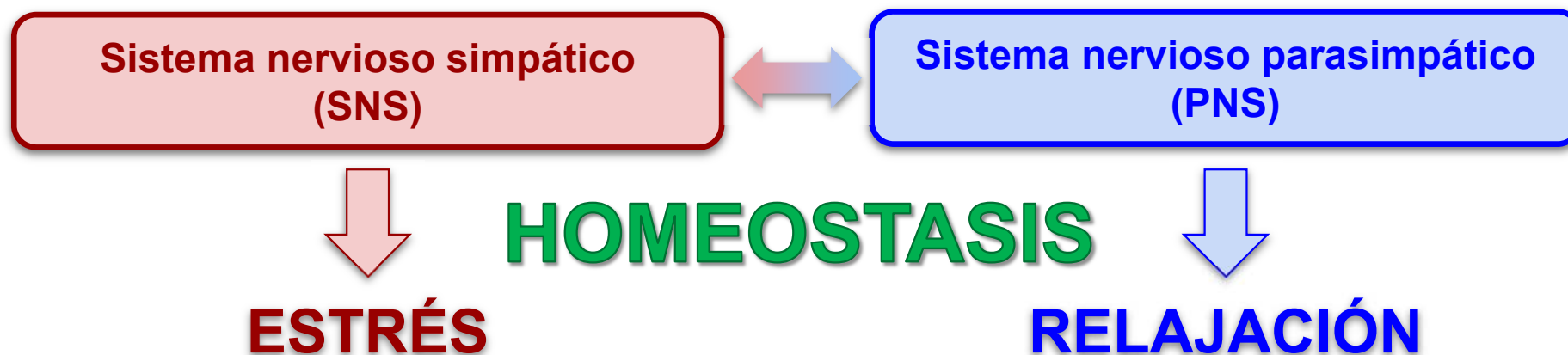


SNA – Estrés y relajación



Actúa de forma inconsciente y regula funciones corporales como el período cardíaco, frecuencia respiratoria, sudor, digestión, respuesta pupilar, micción y excitación sexual.

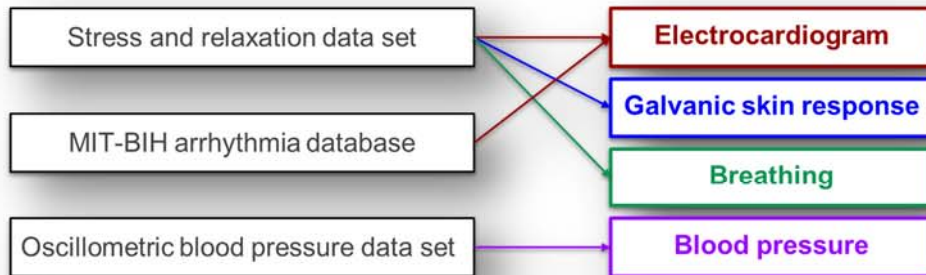
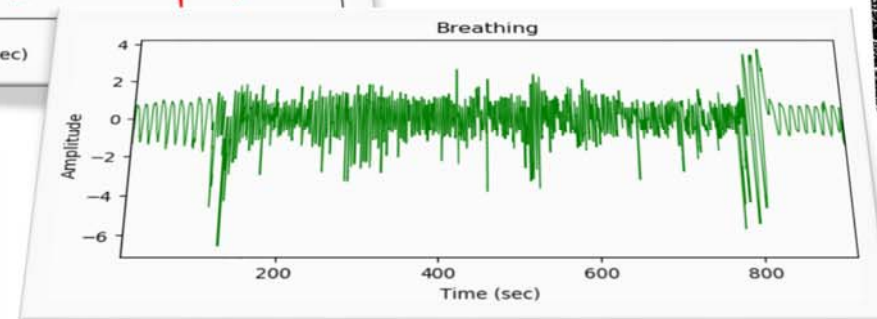
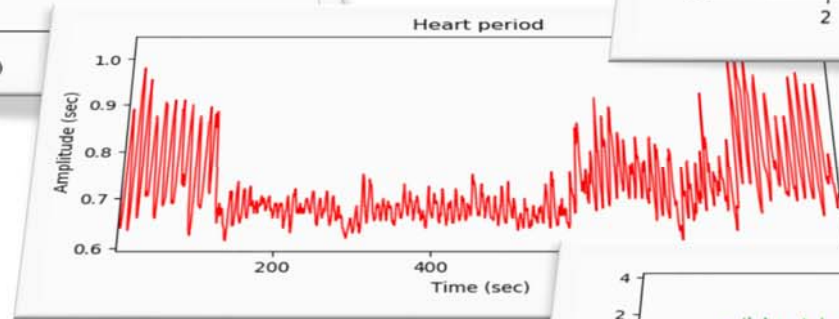
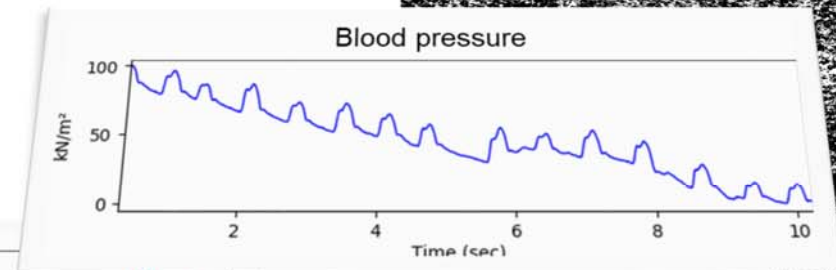
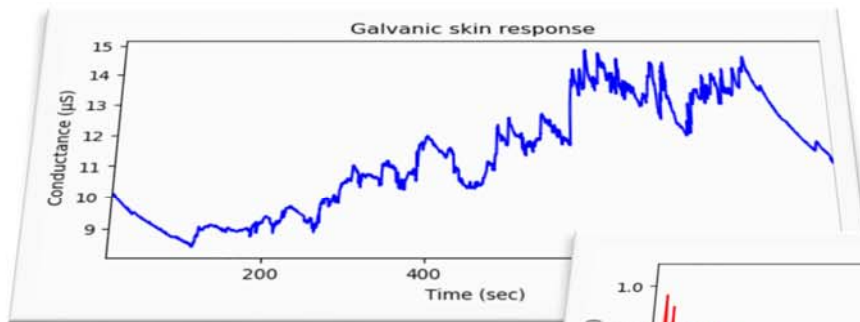
El papel del SNA es ajustar constantemente el funcionamiento de los órganos y sus sistemas, de acuerdo con estímulos internos y externos.



Señales fisiológicas



Presentan variaciones como respuesta a la variación en la actividad personal.

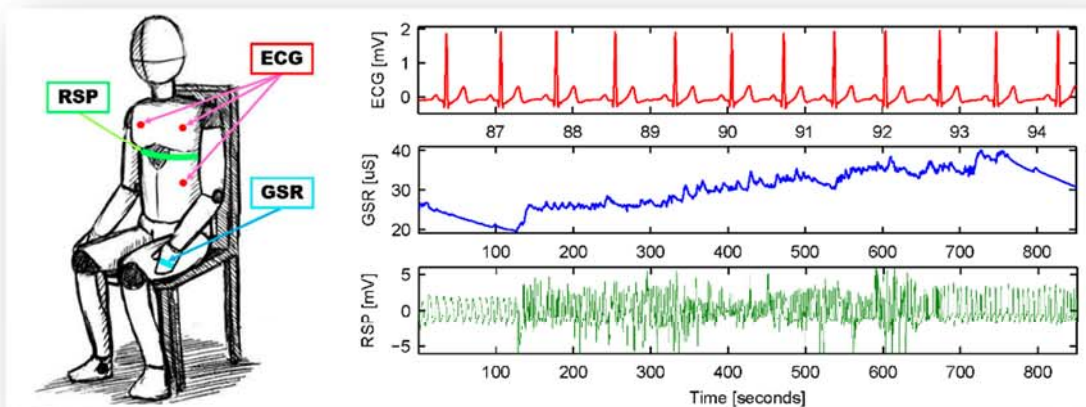


Experimentos



Diseño de experimentos para estudiar el reflejo del estrés/relajación y diversas emociones en señales fisiológicas.

Aprobación de la Comisión de Ética en la Investigación y Docencia de la UPV/EHU: CEID-CEISH.



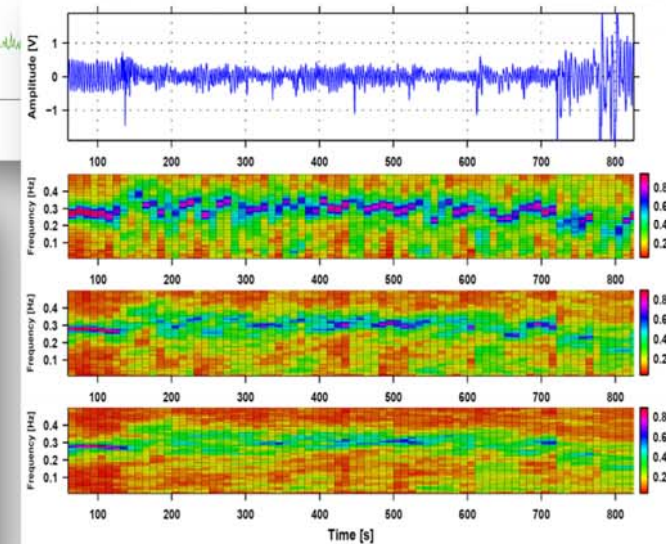
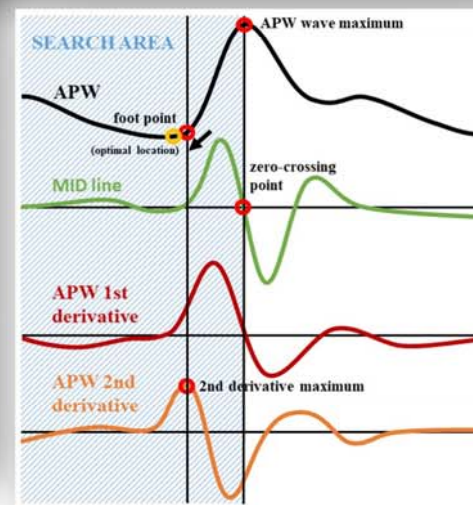
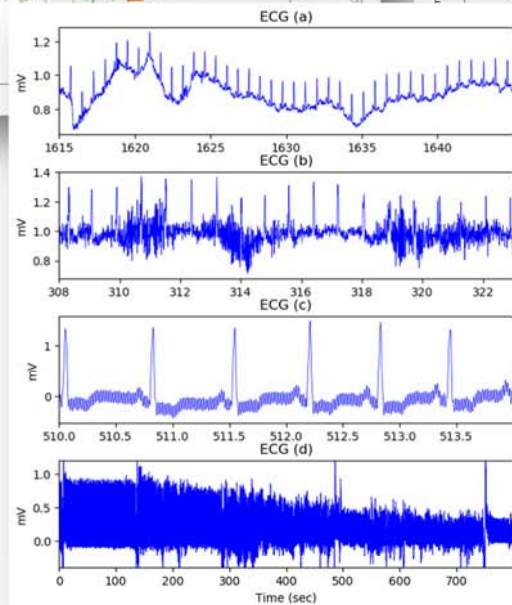
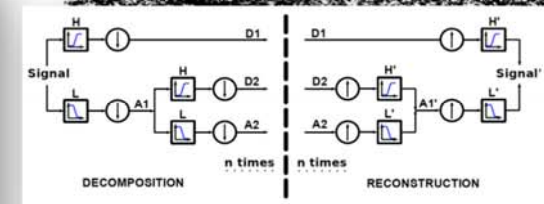
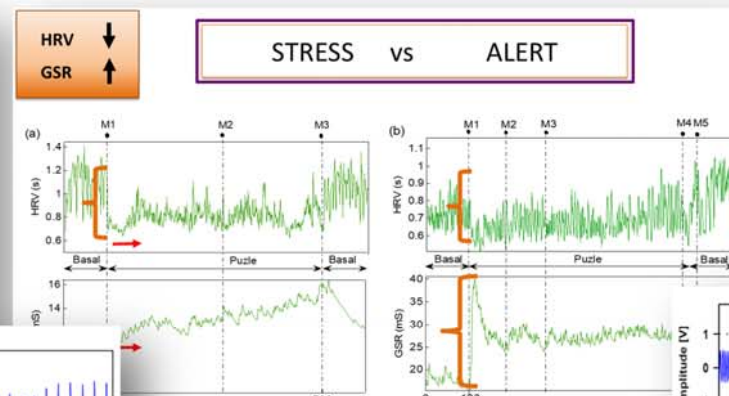
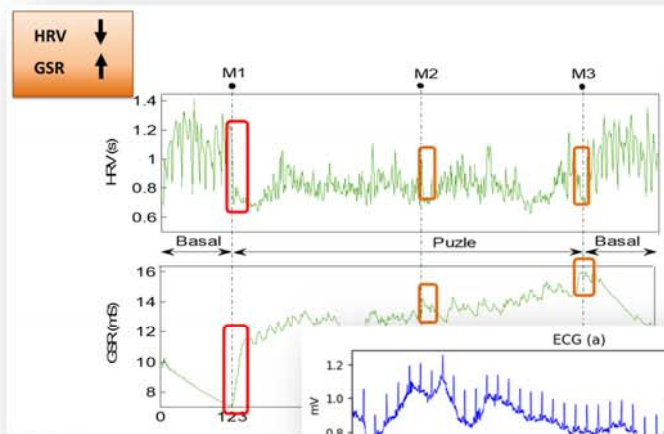
Registros de 15 minutos.





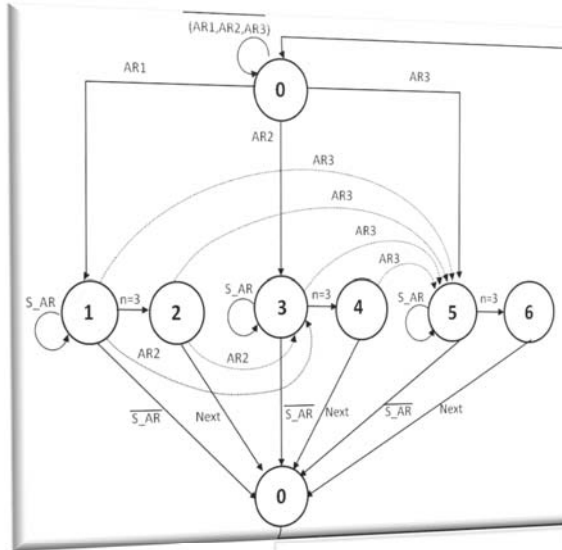
Análisis de señales

Análisis cualitativo/cuantitativo de actividad simpática y parasimpática.

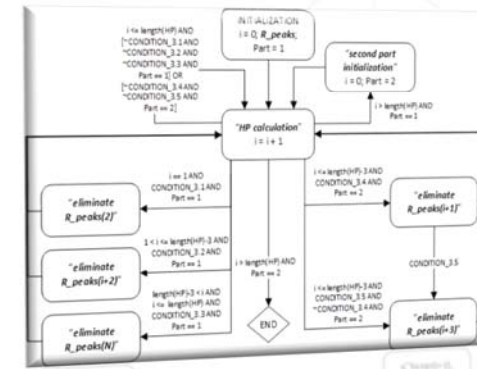
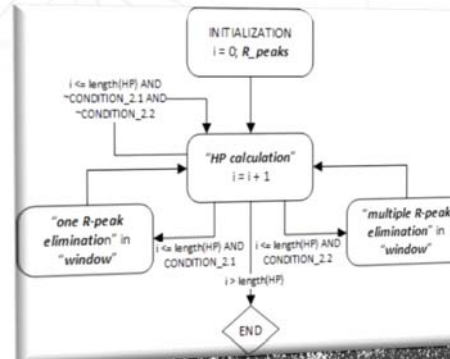
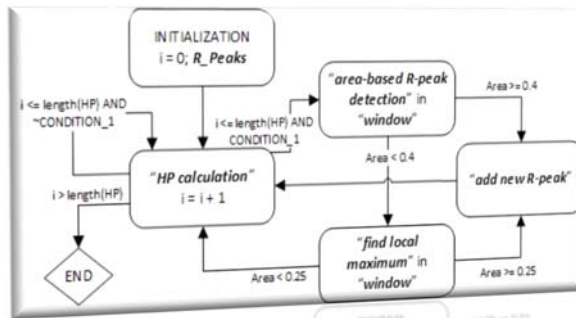
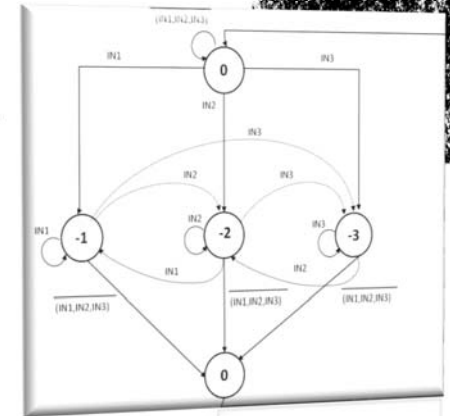


Máquinas de estado

0= ESTADO NULO
1=Alerta Baja,
2=Estrés Bajo,
3= Alerta Media,
4=Estrés Medio,
5=Alerta Alta y
6=Estrés Alto,



0= ESTADO NULO
-1 = Inhibición Baja,
-2 = Inhibición Media,
-3 = Inhibición Alta



Lógica Difusa / Redes Neuronales

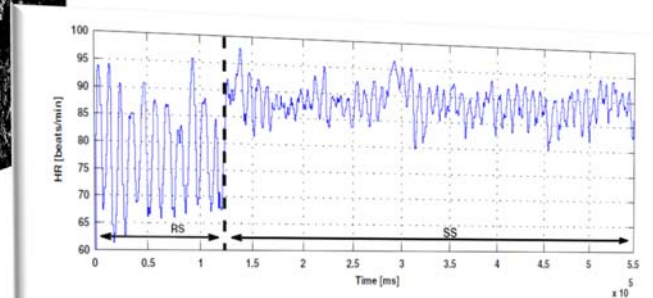


Fig. 12. A HR signal with high pace variability.

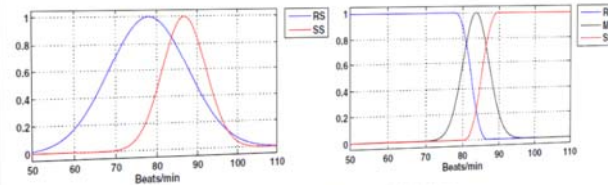
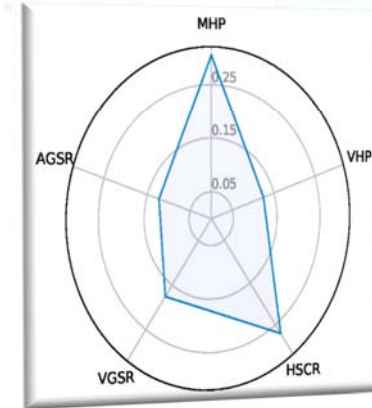
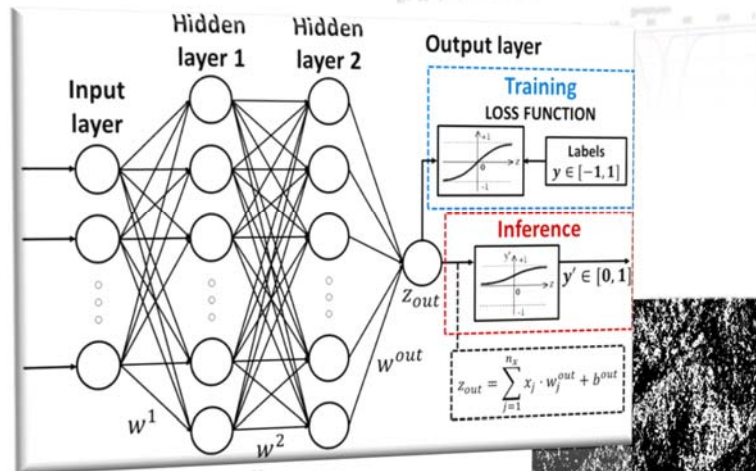
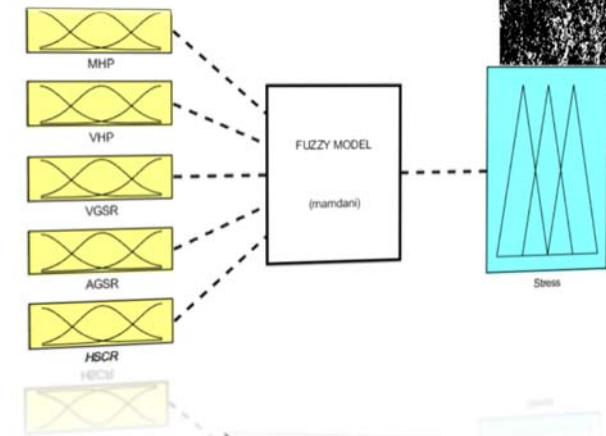
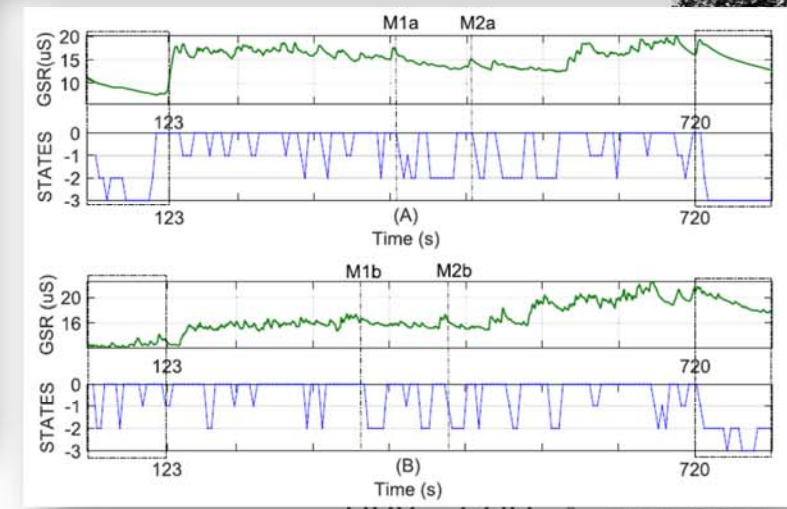
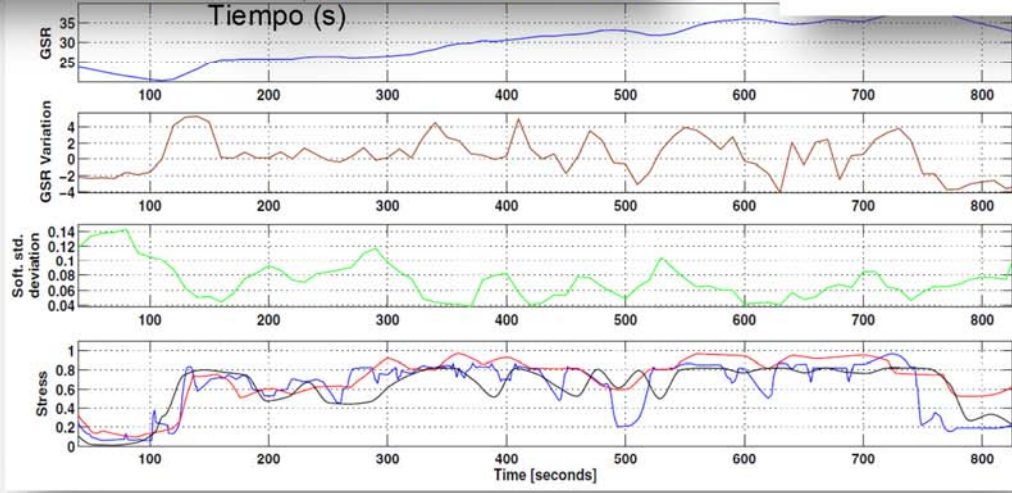
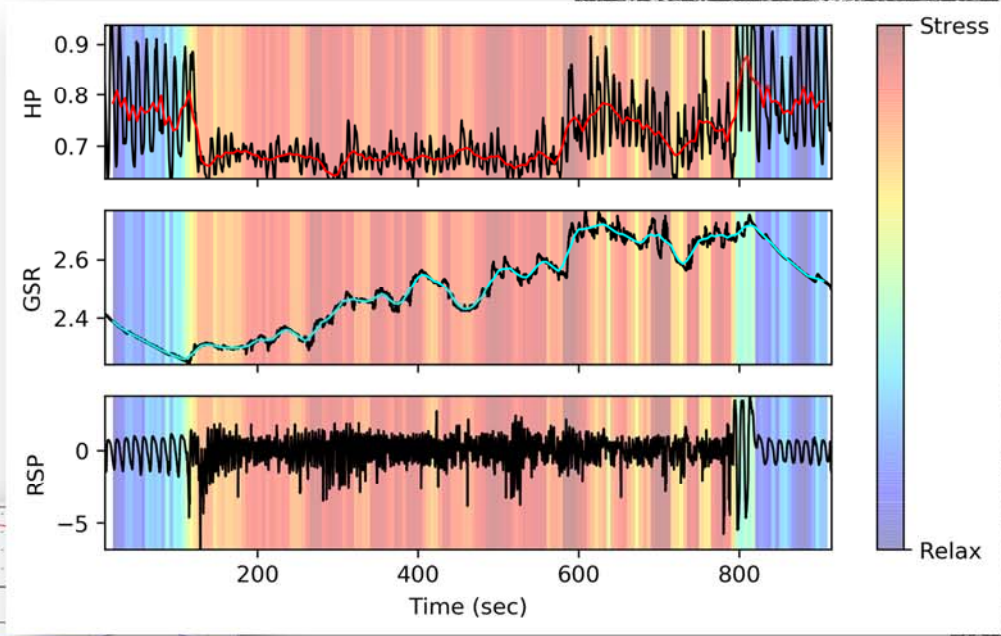
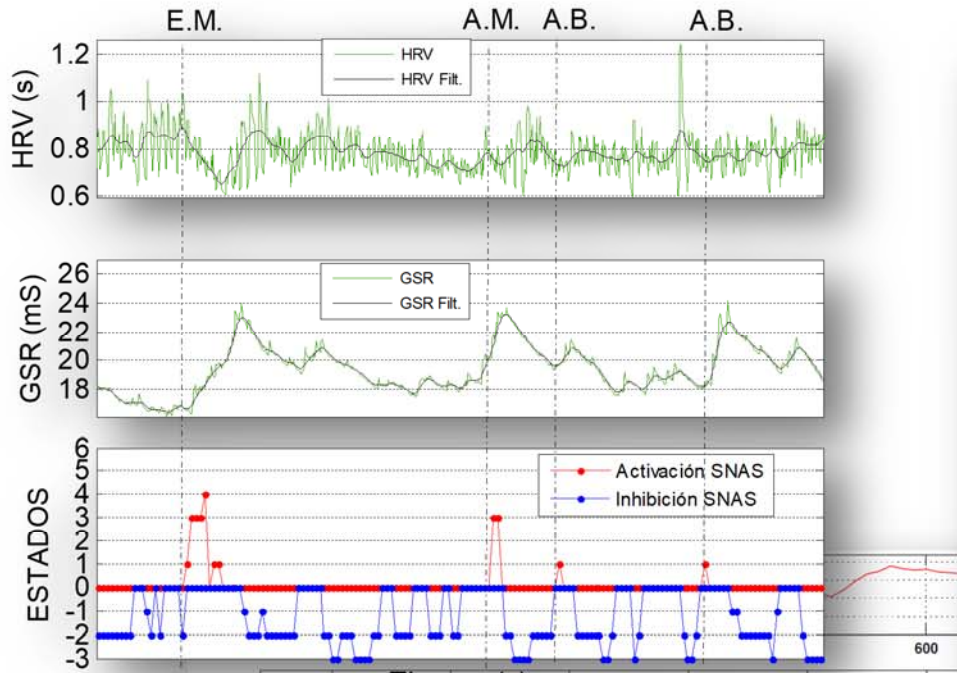


Fig. 13. Overlapping of the HR membership functions.





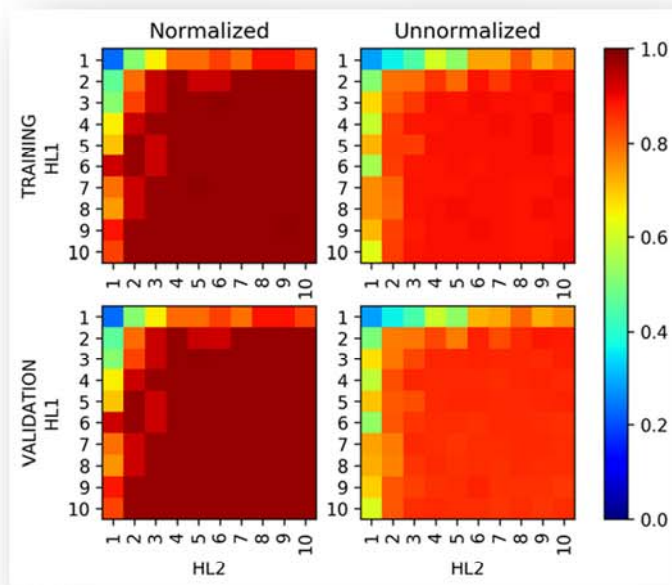
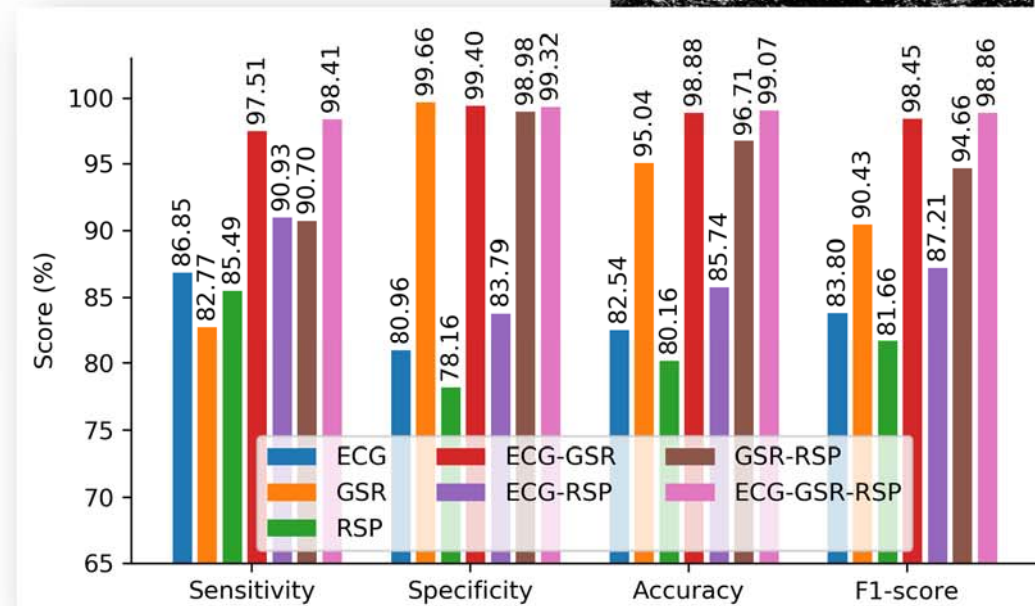
Resultados analíticos



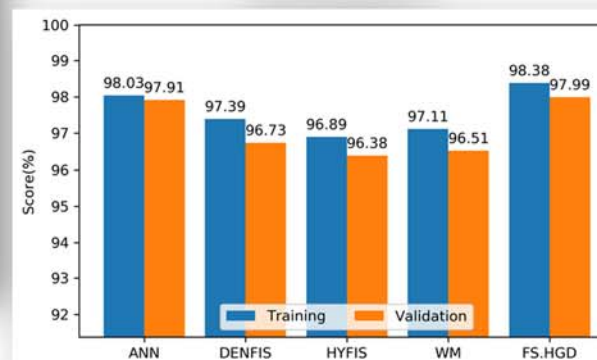


Resultados analíticos

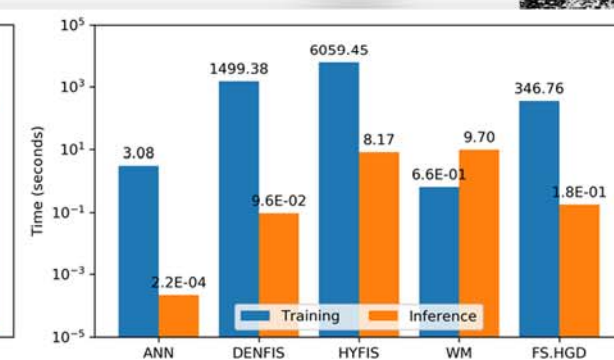
Test set	Confusion Matrix								Accuracy
	NS	LA	LS	MA	MS	HA	HS		
NS	437	0	0	1	1	0	2	97.6%	
LA	0	273	1	1	0	1	0		
LS	0	3	1	0	0	0	0		
MA	1	2	0	89	0	1	0		
MS	2	0	0	0	5	0	1		
HA	1	1	0	1	0	47	0		
HS	0	0	0	0	1	0	8		



ACCURACY

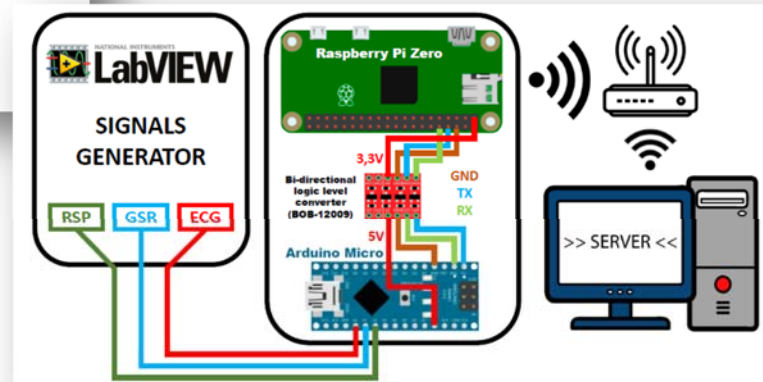
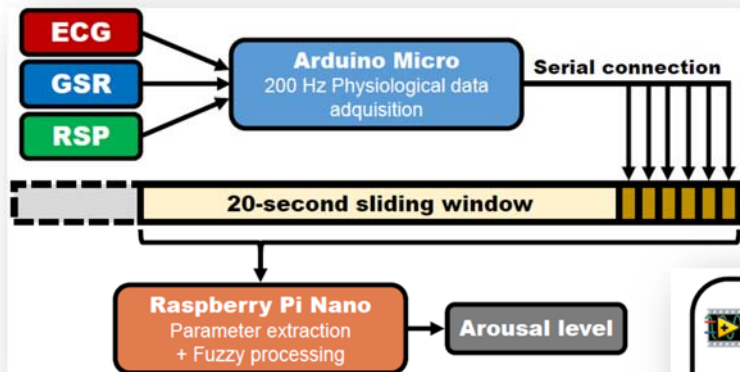
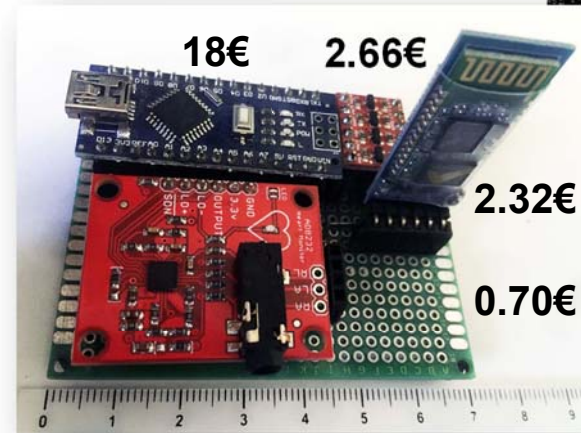
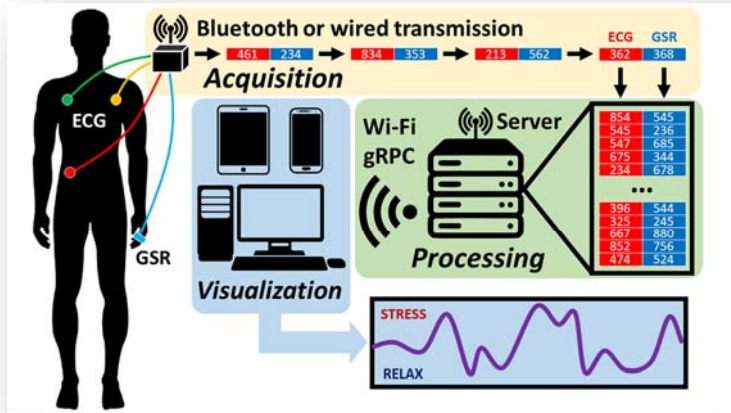


TIME





Resultados desarrollo





Conclusiones

- Se validó el uso de señales fisiológicas no intrusivas para la identificación de estados de estrés y relajación.
- Se diseñaron soluciones algorítmicas que analizan las señales automáticamente y al instante.
- Se ha hecho operativo un prototipo basado en plataformas de bajo coste.



Contribuciones



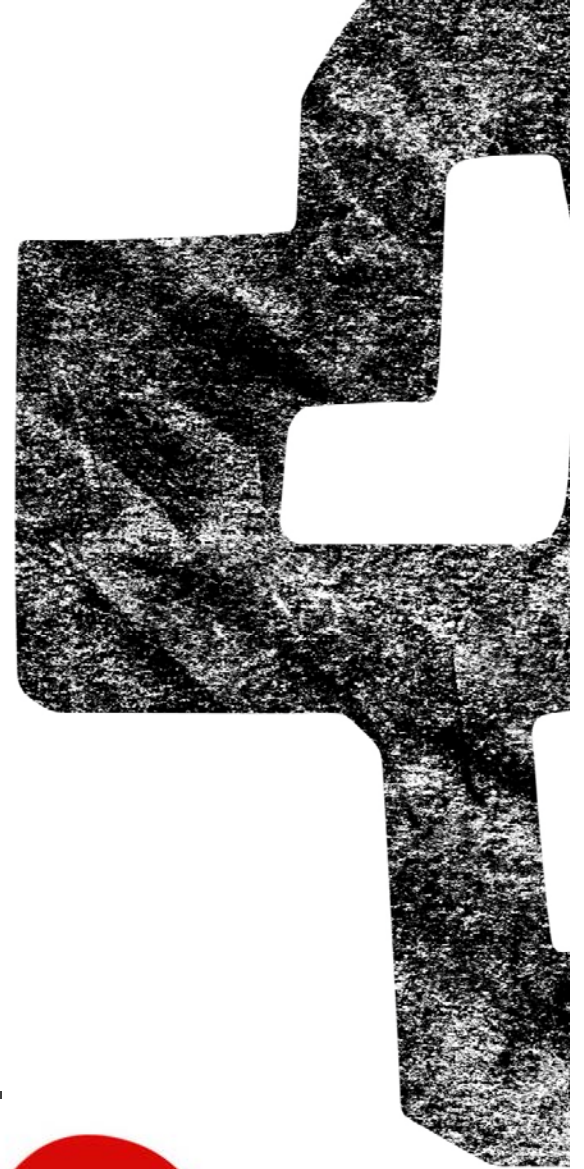
- U. Zalabarria et al. (2020). Online robust R-peaks detection in noisy electrocardiograms using a novel iterative smart processing algorithm. Applied Mathematics and Computation (JCR: 4.072 - Q1)
- U. Zalabarria et al. (2020). A Low-Cost, Portable Solution for Stress and Relaxation Estimation Based on a Real-Time Fuzzy Algorithm. IEEE Access (JCR: 3.745 - Q1)
- U. Zalabarria et al. (2020). Diagnosis of atrial fibrillation based on arterial pulse wave foot point detection using artificial neural networks. Computer Methods and Programs in Biomedicine (JCR: 3.632 - Q1)
- A. Salazar-Ramirez et al. (2019). A self-paced relaxation response detection system based on galvanic skin response analysis. IEEE Access (JCR: 3.745 - Q1)
- A. Salazar-Ramirez et al. (2018). An enhanced fuzzy algorithm based on advanced signal processing for identification of stress. Neurocomputing (JCR: 4.438 - Q1)
- R. Martinez et al. (2017). A real-time stress classification system based on arousal analysis of the nervous system by an F-state machine. Computer methods and programs in biomedicine (JCR: 3.632 - Q1)





Conclusiones

- **Ingeniería Biomédica...**
...cada vez, más y más necesaria en nuestros días.
- **Control Inteligente...**
...ofrece nuevas técnicas más potentes que permitirán llegar a soluciones avanzadas, efectivas, accesibles y útiles.



La Ingeniería Biomédica:

... y como los avances en tecnología la han hecho madurar enormemente

**Muchas gracias
por vuestra atención**



Eloy Irigoyen Gordo
eloy.irigoyen@ehu.eus

