

**Alejandro Liberos Mascarell**

Doctorado en Ingeniería de Sistemas Electrónicos

Directores: Maria S Guillem, Andreu M Climent y José Millet

Colaboradores: Jorge Pedrón-Torrecilla, Miguel Rodrigo, Aurelio Quesada, Víctor García

## INTRODUCCIÓN

En la práctica clínica actual la única manera de caracterizar las arritmias cardíacas es mediante técnicas invasivas. La Cartografía Eléctrica de Superficie (CES) es una técnica que se postula como herramienta no invasiva para la ayuda a la diagnosis y la planificación del tratamiento de diversas enfermedades cardíacas. El aumento en la densidad de electrodos, respecto al electrocardiograma clínico de 12 derivaciones, hace de la CES la única técnica con la capacidad de registrar de forma simultánea la actividad electrocardiográfica con una distribución espacial amplia, todo gracias a la distribución homogénea de electrodos tanto en la cara anterior como posterior del torso.

En este trabajo se presenta el modelado matemático como herramienta para la validación de esta técnica. El conocimiento pleno de las diversas variables que dan como resultado los diversos comportamientos simulados permiten el desarrollo y validación de hipótesis y técnicas basadas en CES.

## MÉTODOS

Registro CES en pacientes

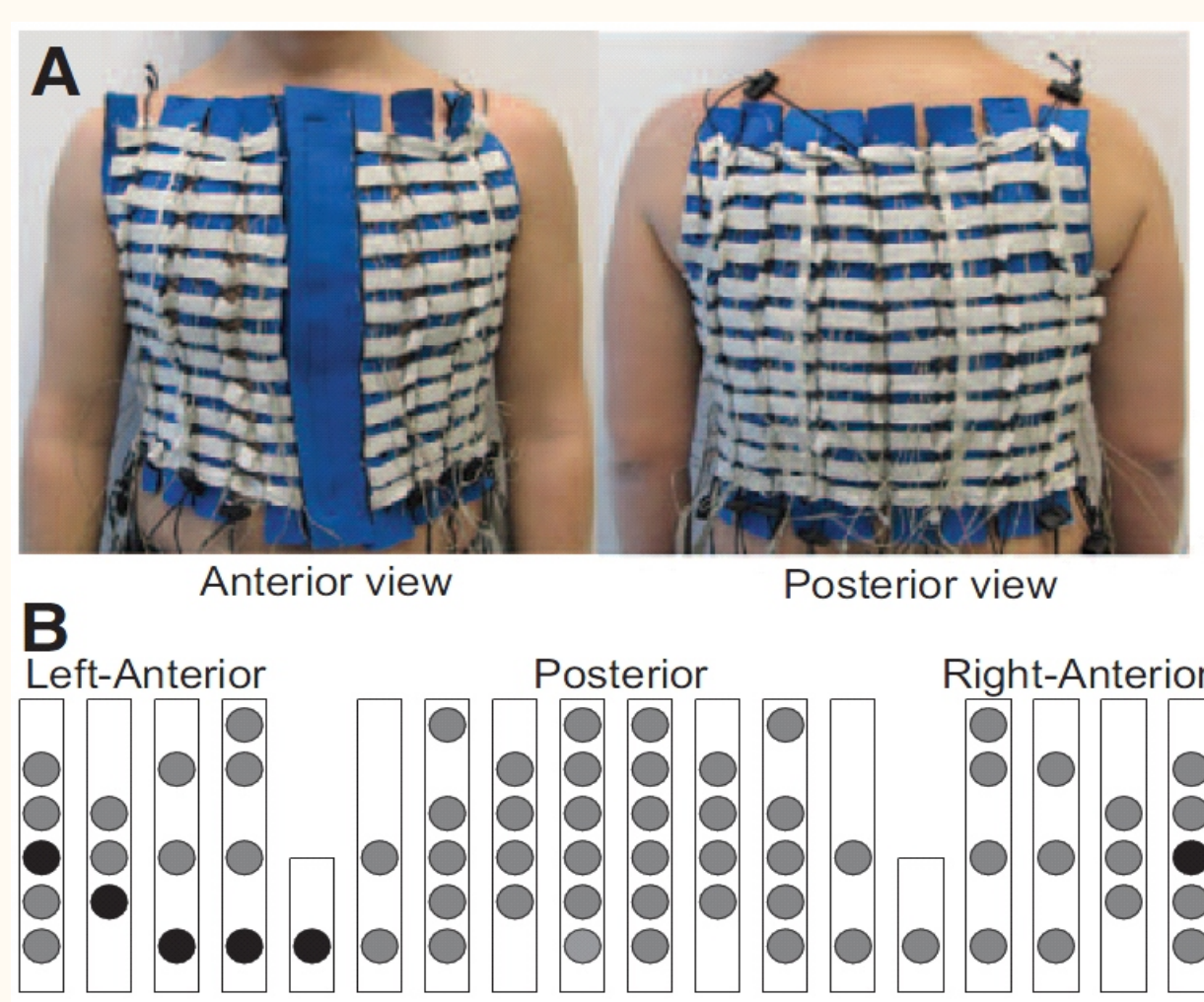


Fig 1. Fotografía y esquema del sistema de sujeción de electrodos.

El grupo de investigación cuenta con un equipo de registro CES, con el que se realiza una base de datos de registros de diferentes patologías cardíacas.

Este cuenta con un total de 67 electrodos registrados a una frecuencia de muestreo de 2048 Hz y con una resolución de 1  $\mu$ V.

Obtención de CES simulados

### Obtención de Potenciales de Acción

Las aurículas y el torso se implementan con estructuras tridimensionales y superficiales tal y como se muestra en la Figura 2. Cada nodo de la estructura que representa la aurícula tiene asociado un Potencial de Acción (PA) que, responde a la formulación desarrollada por Courtemanche. Ésta describe el comportamiento de las corrientes iónicas, bombas e intercambiadores que modulan la concentración en membrana de  $Na^+$ ,  $K^+$  y  $Ca^{2+}$ .

Estas simulaciones se calculan sobre una plataforma equipada con una GPU NVIDIA Tesla C2075 6G basada en Fermi y CUDA 4.0 por medio de un solver de paso adaptativo basado en Runge-Kutta.

### Obtención de Potenciales en el Torso

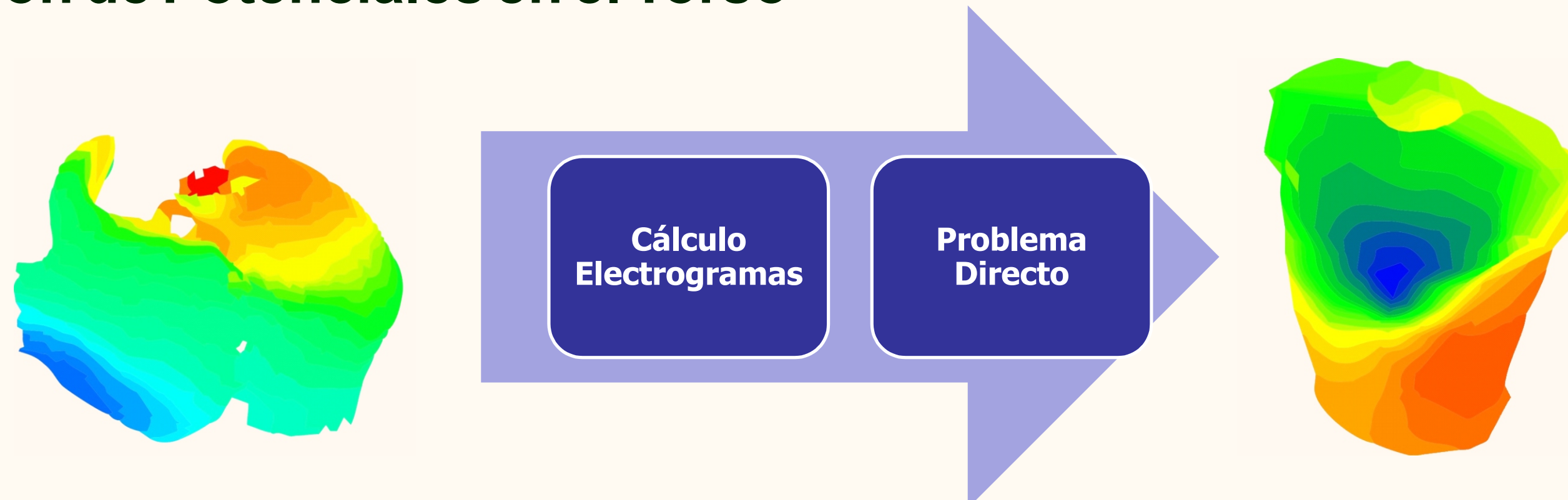


Fig 3. Esquema obtención potenciales en el torso.

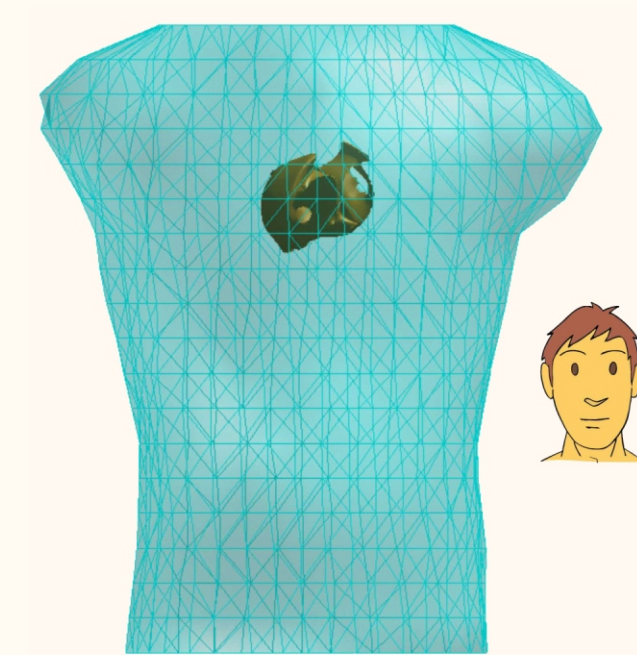


Fig 2. Modelos de torso y Aurícula.

Análisis CES con Mapas de Fase

Los mapas de fase son una representación de las señales de fase obtenidas a partir del ECG usando:

$$\text{Phase} = \Phi(\text{HT}(V))$$

Éstas señales de fase se representan en planos que resumen la actividad de todo el torso.

Una singularidad de fase (SF) se define como un punto rodeado por todas las fases entre  $-\pi$  y  $\pi$ . Se consideran las SF que se mantienen al menos durante 10 ms.

Se analiza la localización de estas SF a lo largo del tiempo con el fin de utilizar esta información para la ayuda al diagnóstico.

## RESULTADOS

Efectos Tamaño Memoria Temporal

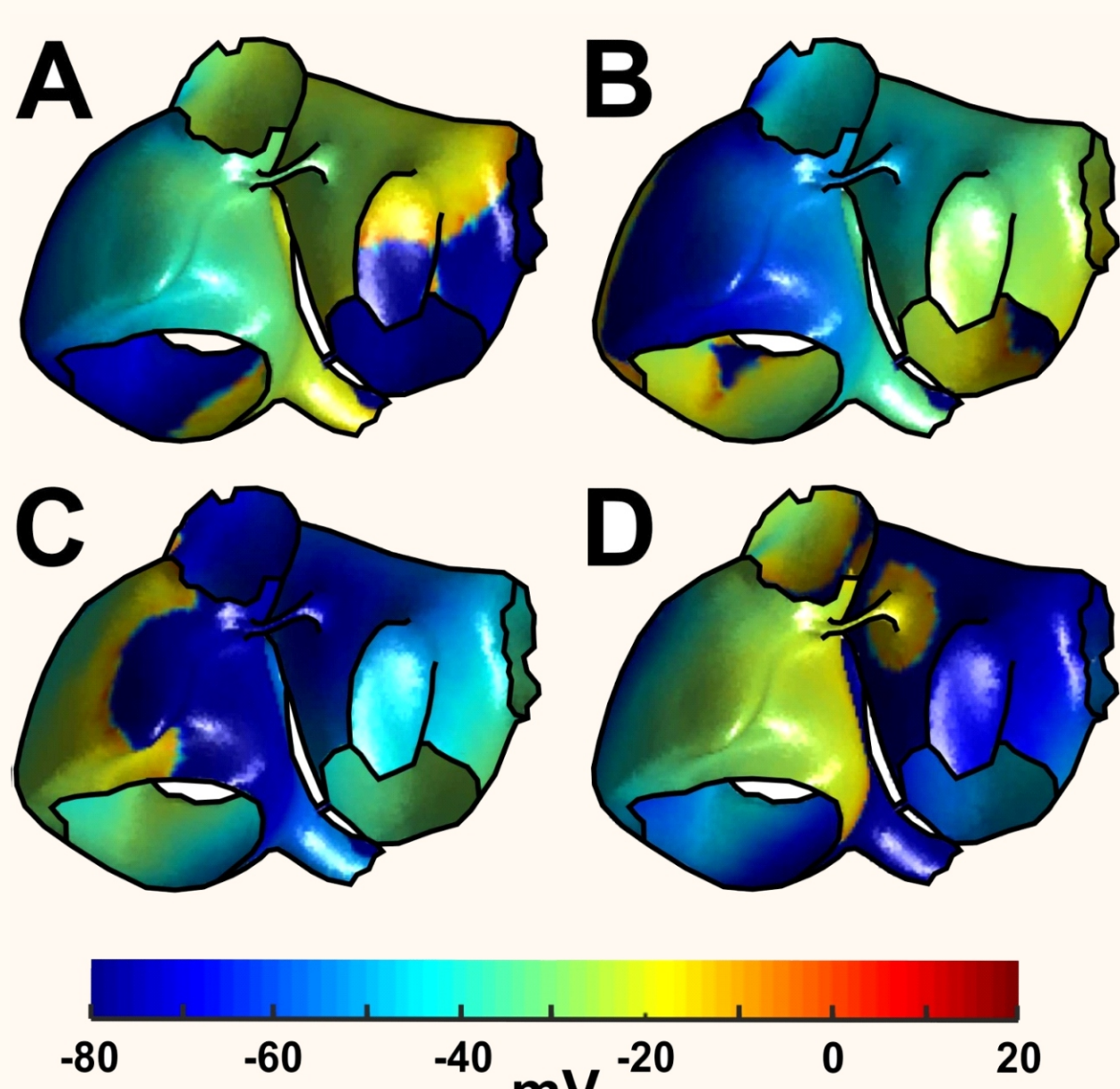


Fig 4. Secuencia de activación durante un proceso de flutter auricular.

Se describe la secuencia completa de la propagación alrededor de la válvula tricúspide. El comportamiento simulado es consistente con la bibliografía, con una propagación con una velocidad reducida en la zona del istmo cavotricuspidio, que permite la reentrada.

Mapas de Fase CES y Actividad Auricular

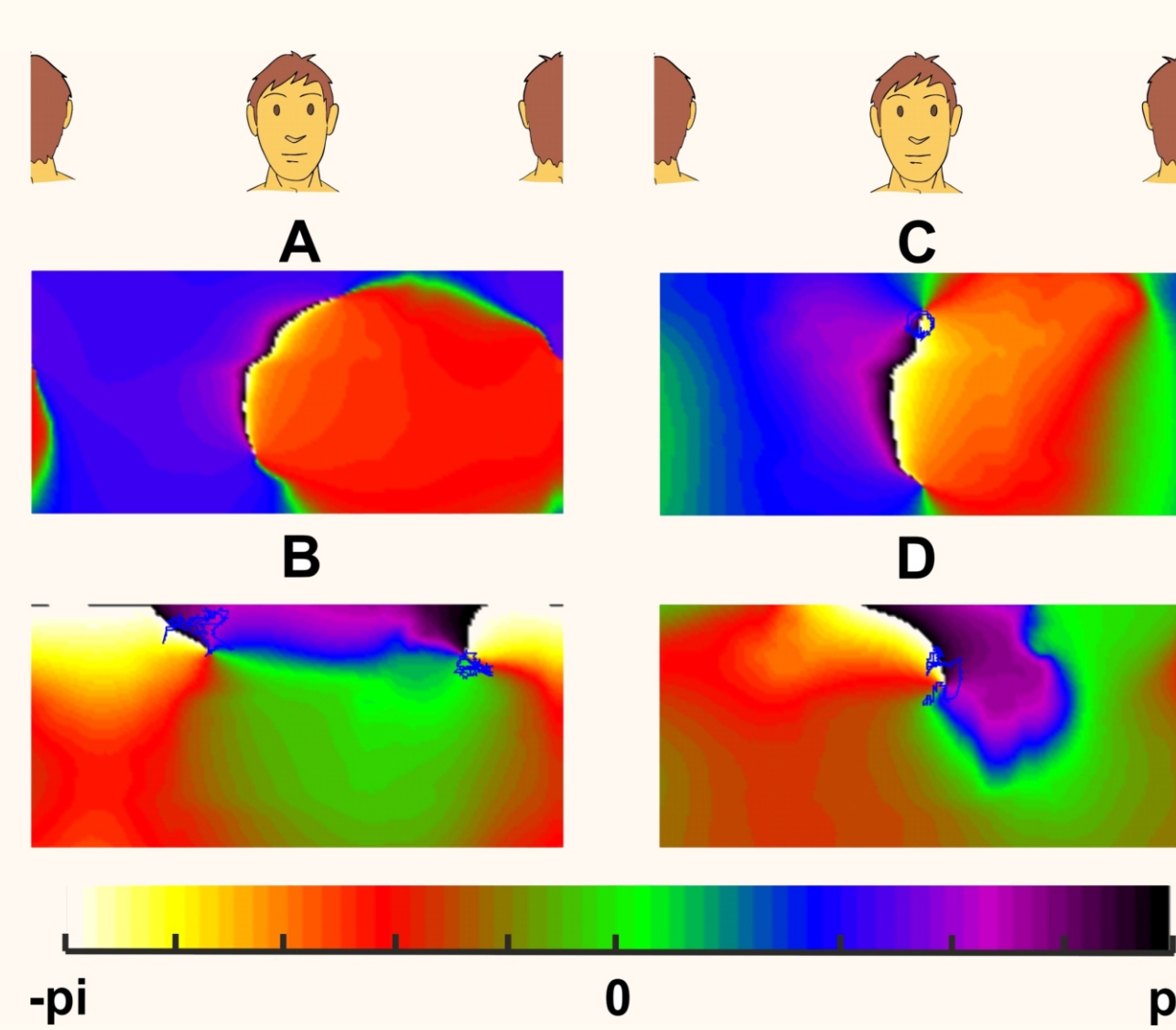


Fig 5. Mapas de Fase de actividad auricular simulada.

A. Propagación sana: desde el hombro derecho hasta la pierna izquierda.

B. Reflejo en el torso del comportamiento mostrado en la Figura 5. Dos SF en la zona de las axilas, propagación ascendente en la parte anterior del torso seguida de una descendente en la parte posterior.

C y D. Flutter atípico alrededor de la vena cava inferior y superior respectivamente.

Tamaño óptimo de Memoria Temporal

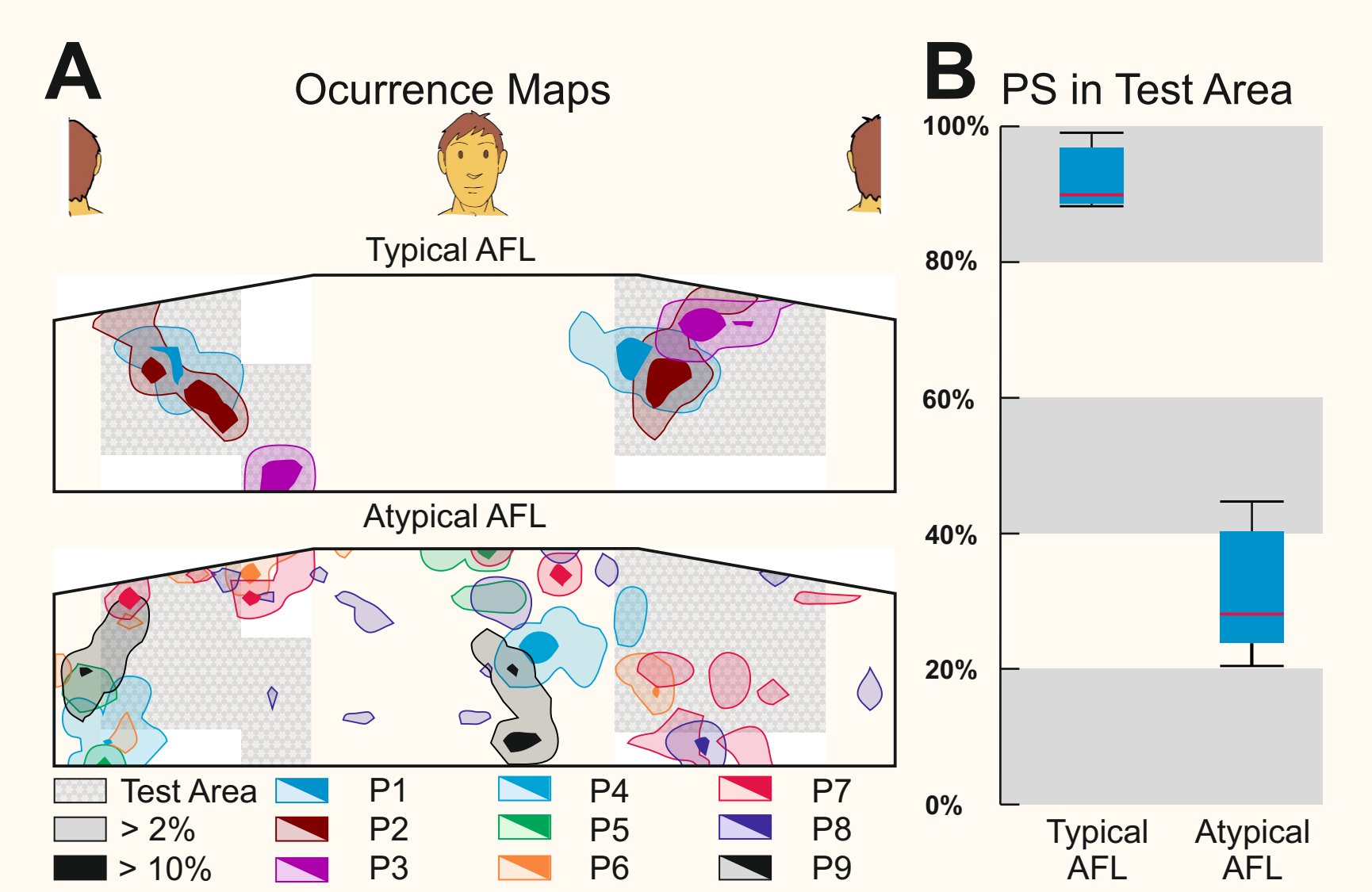


Fig 6. Mapas de ocurrencias en pacientes reales de flutter auricular típicos (arriba) y atípicos (abajo).

Se muestra el porcentaje de tiempo en el que las SF se mantienen en cada zona. Los mapas de ocurrencia de los pacientes de flutter típicos se presentan agrupados mientras que las SFs en pacientes con flutter atípico son más dispersos y no coinciden con los típicos. El sombreado gris representa el área de prueba para el que se calculó el porcentaje de SF para distinguir entre la flutter típico y atípico.

## CONCLUSIÓN

En este trabajo se presenta una plataforma completa de simulación de la actividad cardíaca auricular que permite desde variaciones en el comportamiento de diferentes canales iónicos celulares hasta ver el efecto que estos tienen en la superficie del cuerpo. Este sistema permite simular diferentes comportamientos sanos o patológicos, el efecto de diferentes patrones por radiofrecuencia que dificultan el mantenimiento de reentradas etc.

Más concretamente, hemos visto el reflejo en el torso de diferentes episodios de flutter auricular así como de una propagación en el caso sano y su correspondencia en el caso de pacientes reales. Con las patologías cardíacas cerca de convertirse en la primera causa de muerte en el mundo desarrollado, la CES se presenta como una prometedora herramienta no invasiva de ayuda a la diagnosis que permitirá predecir la mejor estrategia a seguir, mejorando así las tasas de éxito y la eficiencia.

Publicación Asociada: Liberos A, Pedrón-Torrecilla J, Rodrigo M, Millet J, Climent AM, Guillem MS. Body Surface Potential Propagation Maps During Macroreentrant Atrial Arrhythmias. A Simulation Study. Computing in Cardiology. 2013. 40:915-918.