

# Hacia la implementación *on the edge* de un segmentador de PCG basado en la U-Net

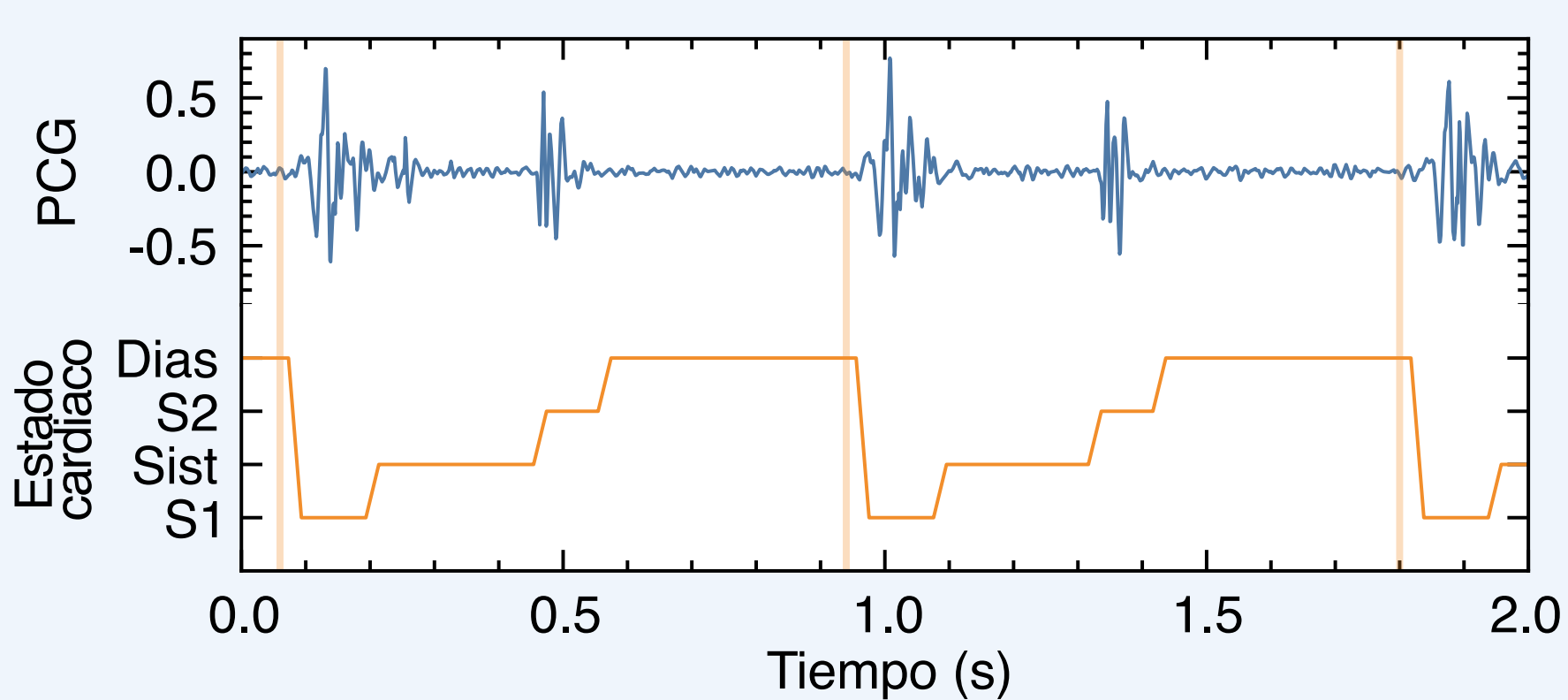
Daniel Enériz<sup>1</sup>, Antonio J. Rodríguez-Almeida<sup>2</sup>, Himar Fabelo<sup>2</sup>,  
Nicolás Medrano<sup>1</sup>, Belén Calvo<sup>1</sup> y Gustavo M. Callico<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Diseño Electrónico (GDE-I3A), {eneriz, nmedrano, becalvo}@unizar.es

<sup>2</sup>IUMA, ULPGC, {aralmeida, hfabelo, gustavo}@iuma.ulpgc.es

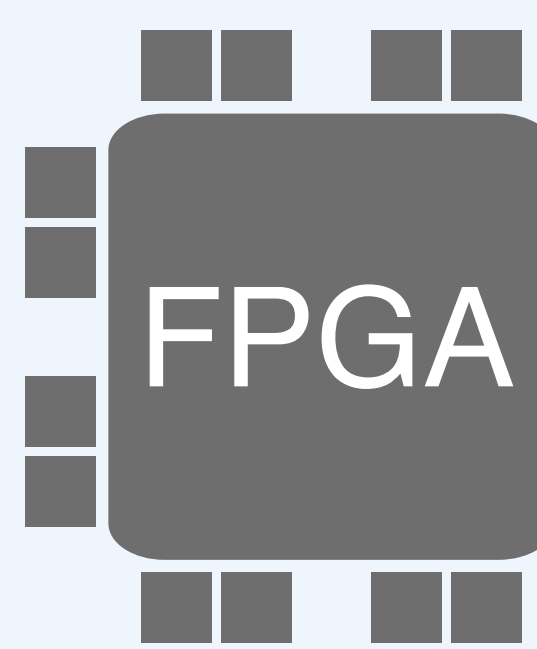
## Introducción

- Fonocardiogramas PCG: sonidos corazón
- Segmentación de PCG: división en ciclos
- 4 estados cardiacos: S1→Sis→S2→Dias



- U-Net: Segmentación de imágenes, adaptación a 1D

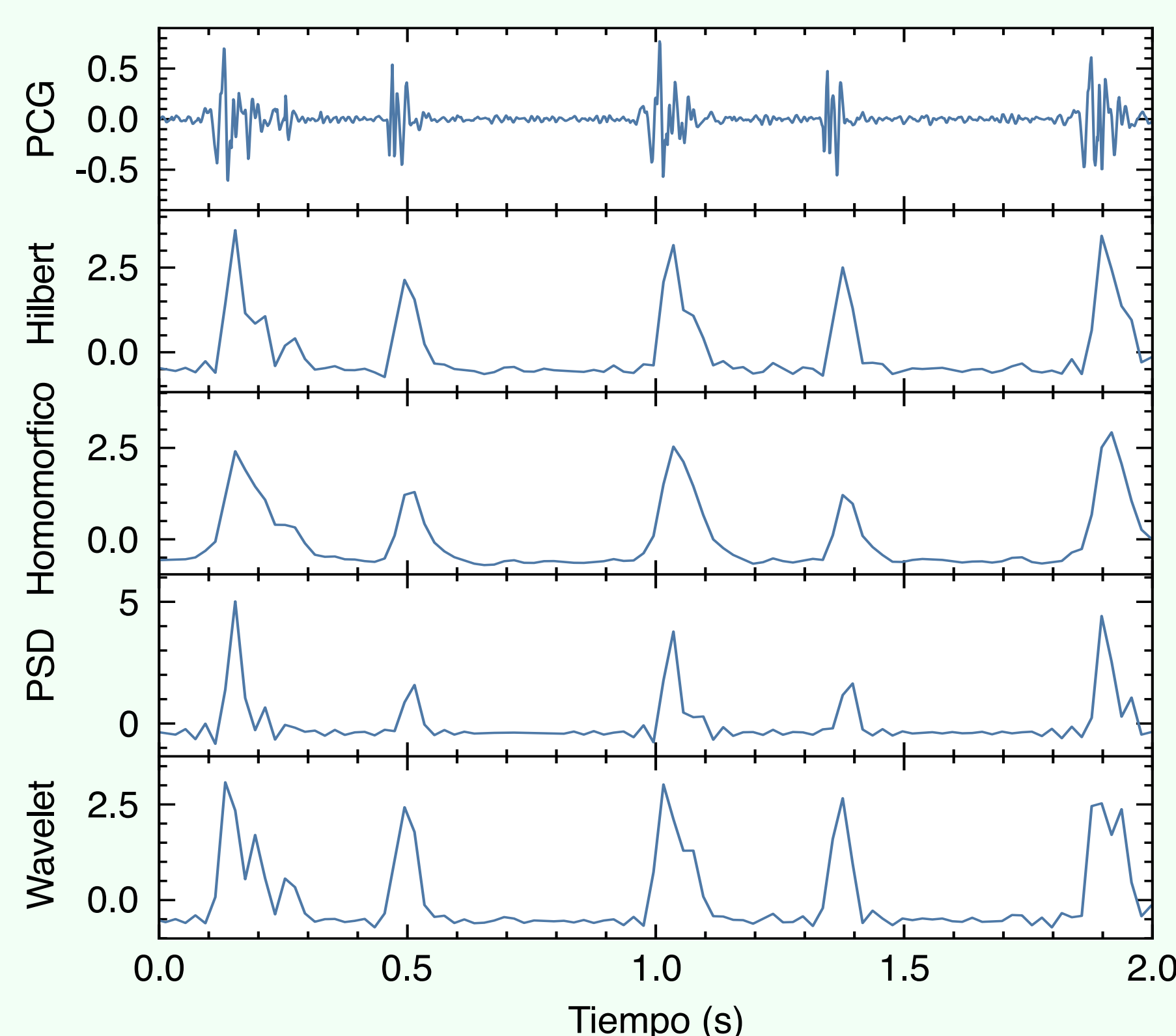
- Soporte Hardware:



- Edge computation
- Capacidad de optimizar
- Datos de punto fijo
- Herramientas HLS

## Base de datos y preprocesado

- 2016 *Physionet/CinC challenge*:
  - 135 sujetos
  - 792 PCGs+ECGs
- Información de segmentación: ECGs
- Preprocesado:
  - BP 25-400 Hz
  - Reducción de picos
  - Decimado a 50 Hz
  - 4 envolventes



## Implementación

- Objetivo: Xilinx Zynq 7010 & 7020: *Low-spec* FPGA + *dual-core* ARM CPU
- Descripción algorítmica: C/C++
- Datos de punto fijo: (16,8)
- Resultados de síntesis (N=64):



|      | $n_{enc}$ | 1     |       |       |       | 2    |      |      |       | 3    |      |      |       | 4    |      |      |       |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
|      |           | 1     | 2     | 3     | 4     | 1    | 2    | 3    | 4     | 1    | 2    | 3    | 4     | 1    | 2    | 3    | 4     |
| BRAM | 4         | 31    | 49    | 69    | 121   | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    |
|      | 5         | 31    | 49    | 79    | 175   | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    |
|      | 6         | 31    | 49    | 79    | 175   | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    |
|      | 7         | 31    | 51    | 103   | 287   | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    |
|      | 8         | 31    | 51    | 103   | 287   | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    | 15   | 20   | 25   | 30    |
| LUT  | 4         | 10355 | 14193 | 17966 | 21700 | 4320 | 6046 | 7805 | 9577  | 4320 | 6046 | 7805 | 9577  | 4320 | 6046 | 7805 | 9577  |
|      | 5         | 11087 | 15534 | 19947 | 24301 | 4572 | 6582 | 8648 | 10739 | 4572 | 6582 | 8648 | 10739 | 4572 | 6582 | 8648 | 10739 |
|      | 6         | 11119 | 15596 | 20035 | 24415 | 4606 | 6653 | 8731 | 10836 | 4606 | 6653 | 8731 | 10836 | 4606 | 6653 | 8731 | 10836 |
|      | 7         | 11119 | 15596 | 20035 | 24415 | 4620 | 6686 | 8779 | 10899 | 4620 | 6686 | 8779 | 10899 | 4620 | 6686 | 8779 | 10899 |
|      | 8         | 10378 | 14213 | 18002 | 21751 | 4408 | 6194 | 7998 | 9815  | 4408 | 6194 | 7998 | 9815  | 4408 | 6194 | 7998 | 9815  |

Datos en *cursiva* exceden los recursos disponibles en la 7010, los tachados en ambas

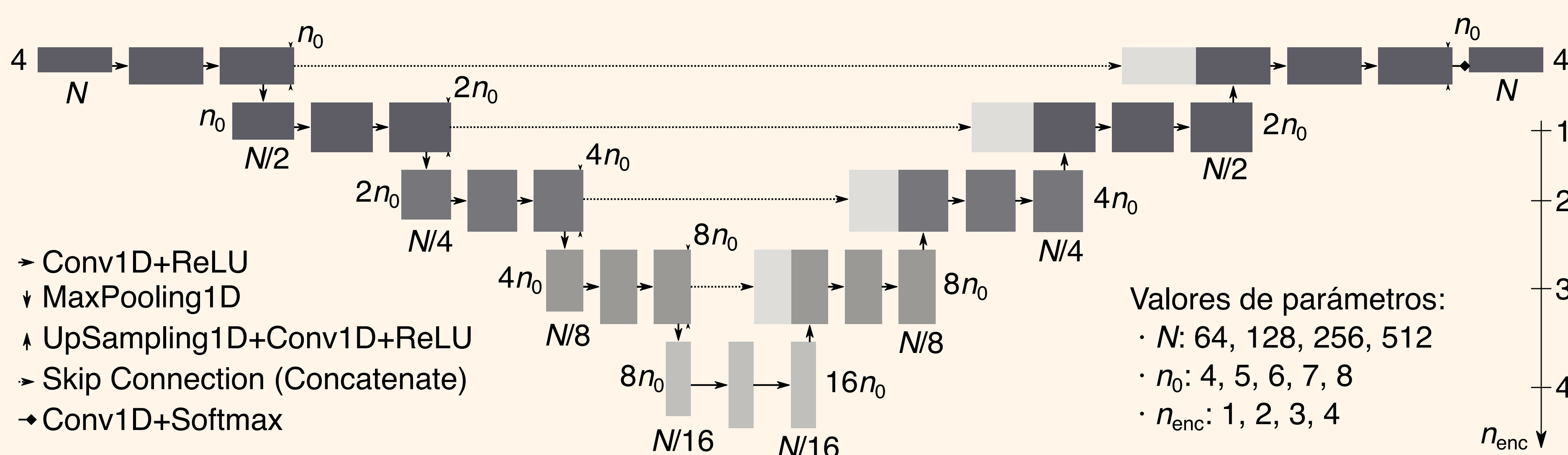
- Recursos limitantes: BRAM y LUT

## Conclusiones

- Modelo para la segmentación de PCGs en ciclos cardiacos
- Identificados 3 parametros de reducción del modelo:  $N$ ,  $n_{enc}$  y  $n_0$
- Caracterización del impacto de los parametros en las metricas
- Implementación en FPGA de bajo coste usando tipos de dato de punto fijo
- Caracterización del impacto de los parametros en los recursos de la FPGA

## Arquitectura, validación, entrenamiento y reducción

- Red basada en la U-Net, presentada en F. Renna *et al.* 2019
- La entrada son  $N$  muestras temporales de las 4 envolventes
- Originalmente tiene  $n_{enc}=4$  encoders/decoders y  $n_0=8$  filtros en el primer encoder, los cuales se van duplicando en cada etapa
- Se identifican tres parametros de reducción del modelo:  $N$ ,  $n_{enc}$  y  $n_0$
- Validación: *Cross Validation* de 10-fold con separación de sujetos
- Entrenamiento: Optimizador Adam, *learning rate* de  $10^{-4}$ , 15 épocas y *batch size* de 1

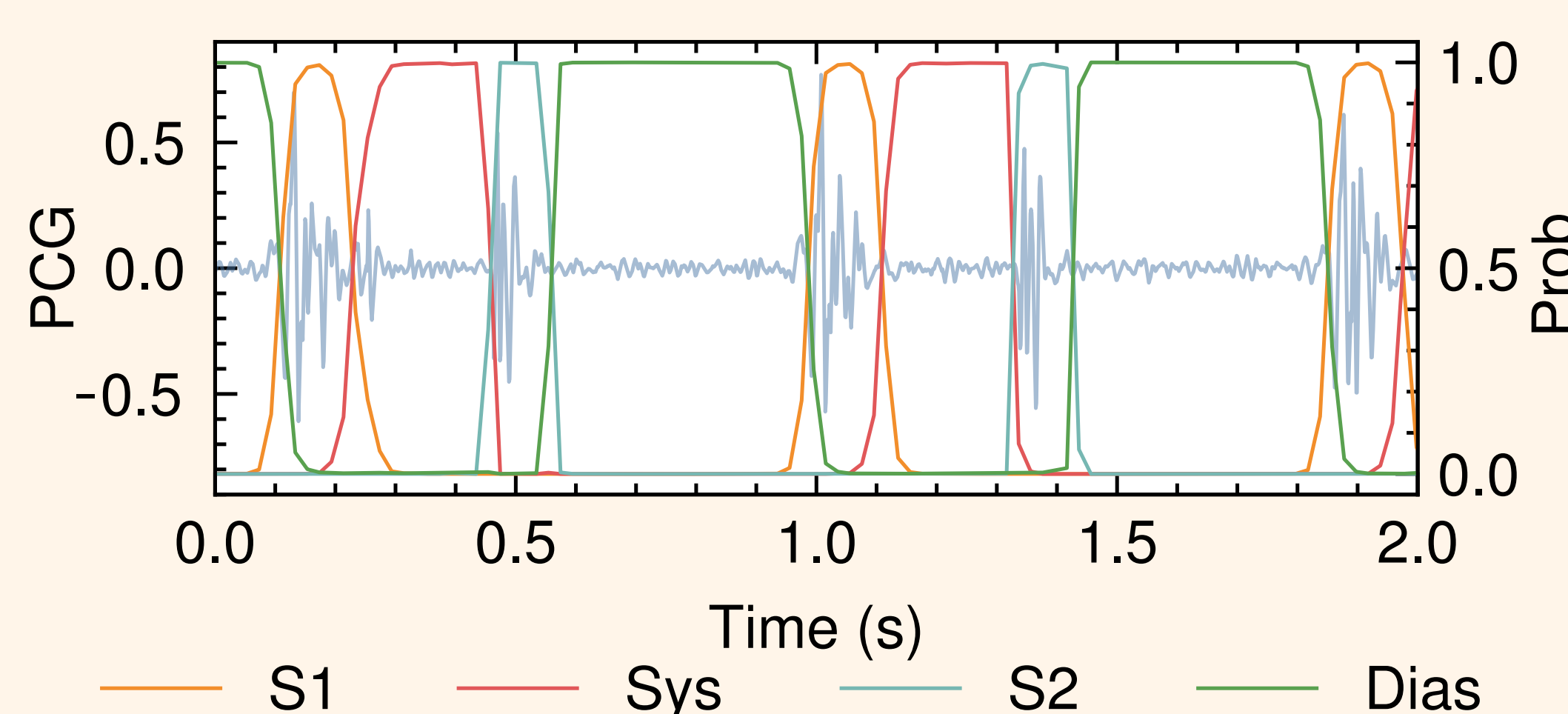


- Conv1D+ReLU
- ⚡ MaxPooling1D
- ⬆ UpSampling1D+Conv1D+ReLU
- Skip Connection (Concatenate)
- ➔ Conv1D+Softmax

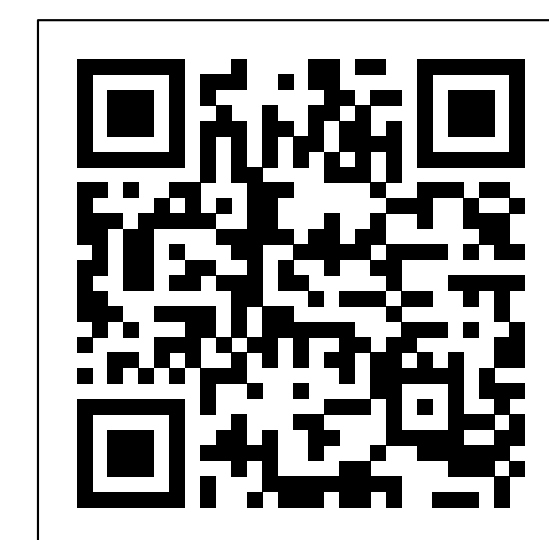
Valores de parámetros:  
•  $N$ : 64, 128, 256, 512  
•  $n_0$ : 4, 5, 6, 7, 8  
•  $n_{enc}$ : 1, 2, 3, 4

N=64

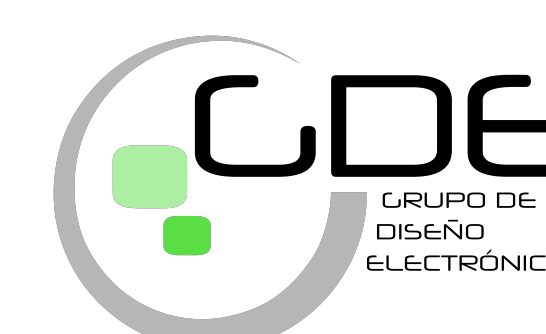
| $n_{enc}$ | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 4         | 77.7 ± 2.8 | 90.1 ± 1.5 | 92.1 ± 1.2 | 92.5 ± 1.3 |
| 5         | 79.3 ± 2.3 | 90.4 ± 1.4 | 92.0 ± 1.4 | 92.7 ± 1.3 |
| 6         | 80.1 ± 2.6 | 90.6 ± 1.6 | 92.2 ± 1.7 | 92.8 ± 1.3 |
| 7         | 81.2 ± 2.0 | 91.0 ± 1.9 | 92.3 ± 1.6 | 92.8 ± 1.1 |
| 8         | 81.6 ± 2.1 | 91.0 ± 1.5 | 92.5 ± 1.4 | 92.8 ± 1.1 |
| 4         | 86.8 ± 2.7 | 93.4 ± 1.9 | 94.0 ± 1.9 | 94.2 ± 1.9 |
| 5         | 87.7 ± 2.5 | 93.4 ± 1.9 | 93.8 ± 1.9 | 94.2 ± 1.8 |
| 6         | 87.8 ± 2.3 | 93.6 ± 1.7 | 93.8 ± 2.3 | 94.4 ± 1.8 |
| 7         | 88.4 ± 2.5 | 93.6 ± 1.8 | 94.0 ± 2.0 | 94.3 ± 1.9 |
| 8         | 88.7 ± 2.3 | 93.3 ± 2.3 | 94.2 ± 2.1 | 94.4 ± 2.1 |
| 4         | 74.0 ± 4.1 | 90.5 ± 2.6 | 93.5 ± 2.1 | 94.1 ± 2.2 |
| 5         | 76.1 ± 3.4 | 90.9 ± 2.2 | 93.2 ± 2.1 | 94.2 ± 2.1 |
| 6         | 77.1 ± 3.5 | 91.0 ± 2.3 | 93.4 ± 3.1 | 94.4 ± 2.1 |
| 7         | 78.5 ± 3.2 | 91.7 ± 2.8 | 93.7 ± 2.3 | 94.2 ± 1.9 |
| 8         | 79.2 ± 2.9 | 91.5 ± 2.2 | 93.8 ± 2.1 | 94.3 ± 2.0 |



## Contacto y más información:



Instituto Universitario de Investigación  
en Ingeniería de Aragón  
Universidad Zaragoza



Facultad de Ciencias  
Universidad Zaragoza



Instituto Universitario de  
Microelectrónica Aplicada  
IUMA