

# Optimización, caracterización y aceleración de un modelo de retina mediante el uso de metaheurísticas y algoritmos bioinspirados

**Rubén Crespo-Cano**, Alejandro Serrano-Cases, Eduardo Fernández,  
Sergio Cuenca-Asensi y Antonio Martínez-Álvarez

Departamento de Tecnología Informática y Computación  
Universidad de Alicante

Jornadas SARTECO 2018



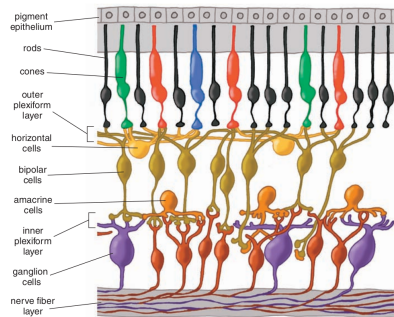
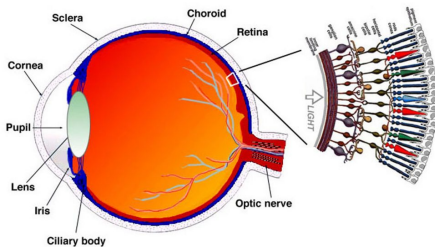
Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

# Índice

- ▶ Introducción
  - ▶ La retina
  - ▶ Neuroprótesis visuales
  - ▶ Modelo de retina
- ▶ Algoritmos evolutivos multiobjetivo
  - ▶ GA, PSO y DE
- ▶ Materiales y métodos
  - ▶ Registros electrofisiológicos
  - ▶ Comparación de MOEAs e interpretación estadística
- ▶ Experimentos y resultados
- ▶ Aceleración automática del modelo
- ▶ Conclusiones y trabajo futuro

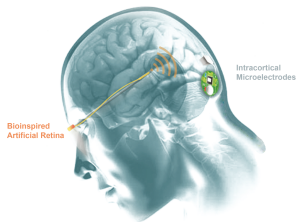
# Introducción

## La retina



# Introducción

## Neuroprótesis visuales



- ▶ Neuroprótesis **cortical**
- ▶ Único tratamiento posible para ceguera causada por glaucoma, retinitis pigmentosa en etapa terminal, atrofia óptica, etc.
- ▶ Restauración del sentido visual de forma limitada

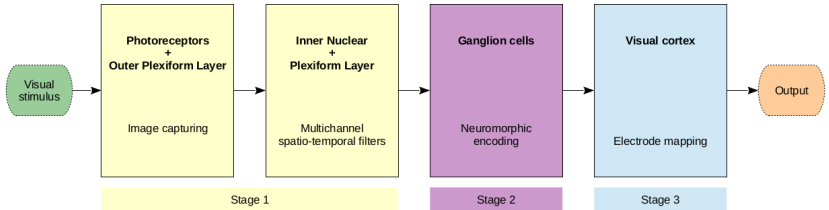
# Introducción

## ¿Qué es un modelo de retina?

- ▶ Representación bioinspirada capaz de realizar parte de las funciones de pre-procesamiento llevadas a cabo en la retina
- ▶ Modelo capaz de transformar el mundo visual externo en señales eléctricas que puedan ser utilizadas para excitar las neuronas del córtex occipital

# Introducción

## Bloques de procesamiento del modelo bioinspirado de retina



# Introducción

## Descripción matemática del modelo de retina

$$\begin{aligned} S_1 = & W_1 \cdot f_{DoG}(\sigma_1, \sigma_2, \mu_1, \mu_2, k_1, k_2, R + B, G) \\ & + W_2 \cdot f_{DoG}(\sigma_1, \sigma_2, \mu_1, \mu_2, k_1, k_2, R + G, B) \\ & + W_3 \cdot f_{LoG}(\sigma_1, \sigma_2, \mu_1, \mu_2, k_1, k_2, I) \end{aligned} \quad (1)$$

$$S_2 = NLIF(S_1, t, l, rp, pt, fmf) \quad (2)$$

# Algoritmos evolutivos multiobjetivo

¿Por qué una estrategia evolutiva multiobjetivo?

- ▶ Muchos parámetros y rango dinámico
- ▶ **Enorme espacio de búsqueda**  $\Rightarrow$  Imposibilidad de exploración de todo el espacio de soluciones
- ▶ Necesidad de guiar el proceso de búsqueda
- ▶ Varios objetivos antagónicos  $\Rightarrow$  Problema **multiobjetivo**

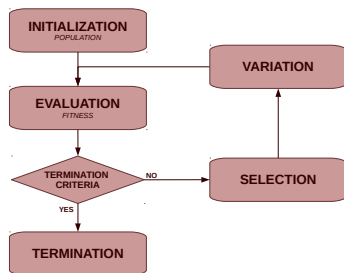


# Algoritmos evolutivos multiobjetivo

## Propuesta:

Utilización de **técnicas de computación evolutiva** para guiar la exploración del espacio de soluciones y un procedimiento **multiobjetivo** para evaluar cada solución alcanzada en el proceso de exploración

# Algoritmos evolutivos multiobjetivo

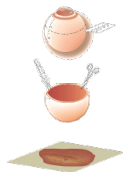


- ▶ Algoritmos genéticos (**GA**)
  - ▶ **SPEA2**
  - ▶ **NSGA-II**
  - ▶ **NSGA-III**
- ▶ Optimización por enjambre de partículas (**PSO**)
- ▶ Evolución diferencial (**DE**)

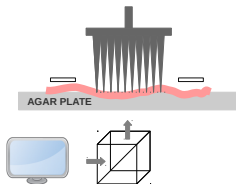
# Materiales y métodos

## Obtención de los registros electrofisiológicos

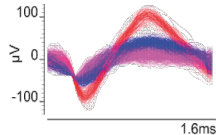
RETINAL EXTRACTION



RETINAL RECORDING



SPIKE SORTING

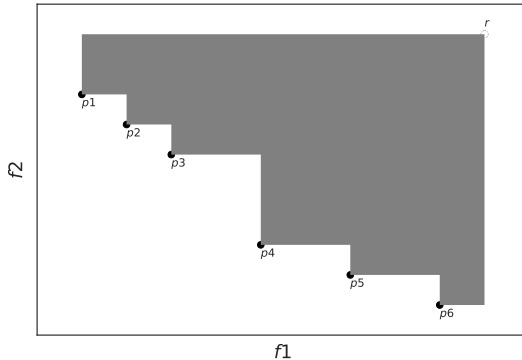


# Materiales y métodos

## Evaluación de MOEAs e interpretación estadística

### Hipervolumen (HV)

- ▶ Volumen de la sección dominada del espacio de soluciones
- ▶ Métrica de rendimiento



# Materiales y métodos

## Evaluación de MOEAs e interpretación estadística

- ▶ Naturaleza **estocástica** de los algoritmos evolutivos
- ▶ Uso de herramientas estadísticas para comparar los resultados
- ▶ Ejecución de cada experimento de forma independiente  $N$  veces
- ▶ Inferencias estadísticas → **métodos no paramétricos**
  - ▶ Prueba de **Kruskal-Wallis**
  - ▶ Prueba de **Wilcoxon-Mann-Whitney**

# Experimentos y resultados

## Parámetros de los algoritmos evolutivos

- ▶ Algoritmos implementados de acuerdo a la descripción existente en la literatura
- ▶ **Tamaño población:** 40
- ▶ **Probabilidad cruce:** 40%
- ▶ **Probabilidad mutación:** 5%
- ▶ **Número de generaciones:** 100
- ▶ Algoritmo PSO  $\rightarrow \phi_1$  y  $\phi_2$ : 2.05
- ▶ Algoritmo DE  $\rightarrow \mathbf{F}$ : 1

# Experimentos y resultados

## Parámetros del cromosoma

Parámetro	Rango
K	3 - 13
Threshold	225.0 - 275.0
Leakage	10.0 - 15.0
Refractory Period	1.0 - 10.0
Persistence Time	3 - 7
Frequency Modulator Factor	0.25 - 0.40

# Experimentos y resultados

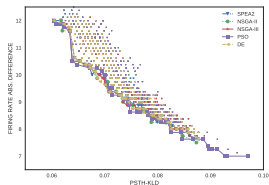
## Métricas comparativas entre modelos de retina

- ▶ **Métrica 1:** Firing Rate Absolute Difference (**FRAD**)
- ▶ **Métrica 2:** Peristimulus Time Histogram - Kullback-Leibler Divergence (**PSTH-KLD**)
- ▶ **Métrica 3:** Interspike-Interval Histogram - Kullback-Leibler Divergence (**ISIH-KLD**)
- ▶ **Métrica 4:** Receptive Field Absolute Difference (**RFAD**)

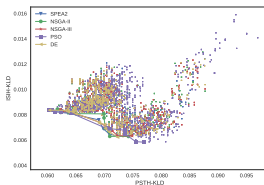


# Experimentos y resultados

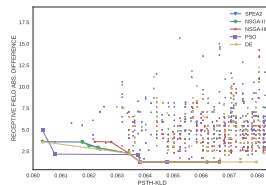
Ejecución aislada de cada algoritmo  $\rightarrow$  Comparación por pares



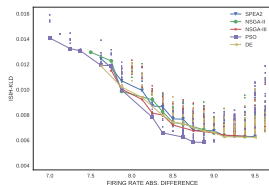
PSTH-KLD vs FRAD



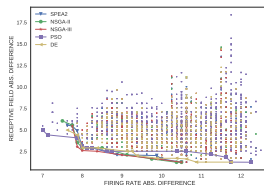
PSTH-KLD vs ISIH-KLD



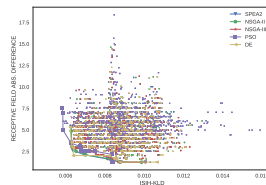
PSTH-KLD vs RFAD



FRAD vs ISIH-KLD



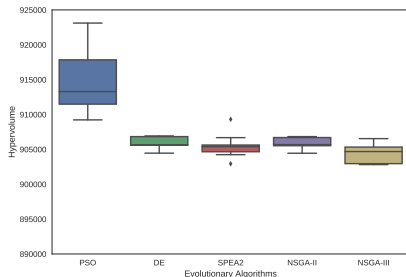
FRAD vs RFAD



ISIH-KLD vs RFAD

# Experimentos y resultados

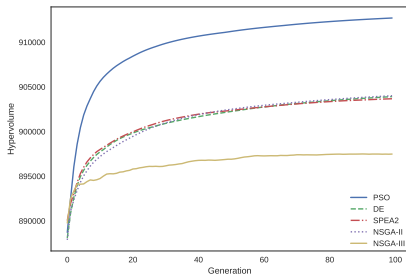
## Interpretación estadística



- ▶ Métrica: **Hipervolumen (HV)**
- ▶ Comparación de metaheurísticas de naturaleza estocástica
- ▶ Evitar la influencia de efectos aleatorios
- ▶ 10 ejecuciones independientes por cada EA

# Experimentos y resultados

## Interpretación estadística



- ▶ Media del **HV** para cada EA
- ▶ 100 generaciones
- ▶ Mejores resultados → **PSO**

# Experimentos y resultados

## Contraste de hipótesis

### Prueba de Kruskal-Wallis

- ▶  $p$ -valor obtenido:  $1.21e-7$
- ▶ Diferencia estadísticamente significativa

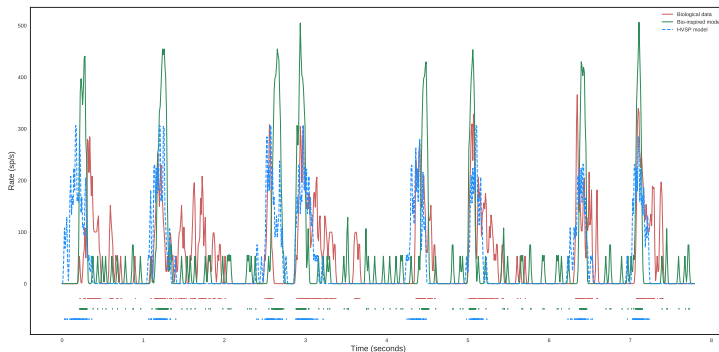
### Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney

	SPEA2	NSGA-II	NSGA-III	PSO	DE
SPEA2	-	0.0963	<b>0.0015</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0233</b>
NSGA-II	-	-	<b>0.0003</b>	<b>0.0002</b>	0.4497
NSGA-III	-	-	-	<b>0.0002</b>	<b>0.0002</b>
PSO	-	-	-	-	<b>0.0002</b>
DE	-	-	-	-	-

# Experimentos y resultados

## Predicción de disparos

- ▶ Una célula ganglionar
- ▶ Cuatro repeticiones del mismo estímulo
- ▶ Datos biológicos (rojo), modelo de retina (verde) y modelo HVSP (azul)



# Aceleración automática del modelo

- ▶ Selección de un individuo del frente de Pareto
- ▶ Codificación en lenguaje  $C \rightarrow$  Bajo acoplamiento
  - ▶ Código fuente sencillo
  - ▶ Código fuente ineficiente  $\rightarrow$  **Incompatible con tiempo real**
- ▶ Necesidad de mejorar el tiempo de ejecución y el tamaño del programa

## Propuesta

- ▶ Usar **optimizaciones/parámetros del compilador** para obtener la mejor planificación y mapeado de recursos
- ▶ Objetivo de tiempo real

# Aceleración automática del modelo

## Criterios

- ▶ Tiempo de ejecución
- ▶ Tamaño en memoria del programa

## Problema de optimización multiobjetivo

- ▶ Objetivos contrapuestos
- ▶ Algoritmo **NSGA-II**
- ▶ Codificación individuos: cada parámetro de optimización representa un gen

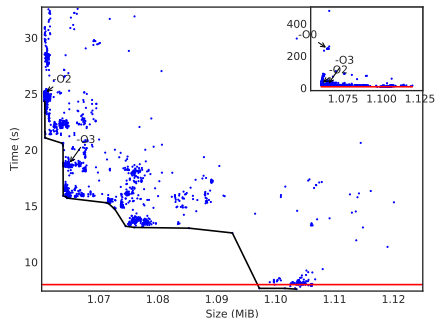
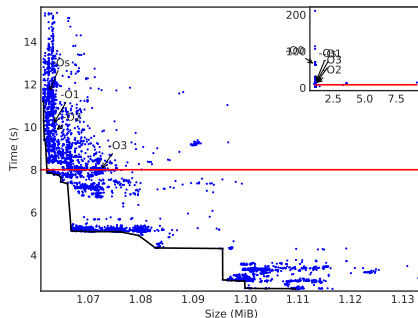
# Aceleración automática del modelo

## Parámetros

- ▶ **Población:** 500
- ▶ **Prob. cruce:** 20%
- ▶ **Prob. mutación:** 5%
- ▶ **Núm. generaciones:** 1000

## Plataformas

- ▶ **x86\_64:** 2x Intel U7300 1.73 GHz
- ▶ **ARMv7l:** 4x Cortex-A53 1.2GHz





# Conclusiones y trabajo futuro

## Conclusiones

- ▶ Ajuste del modelo computacional de retina
- ▶ Varias metaheurísticas para el ajuste del modelo (uso del hipervolumen y métodos estadísticos para validar las soluciones)
- ▶ Optimización de un individuo del frente de Pareto para la ejecución en tiempo real

## Trabajo futuro

Mejorar el modelo computacional de retina:

- ▶ Mecanismos de control de ganancia y contraste
- ▶ Filtros post-disparo neuronal
- ▶ Filtros de acoplamiento

# Optimización, caracterización y aceleración de un modelo de retina mediante el uso de metaheurísticas y algoritmos bioinspirados

**Rubén Crespo-Cano**, Alejandro Serrano-Cases, Eduardo Fernández,  
Sergio Cuenca-Asensi y Antonio Martínez-Álvarez

Departamento de Tecnología Informática y Computación  
Universidad de Alicante

Jornadas SARTECO 2018



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante