



# OPTIMIZACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELOS BIOINSPIRADOS DE VISIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE COMPUTACIÓN EVOLUTIVA Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

PyConES 2016

---

Alumno: **Rubén Crespo Cano**

Directores: Antonio Martínez y Eduardo Fernández

09/10/2016

Universidad de Alicante

# Índice de contenidos

1. Acerca de mí
2. Introducción
3. Estrategia evolutiva multiobjetivo de inferencia de modelos de retina
4. Herramientas y métodos
5. Experimentación
6. Publicaciones
7. Conclusiones y trabajo futuro

Acerca de mí

---

# ¿Quién soy?

- **Nombre** Rubén Crespo Cano
- **Estudios**
  - MSc in Computer Science
  - MSc in Telecommunication Engineering
  - PhD Student
    - Departamento de Tecnología Informática y Computación (UA)
    - Instituto de Bioingeniería (UMH)
- **Trabajo** Ingeniero de software en Everilion
- **E-mail** *rcrespocano@gmail.com*
- **Twitter** *@rcrespocano*
- **Researchgate** Rubén Crespo-Cano
- **Google Scholar** Rubén Crespo-Cano

# ¿Qué no soy?

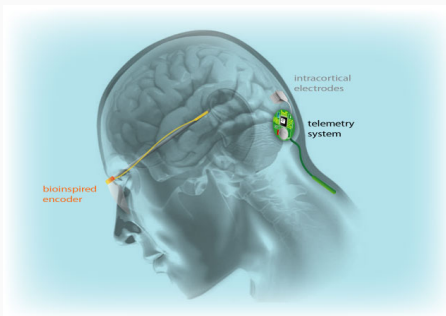
- No soy médico/oftalmólogo
- No soy neurocientífico
- No soy biólogo/biotecnólogo
- No soy óptico-optometrista

# Introducción

---

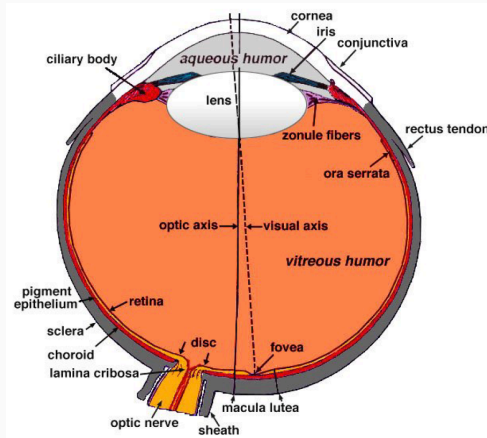
# Introducción

- **Proyecto matriz:** Diseño de una neuroprótesis cortical capaz de restaurar la visión a personas con discapacidad visual
- La obtención de un modelo funcional de retina fidedigno constituye un hito principal → **aproximación funcional entre el modelo sintético y la retina biológica**
- Modelar la gran **variabilidad** de la retina biológica es un **reto**



# La retina biológica

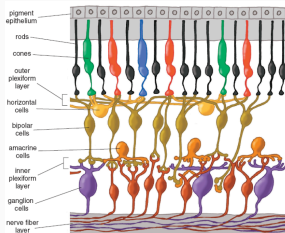
- Tejido neuronal formado por distintos tipos de células
- Responsable de las primeras etapas del procesamiento visual
- Función → Transformar los estímulos luminosos en **señales eléctricas**





# La retina biológica

- Integra un rico conjunto de células especializadas tales como fotorreceptores, horizontales, bipolares, amacrinas o ganglionares, las cuales son sensibles a:
  - Color & intensidad lumínica
  - Movimiento de imagen
  - Bordes ~→ Detección de bordes
  - Muchas otras características valiosas



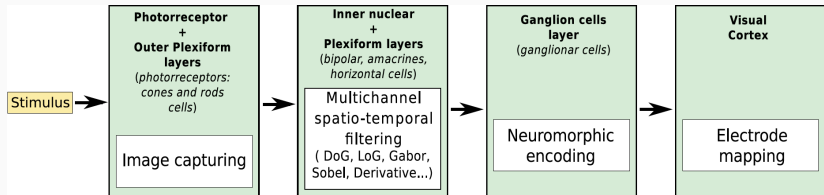
Interconexión de las células retinianas.

## ¿Qué es un modelo de retina?

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

# Modelo de retina bioinspirado

## Bloques de procesamiento del modelo de retina bioinspirado:

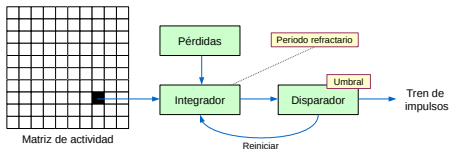
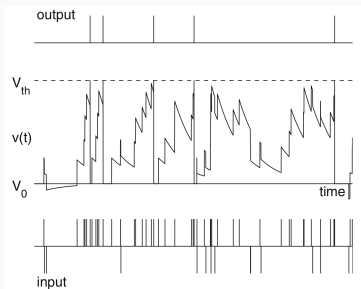


## Descripción matemática del modelo de retina:

$$\begin{aligned} \text{Stage}_1 &= N^i \cdot f_{\text{Gauss}}^i(\sigma_i, \mu_i, \kappa_i; \text{input}) + \\ &\quad N^{i+1} \cdot f_{\text{Gauss}}^{i+1}(\sigma_{i+1}, \mu_{i+1}, \kappa_{i+1}; \text{input}) + \dots \\ &\quad + N^{i+M} \cdot f_{\text{DoG}}^{i+M}(\sigma_1^{i+M}, \sigma_2^{i+M}, \mu_1^{i+M}, \mu_2^{i+M}, \kappa_1^{i+M}, \\ &\quad \kappa_2^{i+M}; \text{input}) + \dots + N^{i+K} \cdot f^{i+K}(\dots) + \dots; \\ \text{Stage}_2 &= \text{NeuroCod}(\text{NE\_Param}_0, \text{NE\_Param}_1, \\ &\quad \text{NE\_Param}_2, \dots, \text{NE\_Param}_j; \text{Stage}_1); \\ &\quad i, j, M, N, K \in \mathbb{N} \end{aligned}$$

## Modelo neuronal de integración y disparo (IF)

- Uno de los modelos más ampliamente utilizados para el análisis del comportamiento de los sistemas neuronales
- Potencial de acción: **spike** → Se genera cuando el potencial de la membrana alcanza un valor umbral



# Estrategia evolutiva multiobjetivo de inferencia de modelos de retina

---

# ¿Por qué una estrategia evolutiva multiobjetivo?

- Muchos parámetros y rango dinámico generalmente continuo  
→ **enorme espacio de búsqueda**
- Imposibilidad de exploración de todo el espacio de soluciones
- Necesidad de guiar el proceso de búsqueda
- Varios objetivos antagónicos → Problema **multiobjetivo**

# ¿Por qué una estrategia evolutiva 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 genéticos (GA)
  - SPEA-2
  - NSGA-II
  - NSGA-III
- Evolución diferencial (DE)
- Optimización por enjambre de partículas (PSO)

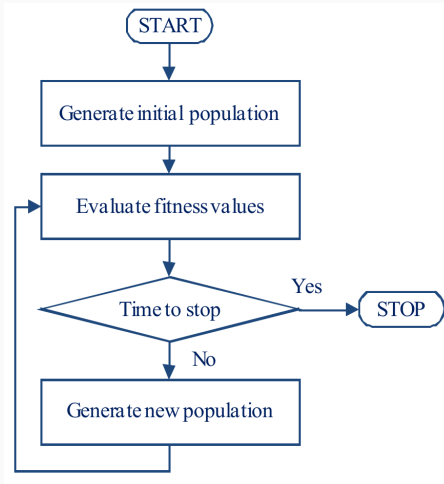


Diagrama de flujo genérico de un Algoritmo Evolutivo.

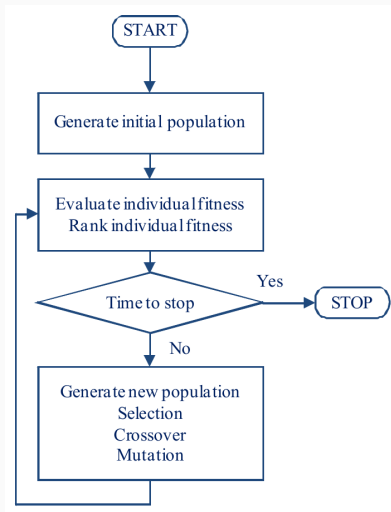


Diagrama de flujo genérico de un Algoritmo Genético.

# Differential Evolution

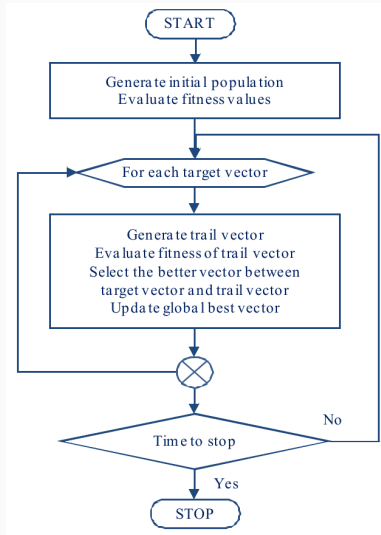


Diagrama de flujo genérico de un Algoritmo DE.

# Particle Swarm Optimization

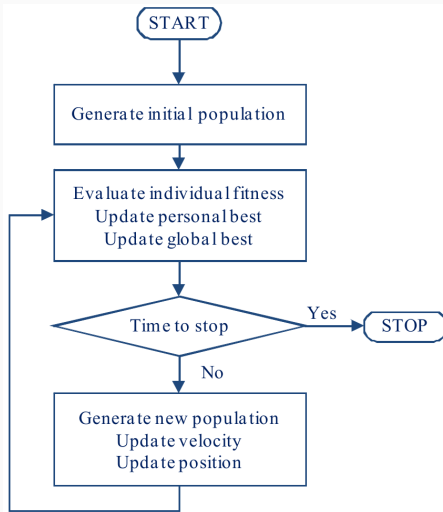


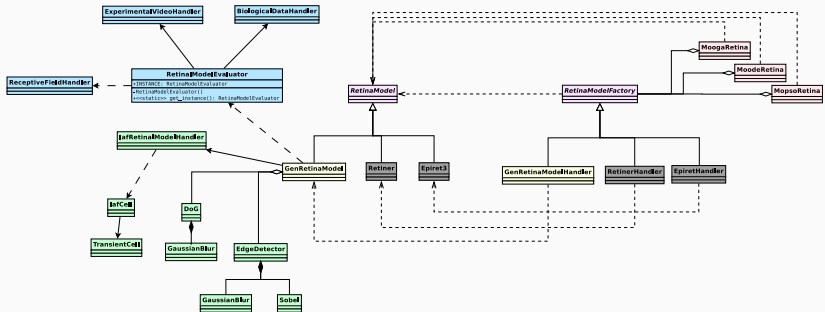
Diagrama de flujo genérico de un Algoritmo PSO.

# Herramientas y métodos

---

# Diseño del software de simulación

- Creación de un motor de simulación genético escalable
- Patrón de diseño GoF: **Factory Method**
  - Bajo acoplamiento
  - Alta cohesión



Esquema reducido del diagrama de clases UML del motor de simulación

- Tecnologías utilizadas

- Python 2.7.9
- SciPy & Numpy
- OpenCV
- DEAP
- Scikit-learn
- VisionEgg



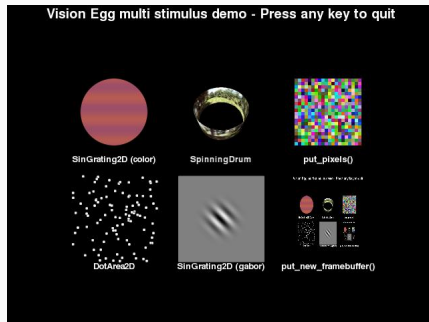
## Distributed Evolutionary Algorithms in Python

- Framework de Computación Evolutiva
- Estrategias evolutivas, Optimización multiobjetivo, Co-evolución, Paralelización, PSO, DE, etc



Enlace GitHub: <https://github.com/DEAP>

- Biblioteca para la generación de estímulos visuales para experimentos de investigación de la visión
- Utilización de tarjetas gráficas estándar y de bajo coste



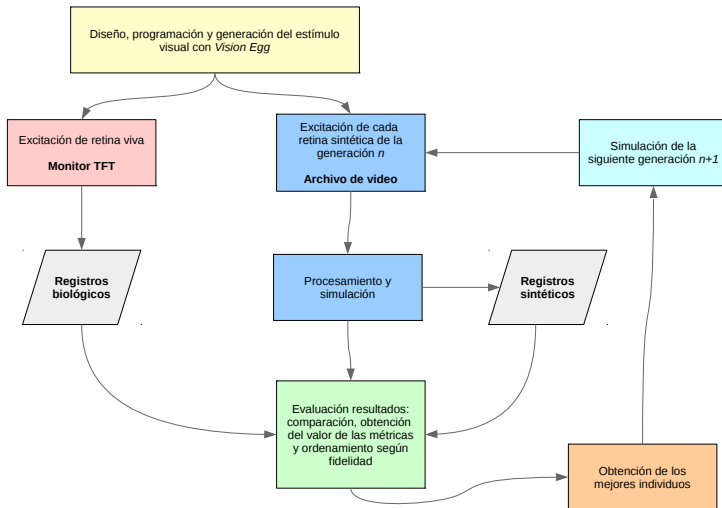
Enlace Vision Egg: <http://visionegg.org>

# Experimentación

---

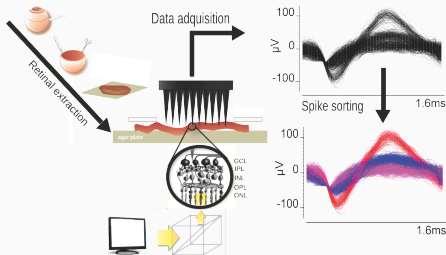
- Experimentación inicial con **animales**
  - Ratones adultos de tipo salvaje (C57BL/6J)
- Experimentación con **humanos**

# Esquema de la experimentación con animales



# Esquema de la experimentación con animales

## ¿Cómo se obtienen los registros biológicos?



- Registros extracelulares de las células ganglionares obtenidos de retinas de ratón aisladas
- Grabación de las respuestas mediante un **Utah Electrode Array** de tamaño  $10 \times 10$
- Clasificación de los impulsos mediante software basado en análisis PCA

Métricas comparativas entre modelos de retina:

- **Métrica 1:** Firing rate absolute difference (**FRAD**)
- **Métrica 2:** Peri-Stimulus Time Histogram - Kullback-Leibler divergence (**PSTH-KLD**)
- **Métrica 3:** Interspike Interval Histogram - Kullback-Leibler divergence (**ISI-KLD**)
- **Métrica 4:** Receptive field absolute difference (**RFAD**)

## Kullback-Leibler divergence (KLD)

- Medición de la **distancia** entre dos distribuciones de densidad
- Conocida como información de divergencia o entropía relativa

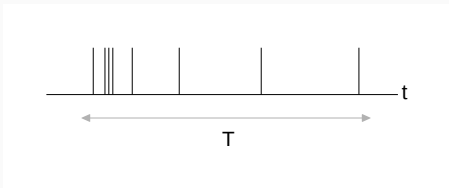
$$D_{KL}(P \parallel Q) = \sum_i P(i) \cdot \log \frac{P_i}{Q_i}$$

Central en la teoría de información, en estadística, en neurociencia y en aprendizaje automático



## Métrica 1: Firing rate absolute difference (FRAD)

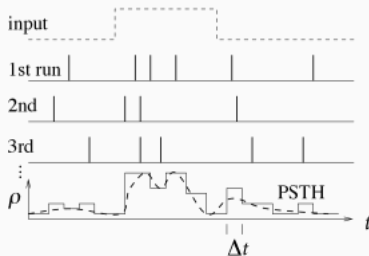
- Codificación neuronal  $\rightarrow$  representación de la información sensorial de las respuestas neuronales
- Tasa de disparo o **firing rate**  $\rightarrow$  promedio temporal
- Mucha información relevante contenida en la tasa de disparo



## Métrica 2: Peri-Stimulus Time Histogram (PSTH-KLD)

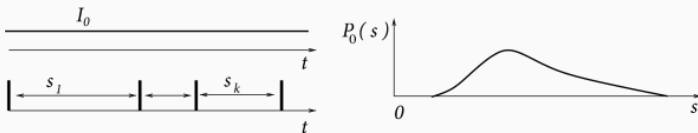
Si se divide el número de ocurrencias de disparos  $n_K(t; t + \Delta t)$  sumado sobre todas las repeticiones, entre el número de repeticiones  $K$  y el tamaño del intervalo  $\Delta t$ , se obtiene la **densidad** de la tasa de disparos

$$\rho(t) = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{n_K(t; t + \Delta t)}{K}$$



## Métrica 3: Interspike Interval Histogram (ISI-KLD)

- Método común de estudio de la variabilidad neuronal ante cierta entrada estacionaria
- Análisis de la distribución de los intervalos  $s_k$  entre dos impulsos consecutivos



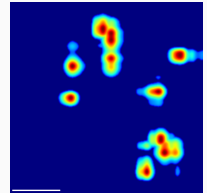
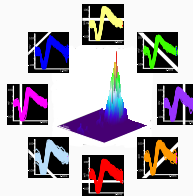
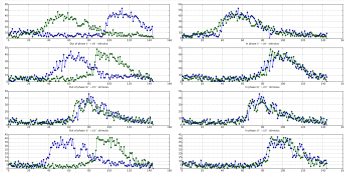
## Métrica 4: Receptive field absolute difference (RFAD)

- Diferencia en valor absoluto del área del campo receptivo
- Cuanto más proximo a cero  $\rightarrow$  mayor correlación

# Modelado del campo receptivo

## Delimitación y localización

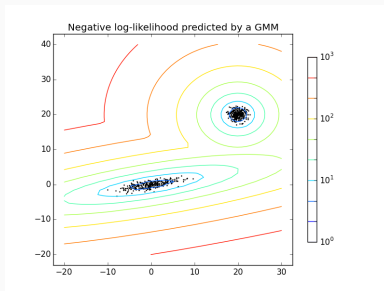
- Cálculo de los centroides
- Filtrado señales de ruido  $\rightarrow$  Peso al umbral de disparo
- Puesta en fase de las señales



# Modelado del campo receptivo

## Cálculo del área

- Técnicas y algoritmos pertenecientes a la rama de conocimiento del **aprendizaje automático**
- Clasificación de los campos receptivos mediante técnicas de **clustering**
- Método → **Gaussian Mixture Model**



Modelo de retina candidato para el ajuste paramétrico:

$$\begin{aligned} \text{Stage}_1 &= 0.5 \cdot f_{DoG}^1(\sigma_1^1, \sigma_2^1, \mu_1^1, \mu_2^1, \kappa_1^1, \kappa_2^1, R + B, 0.2 \cdot G; \text{input}) \\ &+ 0.3 \cdot f_{DoG}^2(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \mu_1^2, \mu_2^2, \kappa_1^2, \kappa_2^2, R + G, B; \text{input}) \\ &+ 0.2 \cdot f_{LoG}^3(\sigma_1^3, \sigma_2^3, \mu_1^3, \mu_2^3, \kappa_1^3, \kappa_2^3, I; \text{input}) \\ \text{Stage}_2 &= IF(\text{Threshold}, \text{Leakage}, \text{RefractoryPeriod}, \\ &\quad \text{Persistence}, \text{FrequencyModulationFactor}; \text{Stage}_1); \end{aligned}$$

# Setup experimental

Parámetros del algoritmo genético:

**Tamaño Población:** 60 individuos

**Probabilidad Mutación:** 5%

**Probabilidad Recombinación:** 30%

**Número de generaciones:** 2500

Simulación:

**Sistema de procesamiento:** Intel Xenon X5660 con 48GiB de RAM

**Tiempo de simulación por cada generación:** 22 minutos

**Tiempo de simulación:** 917 horas (39 días)



# Setup experimental

Parámetros del cromosoma:

Parámetro	Valor Mín.	Valor Máx.	Tipo de dato
$K$ ( <i>odd number</i> )	3	13	int
Threshold	225.0	275.0	float
Leakage	10.0	15.0	float
Refractory period	1.0	10.0	float
Persistence time	3	7	int
FMF	0.25	0.40	float

- Se han diseñado dos casos de estudio experimentales para evaluar la viabilidad de la estrategia MOOGA propuesta (GA - NSGA-II)
  - **Caso de estudio 1:** Estudio de la **convergencia** del método
  - **Caso de estudio 2:** Ajuste **multiobjetivo** de un modelo de retina

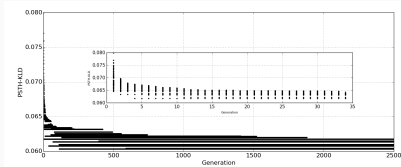
# Caso de estudio 1

- Estudio de la convergencia del método
- Cuatro **experimentos monobjetivo** → aproximación de los registros electrofisiológicos sintéticos y biológicos

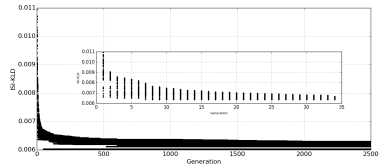
Métrica cuantitativa	Experimento
PSTH-KLD	Experimento 1
FRAD	Experimento 2
ISI-KLD	Experimento 3
RFAD	Experimento 4

# Caso de estudio 1

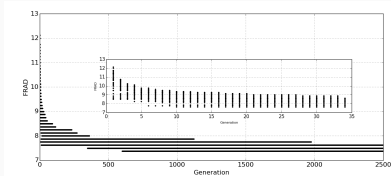
## Resultados:



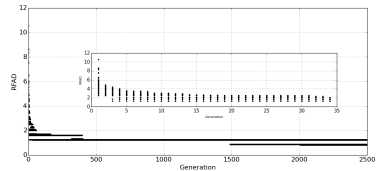
PSTH-KLD



ISI-KLD



FRAD

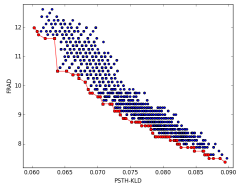


RFAD

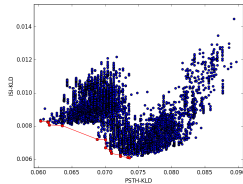
- Evaluación de efectividad de la estrategia MOOGA (NSGA-II) propuesta → experimento **multiobjetivo**
- Problema de **minimización**

# Caso de estudio 2

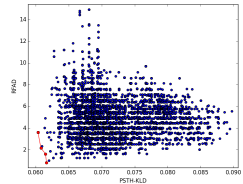
Resultados:



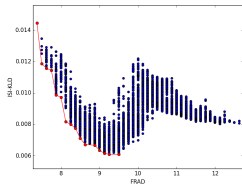
PSTH-KLD vs FRAD



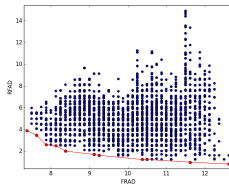
PSTH-KLD vs ISI-KLD



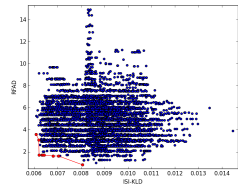
PSTH-KLD vs RFAD



FRAD vs ISI-KLD

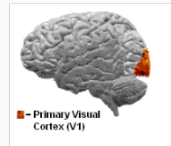
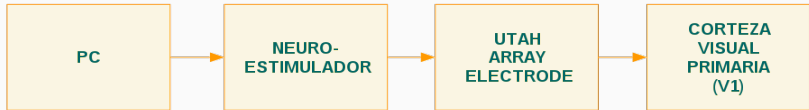


FRAD vs RFAD



ISI-KLD vs RFAD

# Esquema de la experimentación con humanos



- PC → NEURO-ESTIMULADOR
  - Python & GTK+ 3 (¿Qt 5?)
  - Integración Python-C (ctypes, cython, cffi, etc.)

# Publicaciones

---



- Rubén Crespo-Cano, Antonio Martínez-Álvarez, et al., **On the automatic tuning of a retina model by using a multi-objective optimization genetic algorithm**, International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation, Springer International Publishing, 2015, pp. 108–118.  
[http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-18914-7\\_12](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-18914-7_12)
- Antonio Martínez-Álvarez, Rubén Crespo-Cano, et al., **Automatic tuning of a retina model for a cortical visual neuroprosthesis using a multi-objective optimization genetic algorithm**, International Journal of Neural Systems 26 (2016), no. 07, 1650021, PMID: 27354187. <http://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0129065716500210>

## Conclusiones y trabajo futuro

---

- Se han propuesto métricas comparativas satisfactorias entre modelos de retina sintéticos
- Se ha presentado una estrategia evolutiva multiobjetivo para el modelado de retinas sintéticas que cumple las expectativas
- Las métricas de calidad convergen en una cantidad de tiempo razonable

- Explorar/diseñar nuevas métricas cuantitativas para proporcionar una mejor aproximación y convergencia
- Trabajar en el diseño de mejores estímulos visuales a fin de revelar un comportamiento más sofisticado de la retina
- Comparar distintos modelos de retina
- Optimizar el framework para mejorar los tiempos de simulación

¿Preguntas?

¡Gracias por su atención!



# OPTIMIZACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELOS BIOINSPIRADOS DE VISIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE COMPUTACIÓN EVOLUTIVA Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

PyConES 2016

---

Alumno: **Rubén Crespo Cano**

Directores: Antonio Martínez y Eduardo Fernández

09/10/2016

Universidad de Alicante