



# Navegación mediante Evolución de Redes Neuronales Recurrentes y Dinámicas

Tesis Doctoral dirigida por Blanca Cases y  
Alvaro Moreno Bergareche

Pablo González Nalda

Depto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos

25 de abril de 2008



# Contenidos de la presentación

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

- 1 Área de investigación y objetivos
- 2 Inteligencia Artificial, Conexionismo y Robótica
- 3 Robótica Evolutiva
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones



## CONTENIDOS

### Área de investigación y objetivos

Introducción  
Área de  
investigación  
Objetivos del  
trabajo  
Problema  
planteado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

- 1 Área de investigación y objetivos
- 2 Inteligencia Artificial, Conexionismo y Robótica
- 3 Robótica Evolutiva
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones



# Introducción

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia

Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

El objetivo del trabajo es el desarrollo exploratorio de la Robótica Evolutiva con fines técnicos.

Se crea el marco teórico necesario y se verifica mediante un experimento.

El experimento se basa en la obtención de un robot con comportamiento de navegación en entornos no estructurados.

Los únicos puntos de referencia para navegar son sonidos reales, señales complejas variables en el tiempo.



# Robótica en entornos no estructurados

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Entorno no estructurado: la descripción o representación del entorno es inviable

- por falta de información,
- porque el entorno es cambiante
- o el entorno es demasiado complicado para que su descripción pueda ser manejable.

La Robótica Evolutiva es adecuada en el desarrollo de robots para entornos no estructurados.

Robótica Basada en el Comportamiento: control de los robots imitando los comportamientos animales.



# *Espectro de control robótico*

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

*Espectro de control robótico*: clasificación continua de los robots entre sistemas deliberativos,

- simbólicos
- basados en Inteligencia Artificial “clásica” y
- adecuados para entornos altamente estructurados,

y sistemas reactivos,

- subsimbólicos,
- basados en sistemas conexionistas y
- adecuados para entornos no estructurados.



# Entorno multidisciplinar

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
planteado

Inteligencia

Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

El entorno multidisciplinar del trabajo permite tener un referente teórico para las cuestiones técnicas:

Biología: evolución y fisiología

Neurociencias: estructura y su relación con la percepción

Psicología: percepción básica y comportamiento

Filosofía de la Ciencia: visión de conjunto y abstracción de los mecanismos

En este trabajo se prioriza el objetivo práctico frente al conocimiento que da un modelo fiel del referente biológico.



# Diseño automático

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
planteado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

En el diseño *a mano* el programador elige la manera de procesar los datos y determina qué información es relevante.

En este trabajo el robot se diseña (parametriza) de forma automática, aplicando

- estrategias evolutivas al conjunto de hardware y controlador y
- los conceptos de corporeidad y ubicación

La evolución decide la estructura perceptiva que extrae la información relevante del entorno.





# Inteligencia, Emergencia, Autoorganización y Vida Artificial

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

La Vida Artificial busca la Inteligencia con los mecanismos de la Emergencia y la Autoorganización.

Los sistemas vivos están compuestos por multitud de elementos. Su interacción a través de reglas locales simples produce una dinámica global, que puede llegar a considerarse *inteligente*.

El comportamiento del sistema no se puede reducir al de las partes, sino que emerge de sus interacciones.

La autoorganización es el incremento de complejidad en la estructura que une los elementos sin influencias externas.



# Vida Artificial con motivación técnica

## CONTENIDOS

### Área de investigación y objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

La Vida Artificial busca modelos descriptivos fieles a los observados en la Naturaleza.

La mayor parte de los trabajos tienen una orientación analítica y reduccionista para comprender los sistemas vivos.

Este trabajo tiene como objetivo integrar diferentes modelos de la Vida Artificial con una motivación técnica.



# Objetivo principal del trabajo

## CONTENIDOS

### Área de investigación y objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Obtención de un robot en simulación con un comportamiento de navegación en entornos no estructurados en el área de investigación descrita.

El robot debe ser capaz de diferenciar (percibir) señales variables en el tiempo, y usarlas en el comportamiento de navegación como puntos de referencia en un entorno sin mapas ni otros sistemas de localización.

## Navegación

Navegación es el movimiento dirigido de un agente, generado analizando aquella información sensorial que el agente necesita para realizar sus funciones vitales. En la navegación es evidente la utilidad de la inspiración biológica.



# Percepción y Redes Neuronales

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia

Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

La percepción se puede interpretar como el reconocimiento de patrones en una determinada señal.

Con los planteamientos presentados, los sistemas conexionistas son adecuados para la percepción por su gran capacidad de generalización y parametrización.

El reconocimiento de patrones temporales se realiza de forma paralela a la adquisición de información y al control de la parte motora.

Las Redes Neuronales de Pulsos tienen gran capacidad de procesamiento temporal de la entrada. Además su inspiración biológica es mayor que la de las redes neuronales habituales.



# Simplificación

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
planteado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

El comportamiento, aparentemente difícil, se simplifica por el planteamiento y resulta analizable.

El robot se simplifica por

- la corporeidad,
- la simetría axial,
- la configuración de los sensores y
- la Red Neuronal de Pulsos.



# Problema implementado en la aplicación TOPOS

## CONTENIDOS

### Área de investigación y objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

**Problema  
plantado**

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Se plantea una simulación en la que se obtiene mediante estrategias evolutivas un robot que:

- navega usando puntos de referencia complejos
- distingue dos señales compuestas que varían en el tiempo (sonido real)
- recibe una señal que varía independientemente de su movimiento
- elige una de las dos señales acercándose a ella en un esquema *caja de Skinner*
- percibe y actúa a través de una Red Neuronal de Pulsos y sensores evolucionados
- se diseña con un enfoque fuertemente bioinspirado



# ¿Por qué en simulación?

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Porque:

- el resultado en un robot real no tendría aplicación directa ni aporta más conclusiones al trabajo
- en el desarrollo de prototipos y la búsqueda de técnicas adecuadas en un trabajo exploratorio no es necesario el formato final
- el trabajo adicional requerido para obtener un robot real se aplica al estudio de otras posibilidades



# Dificultades ya previstas al plantear el problema

## CONTENIDOS

### Área de investigación y objetivos

Introducción

Área de  
investigación

Objetivos del  
trabajo

Problema  
plantado

Inteligencia

Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Se conocen de antemano las siguientes dificultades:

- es difícil conseguir una descripción adecuada de un robot con esta complejidad para su uso evolutivo.
- el diseño resultante puede no ser adecuado para adaptarse a nuevas tareas o planteamientos.





## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Símbolos  
Conexionismo  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

- 1 Área de investigación y objetivos
- 2 **Inteligencia Artificial, Conexionismo y Robótica**
- 3 Robótica Evolutiva
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones



# La Hipótesis del Sistema de Símbolos

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

**Símbolos**  
Conexionismo  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

## La Hipótesis del Sistema de Símbolos

- Los sensores suministran símbolos.
- Por ello el sistema de razonamiento puede separarse del sensomotor.



# Conexionismo

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Símbolos  
Conexionismo  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

También conocido como Procesamiento Distribuido Paralelo (PDP).

Permite de una forma natural el procesamiento subsimbólico o sintáctico de la información.

Los sistemas conexionistas encajan en la idea de un conjunto de elementos simples con reglas locales.

Están inspirados en:

Física: Enfriamiento Estadístico (*Simulated Annealing*)

Topología: SOM o Redes de Kohonen

Probabilidad: Redes Bayesianas

Neurociencias: Redes Neuronales



# Conceptos para la Robótica

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Símbolos  
Conexionismo  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

**Corporeidad:** el controlador depende de la morfología del robot

**Ubicación:** un robot debe estar acoplado a su entorno y tomarlo como el modelo del mundo

**Simulaciones mínimas:** se pueden construir simulaciones sencillas que produzcan controladores válidos para robots reales



# Inspiración Biológica

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Símbolos  
Conexionismo  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

La Inspiración Biológica permite disponer de un referente en el diseño de robots autónomos.

Puede ser funcional o estructural y con diferentes niveles de inspiración.

El extremo es la Robótica Biomimética, que construye mecanismos directamente basados en modelos de los sistemas biológicos para desarrollar la misma funcionalidad en el robot.



## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

**Robótica  
Evolutiva**

Objetivos y  
situación actual  
Simulaciones e  
implementaciones  
Límites y problemas

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

- 1 Área de investigación y objetivos
- 2 Inteligencia Artificial, Conexionismo y Robótica
- 3 Robótica Evolutiva**
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones



# Objetivos y situación actual de la Robótica Evolutiva

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Objetivos y  
situación actual  
Simulaciones e  
implementaciones  
Límites y problemas

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

La Robótica Evolutiva se basa en:

- aplicar técnicas de Vida Artificial a la Robótica Basada en el Comportamiento, con el objetivo de estudiar la cognición.
- evitar el *techo* de complejidad en el diseño *a mano*.
- evitar el problema de basarse en símbolos.

En la actualidad se busca la obtención y el estudio de nuevos mecanismos adaptativos y cognitivos, y en menor medida, la obtención de capacidades y comportamientos más complejos.



# Simulaciones e implementaciones en robots reales

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Objetivos y  
situación actual  
Simulaciones e  
implementaciones  
Límites y problemas

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Actualmente hay dos líneas:

- es inútil trabajar sólo en simulación porque no se asegura su funcionamiento en la realidad.
- si se analiza el problema correctamente, es posible definir una *simulación mínima* que facilita saltar de simulación a realidad.





# Límites y problemas de la Robótica Evolutiva

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Objetivos y  
situación actual  
Simulaciones e  
implementaciones  
Límites y problemas

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

**Morfogénesis:** desarrollo de una forma a partir de la información genética

**Escalabilidad:** aplicación del mecanismo a problemas cuantitativamente más complejos



## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global

Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

Fitness

Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

- 1 Área de investigación y objetivos
- 2 Inteligencia Artificial, Conexionismo y Robótica
- 3 Robótica Evolutiva
- 4 Diseño de TOPOS**
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones



# Diseño de TOPOS

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global  
Faros  
Topos  
Oídos  
Neuronas  
Algoritmo Genético  
Fitness  
Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Simulación de un robot de dos ruedas en una superficie rectangular con dos fuentes de sonido.

Los individuos tienen una Red Neuronal de Pulsos que conecta sensores con motores.

Se evoluciona una población de robots con un Algoritmo Genético elitista.

Se seleccionan los individuos según su capacidad de acercarse a la fuente de sonido determinada al principio de las pruebas (caja de Skinner).



# Proceso auditivo

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

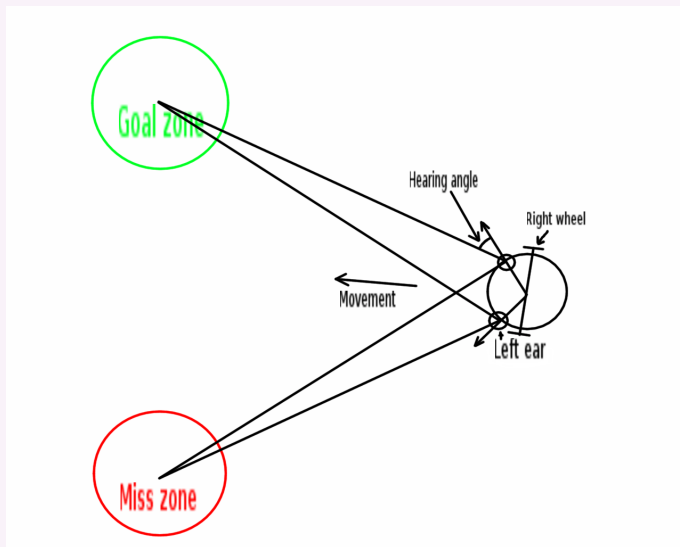
Descripción global

Faros  
Topos  
Oídos  
Neuronas  
Algoritmo Genético  
Fitness  
Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Ejemplo de movimiento

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global

Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

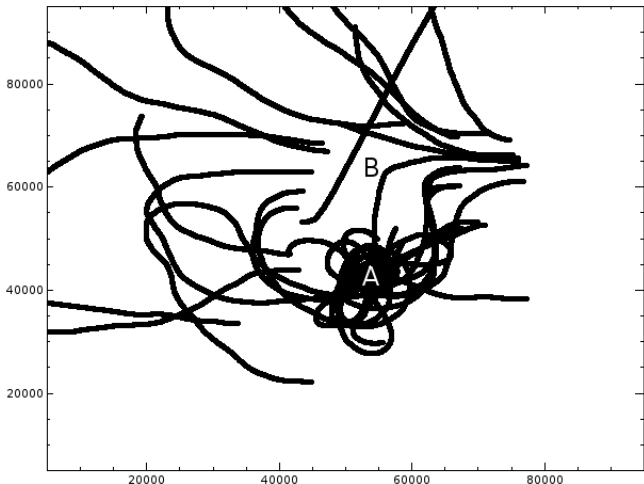
Fitness

Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Fuentes de sonido o *faros*

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexiónismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global

**Faros**

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

Fitness

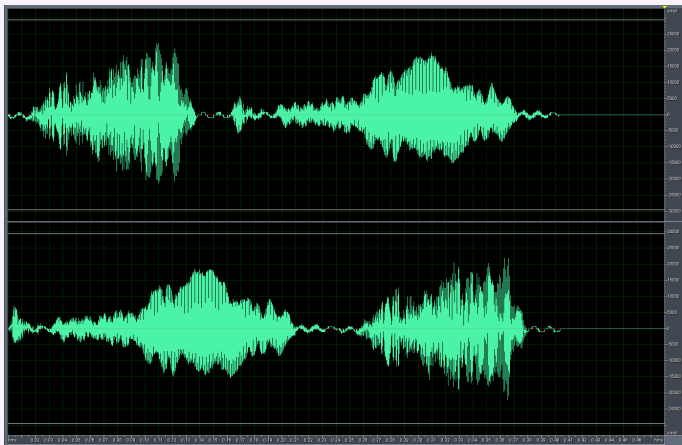
Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Los faros son fuentes de sonido estéreo.

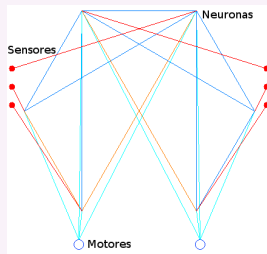
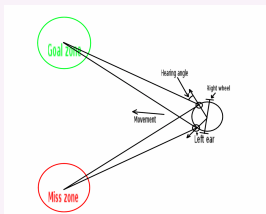




# Individuos o *topos*

Los topos son simétricos por diseño. Se componen de:

- dos oídos con oído externo e interno
- dos subredes neuronales interconectadas
- información genética
- posición



## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global  
Faros

**Topos**  
Oídos  
Neuronas  
Algoritmo Genético  
Fitness  
Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones



# Oído interno (Transformada de Fourier) y activación de neuronas sensoras

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global  
Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

Fitness

Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Los sensores simulan los campos receptivos de nuestros oídos.

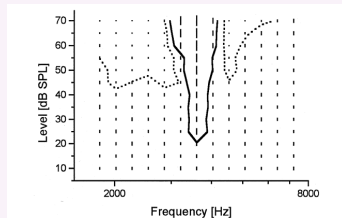
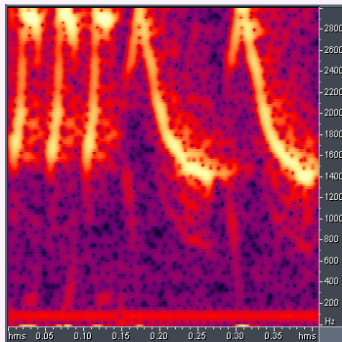


Fig. 1. Example of a response matrix defining the tuning characteristics. The height of the bars indicates the number of impulses per frequency-level combination. A FTC (solid line) and inhibitory sidebands (dotted lines) are added according to the threshold criteria described in the text.

A la activación del sensor se le resta un número aleatorio para simular la indeterminación del sistema y el ruido de la señal.





# Funcionamiento de las neuronas

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global  
Faros  
Topos  
Oídos

**Neuronas**

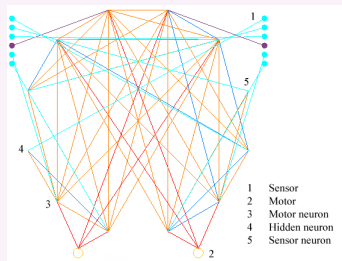
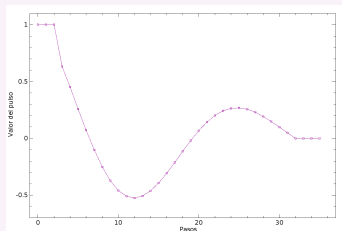
Algoritmo Genético  
Fitness  
Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Pulso de una neurona y tipos de neuronas en un individuo genérico:





# Algoritmo Genético

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global  
Faros  
Topos  
Oídos

Neuronas  
Algoritmo Genético  
Fitness  
Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

La representación del individuo en el genotipo es directa.

Los parámetros del robot se codifican en números reales y enteros, y booleanos *difusos* (codificados como enteros).

La evolución es elitista:

- el 25 % mejor pasa a la siguiente generación.
- el 25 % peor se desecha y el resto participa en el cruce y creación de los nuevos individuos de la siguiente generación.

La mutación ocurre en un 10 % de las copias de datos, y consiste en multiplicar por un valor aleatorio generado con una gaussiana de media 1.



# El problema y la función de adecuación o *fitness function*

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global  
Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

**Fitness**

Incremental

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

El problema se considera complejo pero la función de adecuación es sencilla:

- resta y suma de un valor proporcional al cuadrado de la distancia mínima a cada faro, correcto e incorrecto respectivamente.
- se suma y resta una bonificación si se ha acercado a una distancia del faro.
- el valor final es la media de cinco pruebas, sustituyendo los negativos por cero.



# El problema del planteamiento incremental

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Descripción global

Faros

Topos

Oídos

Neuronas

Algoritmo Genético

Fitness

**Incremental**

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

La representación directa dificulta el cambio de tarea para una población.

La evolución desde una población aleatoria da mejor resultado que desde una que resuelve un problema distinto.

Una morfogénesis no lineal (representación indirecta) permitiría un cambio suave entre tareas.



## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

## Resultados

Evaluación absoluta  
Corrección  
Señales complejas  
Ruido  
Silencio  
PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

- 1 Área de investigación y objetivos
- 2 Inteligencia Artificial, Conexionismo y Robótica
- 3 Robótica Evolutiva
- 4 Diseño de TOPOS
- 5 Resultados
- 6 Análisis de un individuo
- 7 Conclusiones



# Resultados de los experimentos realizados con TOPOS

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados  
**Evaluación absoluta**  
Corrección  
Señales complejas  
Ruido  
Silencio  
PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Valores que indican la capacidad de hacer la tarea en porcentaje de efectividad.

eficacia absoluta:  $efa = \text{aciertos} / \text{pruebas}$

eficacia relativa:  $efr = \text{aciertos} / (\text{aciertos} + \text{fallos})$

Estas cantidades indican de forma absoluta la capacidad de solucionar un problema, frente a una *fitness* relativa difícil de interpretar.



# Comprobación del sistema sin sonido y con un sonido en un faro

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

**Corrección**

Señales complejas

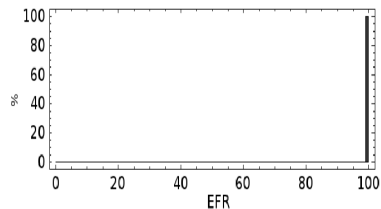
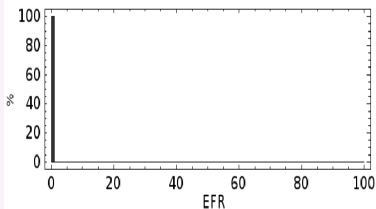
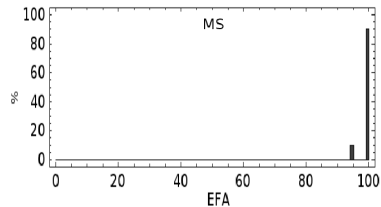
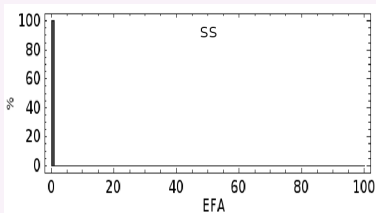
Ruido

Silencio

PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Comprobación del sistema con dos sonidos iguales en los faros

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexiónismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

**Corrección**

Señales complejas

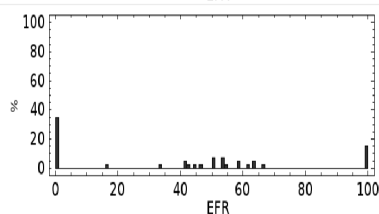
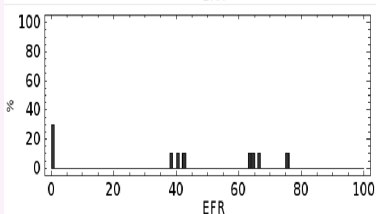
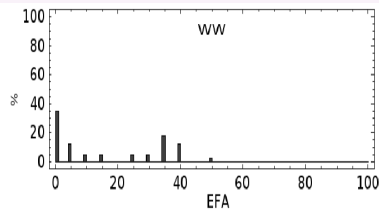
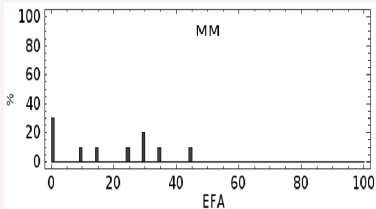
Ruido

Silencio

PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones







# Reconocimiento de una determinada intensidad de señal

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

**Señales complejas**

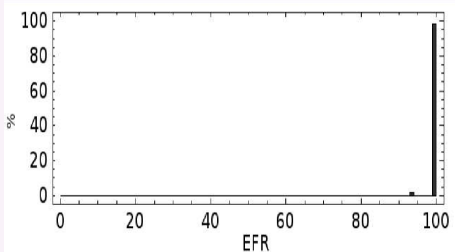
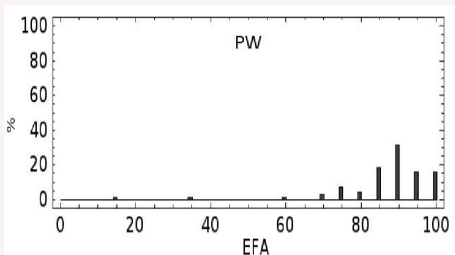
Ruido

Silencio

PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Reconocimiento de una secuencia temporal

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexiónismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

**Señales complejas**

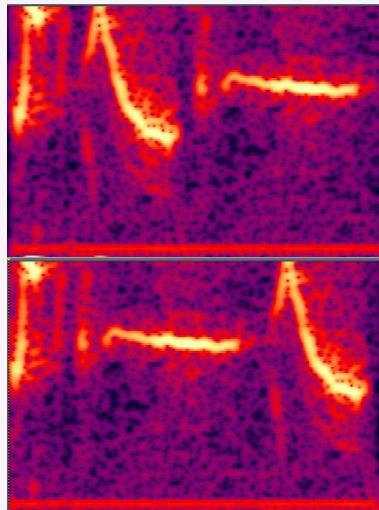
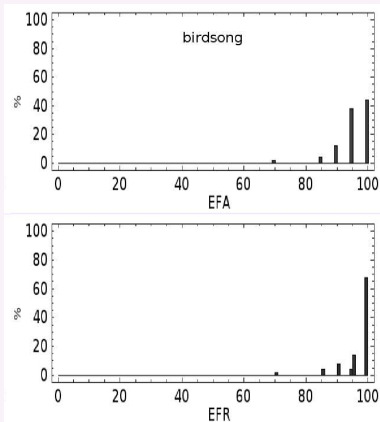
Ruido

Silencio

PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Robustez frente al ruido (batería y rock)

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

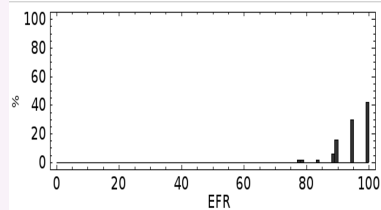
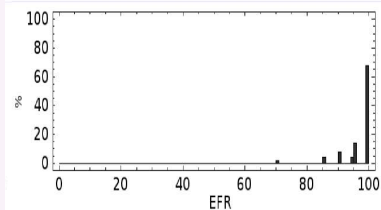
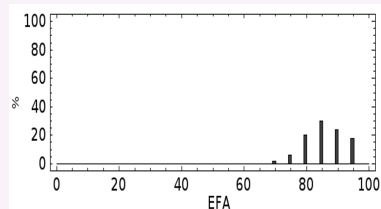
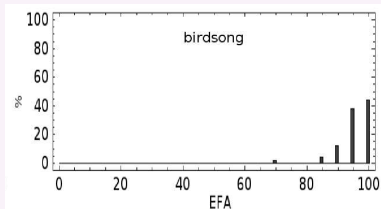
Resultados

Evaluación absoluta  
Corrección  
Señales complejas

**Ruido**  
Silencio  
PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Comportamiento de la población sin y con ruido

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

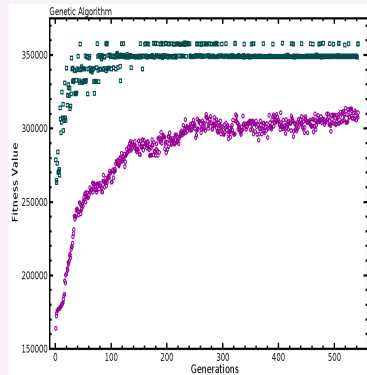
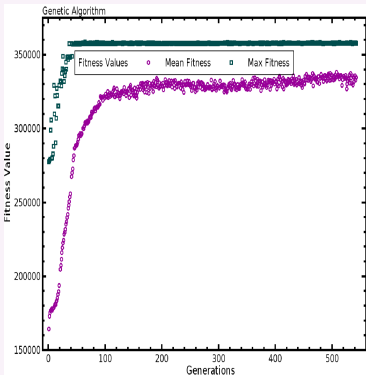
Evaluación absoluta  
Corrección  
Señales complejas

**Ruido**

Silencio  
PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Con dos y cuatro fuentes de ruido blanco

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexiónismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

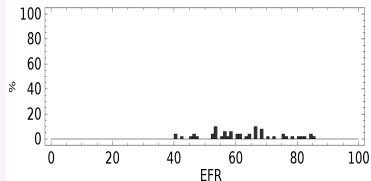
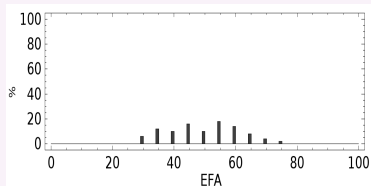
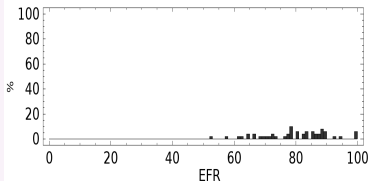
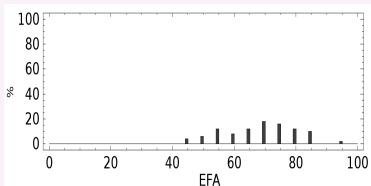
**Ruido**

Silencio

PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Sonidos con partes de silencio

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

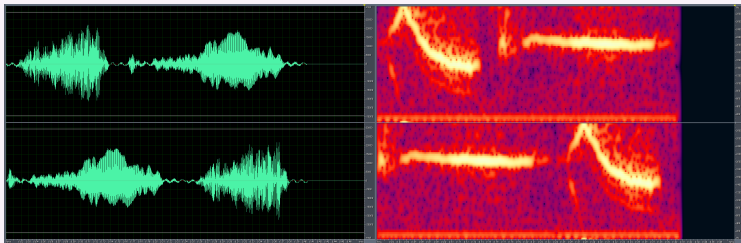
Ruido

**Silencio**

PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Rendimiento con sonidos con partes de silencio

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta

Corrección

Señales complejas

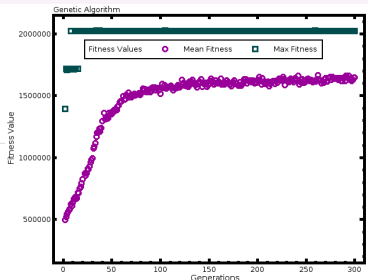
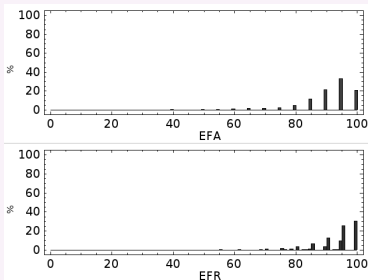
Ruido

Silencio

PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones





# Sonidos con formato PCM

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

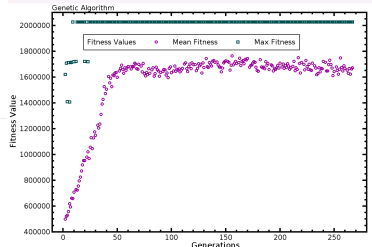
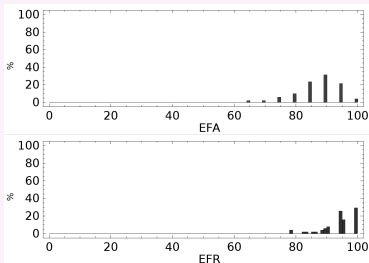
Diseño de  
TOPOS

Resultados

Evaluación absoluta  
Corrección  
Señales complejas  
Ruido  
Silencio  
PCM

Análisis de un  
individuo

Conclusiones







## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Límites

Conclusiones

1 Área de investigación y objetivos

2 Inteligencia Artificial, Conexionismo y Robótica

3 Robótica Evolutiva

4 Diseño de TOPOS

5 Resultados

6 Análisis de un individuo

7 Conclusiones



# Dificultades en el análisis de un individuo

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

**Límites**

Conclusiones

Es difícil determinar cuáles son las partes funcionales y qué características son necesarias.

El método es *anular* partes del individuo y observar si se sigue comportando igual, de forma *degradada* o se han perdido las capacidades.

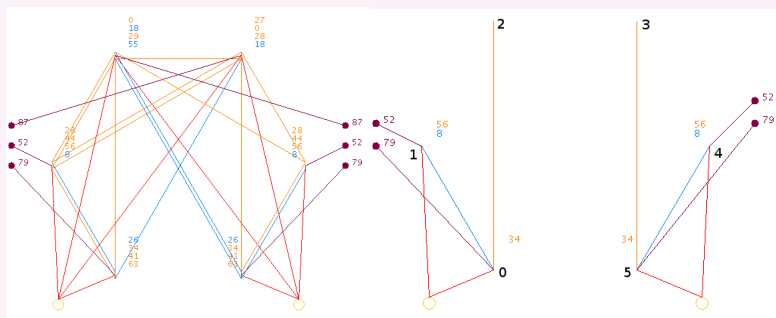
*Poda* de un individuo (experimento con partes de silencio)

## CONTENIDOS

Robótica Evolutiva

## Resultados

## Límites



Número de neurona (negro). Conexiones y retardos de las conexiones entrantes en naranja (peso positivo) y azul (peso negativo). Los pesos de los sensores son todos positivos (color vino). El retardo 56 es recursivo.



# Sensores

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

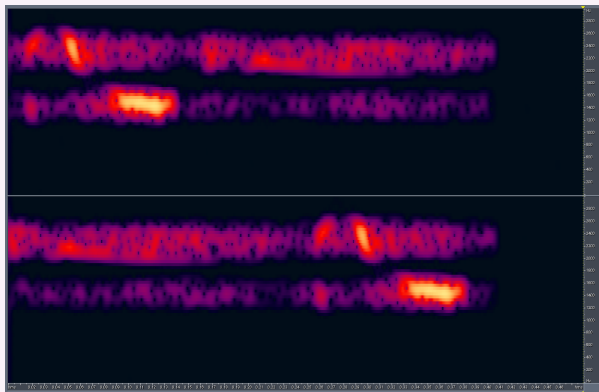
Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Límites

Conclusiones



Sensores	FC	Umbral	Bandas	Saturación	Peso
0 y 5	2292.9	20	5	22	79
1 y 4	1391.7	23	15	269	52

Su separación a cada lado del eje es de  $64^\circ$ .



## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Conclusiones  
globales  
Trabajo futuro

1 Área de investigación y objetivos

2 Inteligencia Artificial, Conexionismo y Robótica

3 Robótica Evolutiva

4 Diseño de TOPOS

5 Resultados

6 Análisis de un individuo

7 Conclusiones



# El problema señala la viabilidad de un desarrollo técnico encuadrado en la Robótica Evolutiva

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Conclusiones  
globales  
Trabajo futuro

Se ha construido una simulación en la que se obtiene mediante estrategias evolutivas un robot que:

- navega usando puntos de referencia complejos
- distingue y elige una de las dos señales compuestas que varían en el tiempo (sonido real)
- recibe una señal que varía independientemente de su movimiento
- percibe y actúa a través de una Red Neuronal de Pulsos y sensores evolucionados
- se diseña con un enfoque fuertemente bioinspirado



# Conclusiones

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Conclusiones  
globales

Trabajo futuro

El robot tiene un comportamiento de navegación al diferenciar sonidos variables en el tiempo que usa como puntos de referencia.

El resultado valida el método como adecuado para obtener robots más sencillos que desarrollen tareas *complejas* en entornos no estructurados.

El robot es mucho más simple que lo que supuestamente haría falta con técnicas de IA clásica.

Se determinan mecanismos para usar la Robótica Evolutiva con fines técnicos.



# Dificultades comprobadas en la construcción del sistema

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones  
Conclusiones  
globales  
Trabajo futuro

La aplicación tiene un diseño *tradicional* en la Robótica Evolutiva.

Se ha comprobado que este tipo de diseño dificulta las siguientes tareas:

- es difícil conseguir una descripción adecuada de un robot con esta complejidad para su uso evolutivo.
- el robot resultante no es suficientemente flexible para adaptarse a nuevas tareas o planteamientos.

Estas dificultades forman la base del trabajo futuro.





# Trabajo futuro

## CONTENIDOS

Área de  
investigación y  
objetivos

Inteligencia  
Artificial,  
Conexionismo y  
Robótica

Robótica  
Evolutiva

Diseño de  
TOPOS

Resultados

Análisis de un  
individuo

Conclusiones

Conclusiones  
globales

Trabajo futuro

- Morfogénesis:
- expresión no lineal de la información genética
  - sensores (exteroceptores y propioceptores) y motores complejos
  - topología de la red neuronal más variada
  - neuronas más potentes y mecanismos de aprendizaje

*Escalabilidad:* los entornos complejos y la morfogénesis permitirán tareas complejas y estructuras inalcanzables con diseño a mano.