



Universidad
Zaragoza

Diseño y análisis de redes homeostáticas adaptativas

Grado de Ingeniería Informática

Alberto Martínez Menéndez

Director: Manuel Gonzalez Bedía

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Tabla de contenidos

1. Motivación
2. Objetivos
3. Modelo
4. Agente individual
5. Agentes colectivos
6. Conclusiones

Motivación

Motivación

- Agentes artificiales basados en **hábitos** en lugar de en **instrucciones**.
- Sistemas o modelos automantenidos (**Sistema homeostático**).



Motivación

- Controladores con **plasticidad** neuronal.
- Comportamientos sociales entendidos como dos corrientes distintas:
 - Entendidos desde una aproximación **aditiva**.
 - Entendidos desde una aproximación **estructurada**.



Objetivos

- Diseño de agentes artificiales homeostáticos capaces de desarrollar un comportamiento de **fototaxis**.
- Comprobar la robustez de los agentes artificiales en entornos colectivos según las capacidades sociales se hayan desarrollado de manera **aditivas** o **estructurales**.

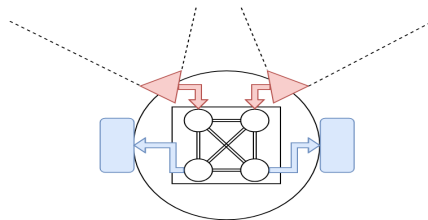
Objetivos: pasos seguidos

- Comprensión del concepto de homeostasis.
- Diseño e implementación de un agente artificial con comportamientos de fototaxis individual y plasticidad.
- Diseño e implementación de dos agentes artificiales (uno según cada corriente) con comportamientos de fototaxis colectiva y plasticidad.
- Ejecución de pruebas colectivas, análisis de los resultados y obtención de conclusiones.

Modelo

Agente artificial

- Dos sensores.
- Dos motores.
- Controlador basado en una CTRNN.



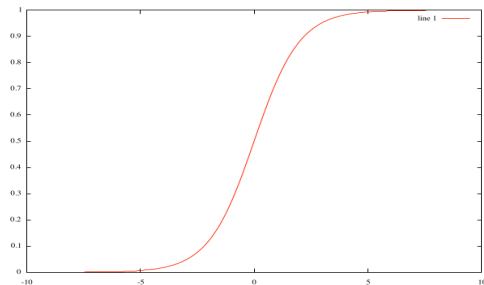
Controlador basado en una Red Neuronal Recurrente de Tiempo Continuo (CTRNN)

$$\dot{y}_i = \frac{1}{\tau_i} * \left(-y_i + \sum_{j=1}^N w_{ji} * \sigma(g(y_j + \theta_j)) + l_i \right) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

- \dot{y}_i : nueva activación (estado) de la neurona i.
- τ_i : constante de tiempo de la neurona i.
- y_i : activación actual de la neurona i.
- w_{ji} : peso de la conexión (sináptico) entre las neuronas i y j.
- $\sigma()$: función sigmoide de activación.
- y_j : activación actual de la neurona j.
- θ_j : bias de la neurona j.
- g : ganancia de la neurona i.
- l_i : entrada de la neurona i.

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

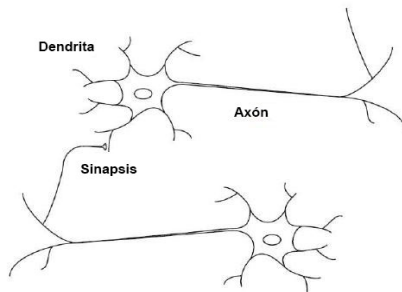
- Recordamos: $x = g(y_j + \theta_j)$.
- Devuelve valores entre 0 y 1.
- θ (bias): desplazamiento de la función.
- g (ganancia): inclinación de la función.
- Se han seleccionado estas redes porque:
 - Permiten simular cualquier sistema dinámico.
 - Son las más fieles al funcionamiento biológico de las activaciones neuronales.



Homeostasis

- "A Design for a Brain" (1952), William Ashby
- Matematiza la homeostasis, la cual viene de la fisiología.
- Seres vivos tienen variables internas que deben mantenerse dentro de unos límites.
- Estado de supervivencia (Ultraestabilidad): ninguna variable se encuentra fuera de los límites de estabilidad.
- **Regulación homeostática:** mecanismos que permiten esta estabilidad.
- Permite la generación de comportamiento adaptativo autoinducido mediante el mantenimiento de la estabilidad interna.

- Se busca la estabilidad en la **conducta** de los agentes.
- Mecanismos homeostáticos en los agentes: **plasticidad**.
- Modificación de los pesos sinápticos para fortalecer o debilitar una conexión interneuronal.
- Basados en la "Teoría Hebbiana" (1949), Donal Hebb.
- La plasticidad de una de nuestras neuronas artificiales puede seguir cuatro reglas:



R0: Sin plasticidad:

$$\Delta w_{ij} = 0$$

R1: Aprendizaje Hebbiano acotado:

$$\Delta w_{ij} = \delta n_{ij} p_j z_i z_j$$

R2: Potenciación o depresión amortiguadas de la neurona presináptica cuando la eficacia sináptica es muy alta o muy baja:

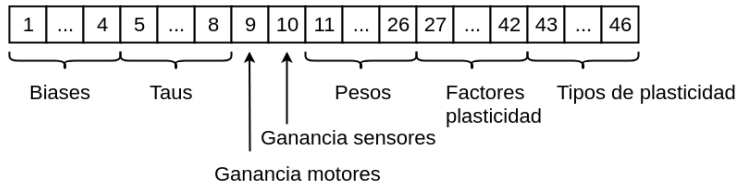
$$\Delta w_{ij} = \delta n_{ij} p_j (z_i - z_{ij}^o) z_j$$

R3: Potenciación o depresión amortiguadas de la neurona postsináptica cuando la eficacia sináptica es muy alta o muy baja:

$$\Delta w_{ij} = \delta n_{ij} p_j z_i (z_j - z_{ij}^o)$$

Computación evolutiva

- Utilizado para entrenar a los agentes (**Algoritmo genético**).
- Agentes codificados como vector de reales y enteros.



Funcionamiento:

1. Generación de **población inicial** (primera generación).
2. Evaluación de la generación mediante la **función fitness**.
3. **Selección** de los mejores individuos de la generación.
4. Creación de una nueva generación a partir de los individuos seleccionados (mediante **recombinaciones** y **mutaciones**).
5. Volver al punto 2 hasta que el mejor individuo de la generación actual cumpla con las expectativas.

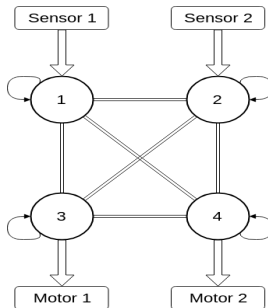
Algunas anotaciones sobre el algoritmo genético:

- Población inicial de **60** candidatos.
- Función de selección de torneo.
- Función de recombinación uniforme.
- Función de mutación básica.

Agente individual

Agente individual: Controlador

- Agente con capacidades de fototaxis individual y plasticidad.
- Dos sensores luminosos y dos motores.
- Simetría en las ganancias de los motores y de los sensores.
- Prueba de concepto. Comprobar el correcto funcionamiento de la implementación de la fototaxis y la plasticidad.



Agente individual: Función fitness

- Un agente individual situado en $(0,0)$.
- De forma progresiva aparecen 6 luces a una distancia determinada del agente.
- Cada luz está encendida un número de ciclos aleatorio $[1200, 2000]$.
- Solamente una luz encendida al mismo tiempo.
- La fitness está compuesta por tres factores:
 1. **Fd**: Que para cada luz, el agente acabe más cerca de ella que cuando se encendió.
 2. **Fp**: Que para cada luz, el agente permanezca alrededor de ella el mayor número de ciclos posibles.
 3. **Fh**: Que para cada luz, el máximo número de neuronas del agente se mantengan estables.

Agente individual: Función fitness

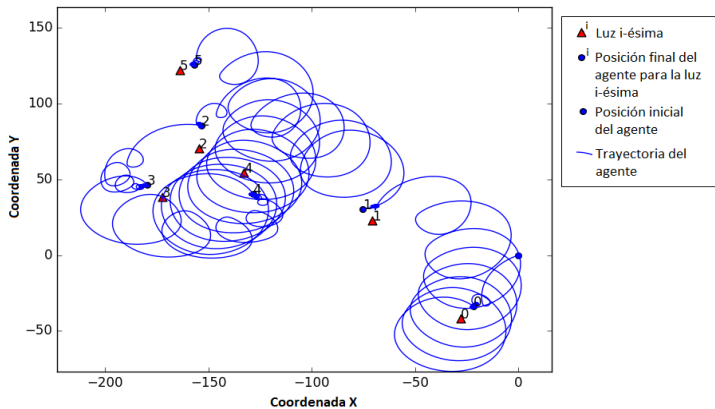
- Máxima fitness alcanzada: **0.81**.

$$fitness = (0.34F_d + 0.54F_p + 0.12F_h)$$

$$F_d = \begin{cases} 0.0 & \text{IF } D_f > D_i \\ 1 - (D_f/D_i) & \text{IF } D_f \leq D_i \end{cases}$$

$$F_p = \frac{\text{Nº ciclos cerca de la luz}}{\text{Nº de ciclos que la luz ha estado encendida}}$$

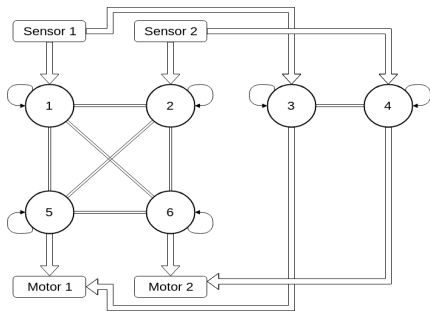
Agente individual: Experimentos



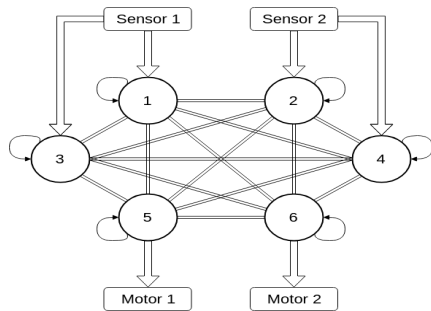
Agentes colectivos

- Agentes artificiales con capacidades de fototaxis colectiva y plasticidad.
- Restricción colectiva: no más de **3** agentes pueden estar situados cerca de una luz al mismo tiempo.
- Dos sensores luminosos, dos sensores de agentes y dos motores.
- Simetría en las ganancias de los motores y de los sensores.
- Agente de tipo 1 (**aditivo**) | Agente de tipo 2 (**estructural**).
- Un grupo de 5 agentes de tipo 1 y un grupo de 5 agentes de tipo 2.

Agente 1 (aditivo)



Agente 2 (estructural)



Agentes colectivos: Función fitness

- Un grupo de 5 agentes de tipo 1 o tipo 2 situado en torno al $(0,0)$.
- De forma progresiva aparecen 6 luces a una distancia mínima del centroide de los agentes.
- Cada luz está encendida un número de ciclos aleatorio $[1200, 2000]$.
- Solamente una luz encendida al mismo tiempo.
- La fitness está compuesta por tres factores:
 1. **Fd**: Que para cada luz, los agentes acaben más cerca de ella que cuando se encendió.
 2. **Fp colectiva**: Que para cada luz, se respete correctamente la restricción colectiva añadida.
 3. **Fh**: Que para cada luz, cada agente mantenga estables el mayor número posible de neuronas.

Agentes colectivos: Función fitness

Agente 1 (aditivo)

- Máxima fitness alcanzada: **0.472**.

Agente 2 (estructural)

- Máxima fitness alcanzada: **0.591**.

$$fitness = (0.44Fd + 0.44Fp + 0.12Fh)$$

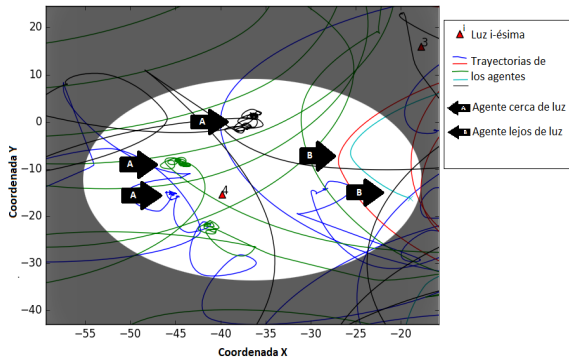
$$Fd = \frac{\sum_{k=1}^5 \left(\frac{\sum_{j=1}^{N^{\circ} \text{Luces}} Fd_{kj}}{N^{\circ} \text{Luces}} \right)}{5} \Rightarrow Fd_{kj} = \begin{cases} 0.0 & \text{IF } D_{fkj} > D_{ikj} \\ 1 - (D_{fkj} / D_{ikj}) & \text{IF } D_{fkj} \leq D_{ikj} \end{cases}$$

$$Fp = \frac{\sum_{i=1}^{N^{\circ} \text{Luces}} \text{Contador}_i}{(\sum_{i=1}^{N^{\circ} \text{Luces}} \text{Ciclos encendida}_i) * 3}$$

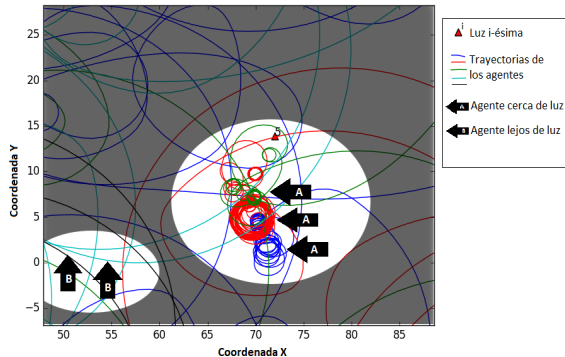
- Función similar función fitness colectiva.
- Se ha buscado comparar a los dos grupos de agentes respecto a:
 - Sus trayectorias y el cumplimiento de la fototaxis colectiva.
 - Posibles patrones de activación en sus neuronas.
 - La robustez de los agentes ante ruido en los sensores.
 - La robustez de los agentes ante ruido en la plasticidad.

Agentes colectivos: Experimentos (Trayectorias)

Agente 1 (aditivo)

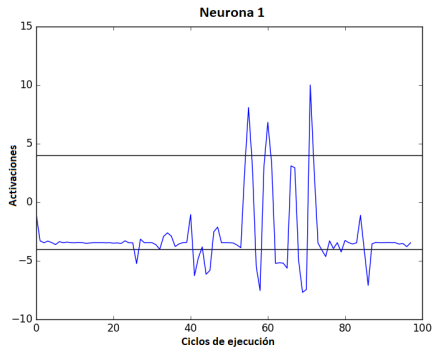


Agente 2 (estructural)

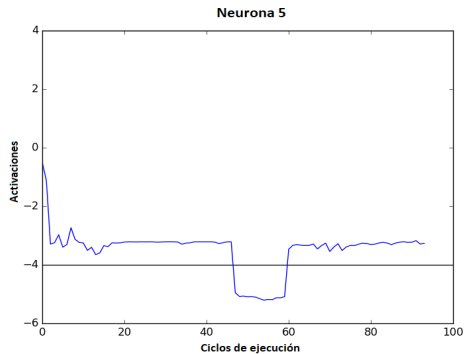


Agentes colectivos: Experimentos (Activaciones neuronales)

Agente 1 (aditivo)



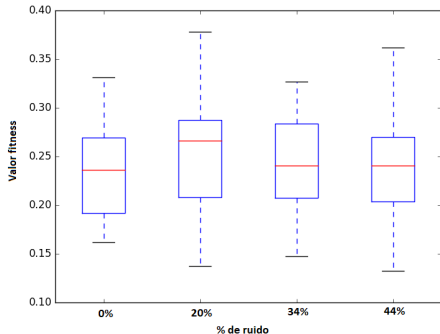
Agente 2 (estructural)



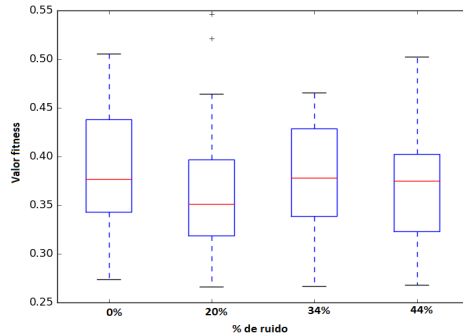
Agentes colectivos: Experimentos (Robustez en los sensores)

- Comprobar si la fitness se ve afectada por el ruido en los sensores.
- Para cada grupo, **30** mediciones de la fitness para cada nivel de ruido.
- Factores de ruido probados: 0.0, 0.2, 0.34 y 0.44.

Agente 1 (aditivo)



Agente 2 (estructural)



Agentes colectivos: Experimentos (Robustez en los sensores)

- Test **t de Student**.
- Hipótesis: ¿Pueden considerarse las medias de las distribuciones iguales?

Agente 1 (aditivo)

Comparación	p-valor
Sin ruido - 0.2	0.075
Sin ruido - 0.34	0.39
Sin ruido - 0.44	0.54

Agente 2 (estructural)

Comparación	p-valor
Sin ruido - 0.2	0.17
Sin ruido - 0.34	0.56
Sin ruido - 0.44	0.31

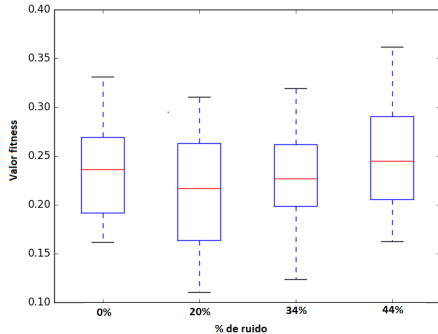
Agentes colectivos: Experimentos (Robustez en la plasticidad)

- Comprobar si la fitness se ve afectada por el ruido en los parámetros de la plasticidad.
- Para cada grupo, **30** mediciones de la fitness para cada nivel de ruido.
- Dos pruebas: ruido en el ritmo de plasticidad y ruido en los pesos sinápticos.
- Factores de ruido probados: 0.0, 0.2, 0.34 y 0.44.

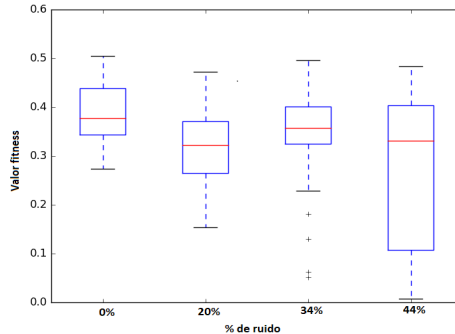
Agentes colectivos: Experimentos (Robustez en la plasticidad)

- Ruido en el parámetro **ritmo de plasticidad**.

Agente 1 (aditivo)



Agente 2 (estructural)



Agentes colectivos: Experimentos (Robustez en la plasticidad)

- Test **t de Student**.
- Hipótesis: ¿Pueden considerarse las medias de las distribuciones iguales?

Agente 1 (aditivo)

Comparación	p-valor
Sin ruido - 0.2	0.15
Sin ruido - 0.34	0.52
Sin ruido - 0.44	0.25

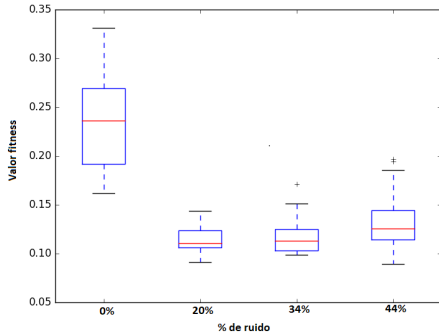
Agente 2 (estructural)

Comparación	p-valor
Sin ruido - 0.2	0.001
Sin ruido - 0.34	0.0347
Sin ruido - 0.44	0.00041

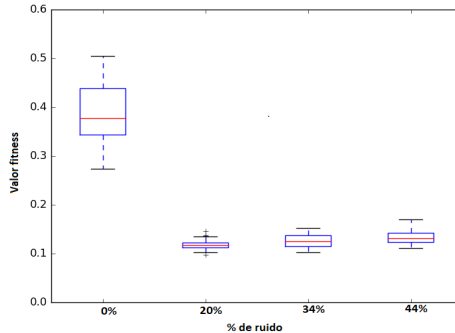
Agentes colectivos: Experimentos (Robustez en la plasticidad)

- Ruido en el parámetro **peso sináptico**.

Agente 1 (aditivo)



Agente 2 (estructural)



Agentes colectivos: Experimentos (Robustez en la plasticidad)

- Test **t de Student**.
- Hipótesis: ¿Pueden considerarse las medias de las distribuciones iguales?

Agente 1 (aditivo)

Comparación	p-valor
Sin ruido - 0.2	0.000000011
Sin ruido - 0.34	0.000000002
Sin ruido - 0.44	0.000001744

Agente 2 (estructural)

Comparación	p-valor
Sin ruido - 0.2	~ 0
Sin ruido - 0.34	~ 0
Sin ruido - 0.44	~ 0

Conclusiones

Comportamientos o conducta externa

1. Los mecanismos de doble red neuronal (Agente 1), hacen que tengan menor eficacia en el alcance de los objetivos (fitness sustancialmente menor).
2. En los agentes de tipo 1, las trayectorias tienen un caracter más errático.
3. Ambos tipos de agente no se ven afectados por las perturbaciones en los sensores.

Estructura o robustez interna

1. Las perturbaciones en los pesos sinápticos afectan significativamente al rendimiento de los dos agentes. Las estructuras neuronales obtenidas por evolución son sensibles a cambios.
2. Los agentes de tipo 1 pierden estabilidad con más frecuencia pero se recuperan rápido. Los agentes de tipo 2 son más estables, pero tardan más ciclos en volver a la estabilidad cuando salen.
3. Las perturbaciones en los ritmos de plasticidad afectan al rendimiento de los agentes de tipo 2, pero no a los de tipo 1. Aunque a nivel de comportamiento, el Agente 2 presente características más robustas, mantiene un nivel crítico en su estructura homeostática.

Discusión

- Debate de Psicología o Estudios del desarrollo cognitivo => abordarlo desde el **modelado cognitivo mínimo** (agentes artificiales).
- Busca modelos que, con mínimos recursos, puedan materializar las bases de capacidades cognitivas más elaboradas.
- Concentrarse en una versión simplificada de un fenómeno sirve como herramienta para pensar sobre dicho fenómeno.
- **Metodología sintética**: uso de robots, modelos de simulación, bots, etc. como plataformas experimentales para la investigación sobre cuestiones relacionadas con la inteligencia.
- Permite un acercamiento a cualquier ciencia desde la ingeniería. Útil para contrastar hipótesis.
- **Modelos mínimos**: su simpleza permite que sean estudiados de manera completa.

Muchas gracias por su atención.

Cronograma

	Marzo					Abril					Mayo				Junio			
Tareas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Diseño e implementación de Homeostato				9														
Diseño, implementación y evolución del Agente 0					7	4	9	20	18	11	11	6	4	5	19	13	1	
Ejecución y análisis del experimento individual							9	2	18	8		9	12	15	29	37	8	
Diseño, implementación y evolución del Agente 1															3	6	2	
Diseño, implementación y evolución del Agente 2															3		13	6
Ejecución y análisis del experimento colectivo																	6	24
Redacción de la memoria del proyecto														2	3	9	16	26
Reuniones presenciales con el director del proyecto					1		1	1	1	1	2	1		1	2	1	2	
Investigación y lectura de documentación																		

