

Computación Bioinspirada



Bioinspiración

La naturaleza como fuente de innovación

Naturaleza -> ¿Qué es naturaleza?

Innovación -> Manual de OSLO (2018)

REINVENTEMOS
EL FUTURO



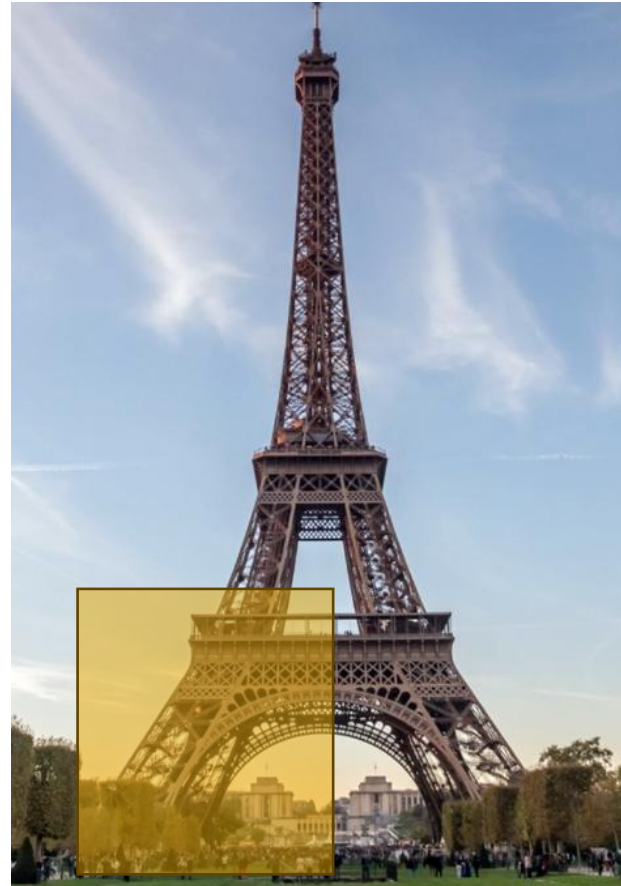
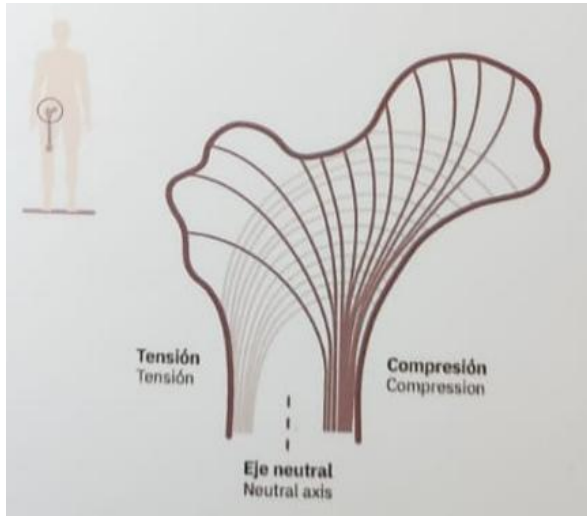
Discusión sobre naturaleza

- ▮ ***“La naturaleza es un principio y causa del movimiento o reposo en la cosa a la que pertenece primariamente y por sí misma” (Aristóteles).***
- ▮ La realidad natural está compuesta por materia y forma. La materia será la condición necesaria, mientras que la forma aduce a la condición suficiente para que una realidad sea lo que es y no otra distinta.
- ▮ Lo natural se genera lo artificial se fabrica.

Discusión sobre innovación

- ▮ La innovación es la introducción de un producto o un proceso nuevo o significativamente mejorado (o una combinación de ambos), que se diferencia sustancialmente de las prácticas anteriores de la empresa y que ha sido puesto en el mercado o en uso.
- ▮ La innovación no es un proceso aislado, sino que emerge de una red de interacciones entre diversos actores: empresas, proveedores, clientes, centros de investigación y la educación superior.

Ejemplos de Bioinspiración



La forma en como se distribuye el peso del cuerpo humano en el fémur inspiró una idea para la distribución de tensión, peso y compresión en el diseño de las patas de la torre Eiffel.

Ejemplos de Bioinspiración



¿Por qué esa ligera curva en las alas de ciertos aviones? Esto se conoce como winglets, y optimizan la sustentación del avión reduciendo la resistencia aerodinámica en las puntas de las alas y permiten además el ahorro de combustible.

Los diseñadores se inspiraron en aves especializadas en el planeo, siendo los casos más visibles las aves rapaces.

Ejemplos de Bioinspiración

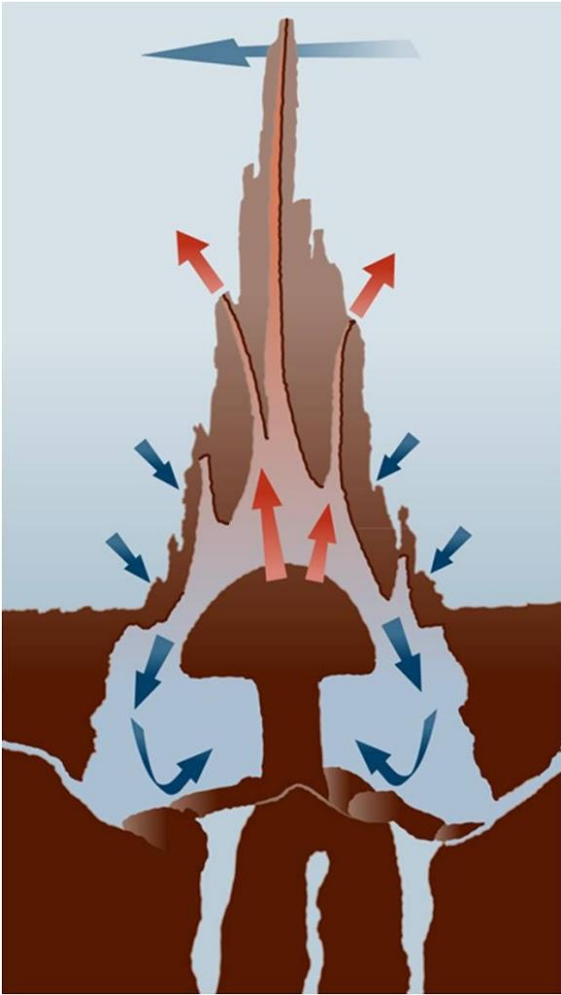


📌 La formación en tortuga. Aplicación militar de la coraza que mantiene a salvo a la tropa mediante el uso de escudos curvados que protegen la parte superior, los flancos y los laterales.

📌 Inspirada en la forma de la tortuga mediterránea.



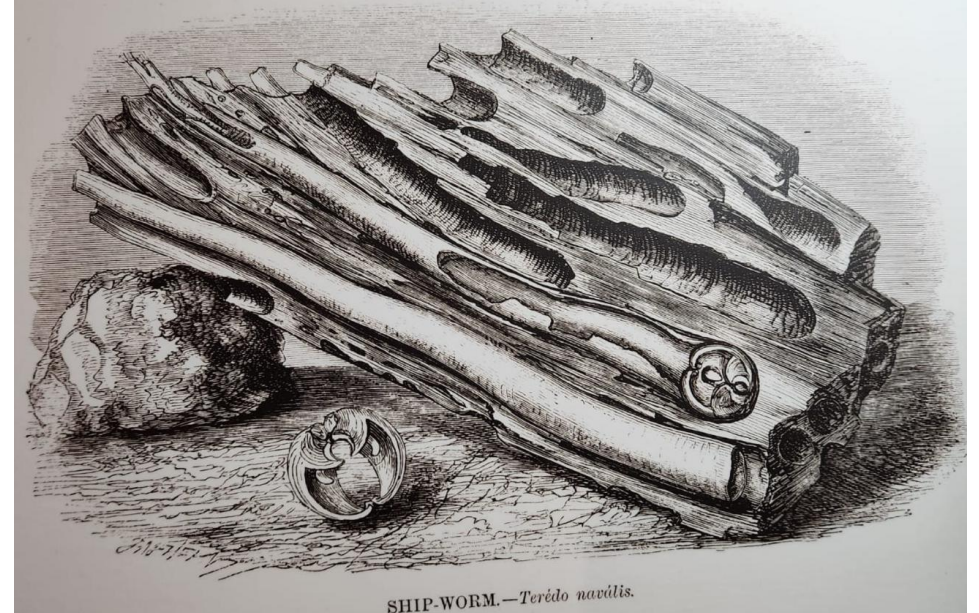
Ejemplos de Bioinspiración



- Las termitas construyen su termitero a partir de saliva mezclada con tierra, con una determinada orientación respecto al sol y mediante un sofisticado sistema de ventilación. Así, mantienen estable la temperatura de su colonia.
- Esto ha servido de inspiración en climatización, para edificios con su interior siempre fresco sin necesidad de aire acondicionado.

Ejemplos de Bioinspiración

- ▮ Marc Brunel, inventó un sistema para excavar túneles en terrenos inestables inspirado en los teredos, unos moluscos que comen la madera de los barcos y consolidan la perforación con cal segregada por su organismo.
- ▮ La tuneladora de este ingeniero permitía cavar al frente de la galería mientras que sus paredes se recubrían de ladrillo, así perforó un túnel bajo el río Támesis en Londres.
- ▮ Se inauguró en 1843 y aún está en servicio.



Ejemplos de Bioinspiración

- ▮ Uno de los espectáculos más hipnóticos de la naturaleza es el vuelo sincronizado de las bandadas de estorninos.
- ▮ Vuelan en grupo para confundir a sus depredadores. Pero... ¿cómo hacen para no chocar entre ellos? Alinean su vuelo fijándose solo en sus vecinos más cercanos, igualando su velocidad y dirección, evitándose así colisiones.
- ▮ La programación de vehículos autónomos quiere imitar este modelo.



Computación Bioinspirada – ¿Qué es la vida?

📖 Perspectiva de la termodinámica

1. Sistema que está lejos del Equilibrio. Un ser vivo es un sistema que intercambia constantemente materia y energía con su entorno.
2. Baja Entropía (Orden). La vida es un fenómeno que se mantiene altamente organizado y alejado del estado de equilibrio termodinámico. Para contrarrestar la tendencia natural al desorden, los seres vivos deben importar constantemente energía.
3. Proceso de Autoorganización. La vida se conceptualiza como un conjunto de reacciones químicas capaces de autoorganizarse para mantener su estructura a expensas de aumentar la entropía en el universo (disipando calor al entorno).

📖 Perspectiva Filosófica

1. La vida puede verse como una propiedad que distingue a la materia que tiene procesos biológicos y auto sostenimiento (organismos) de la materia inanimada (inorgánica).
2. Es un estado especial de la materia alcanzado por estructuras moleculares específicas, con capacidad para desarrollarse, mantenerse, reconocer y responder a estímulos, y reproducirse, permitiendo la continuidad de la especie.

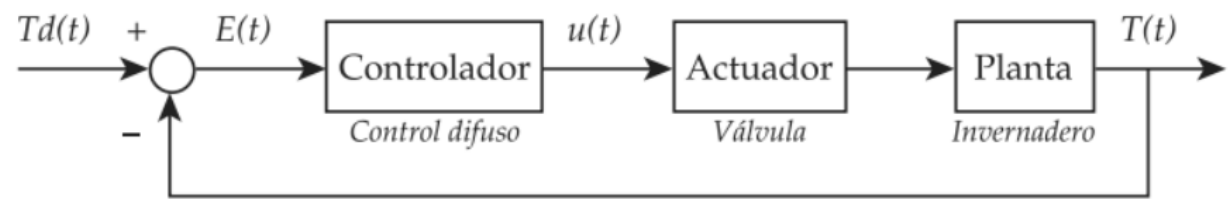
Computación Bioinspirada – ¿Qué es la vida?

Perspectiva de la biología

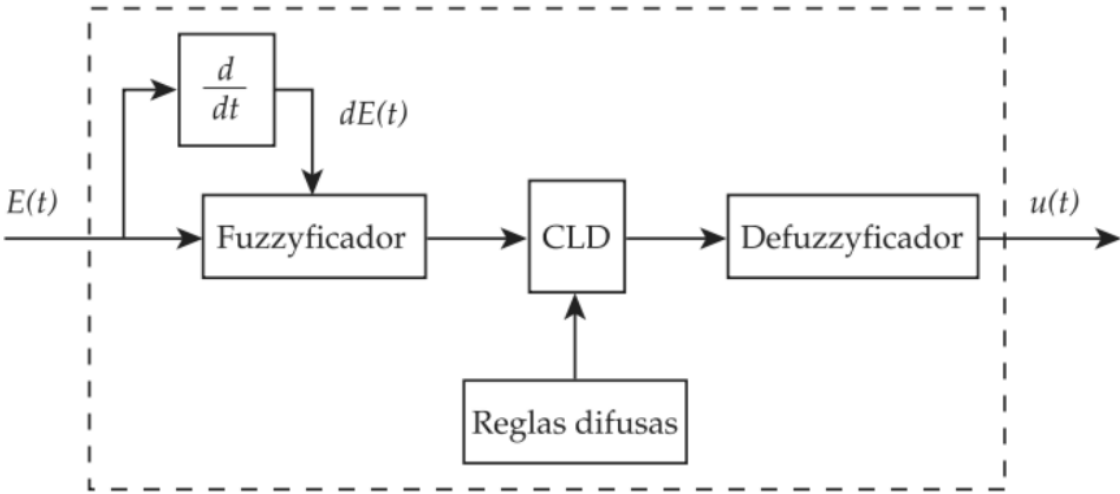
1. Organización Celular: Todos los seres vivos están compuestos por una o más células, consideradas la unidad fundamental de la vida. Presentan una estructura interna altamente organizada.
2. Metabolismo: La capacidad de adquirir y utilizar energía del entorno (a través de la nutrición, respiración o fotosíntesis) para llevar a cabo procesos químicos internos (anabolismo y catabolismo) que sustentan la vida y mantienen la estructura celular.
3. Homeostasis: La habilidad para regular y mantener constante un equilibrio interno (como la temperatura o el pH) a pesar de los cambios en el medio externo.
4. Reproducción: La capacidad de generar copias de sí mismos para perpetuar la especie, ya sea de forma asexual o sexual. Esto asegura la continuidad de la vida.
5. Crecimiento y Desarrollo: Aumento del tamaño o número de células, y cambios a lo largo de un ciclo vital predecible.
6. Respuesta a Estímulos (Irritabilidad): La capacidad de percibir cambios en el entorno y reaccionar a ellos.
7. Evolución y Adaptación: La capacidad de modificar su estructura y comportamiento a lo largo de las generaciones para adaptarse mejor al medio en el que se desarrollan.

Computación Bioinspirada – Lógica difusa

- La lógica difusa, suele emplearse en procesos difíciles de modelar matemáticamente, ya que el diseño y sintonización del controlador difuso se basa únicamente en la experiencia de un experto en el proceso. Es decir, a través de la lógica difusa se incorpora el razonamiento humano en el algoritmo de control y esto simplifica el diseño de controlador.
- Vamos a considerar un problema que consiste en realizar el control de temperatura en un invernadero. Los datos se toman de la experiencia de un experto que ha realizado el proceso de forma manual. El problema de control del invernadero se define mediante el siguiente diagrama a bloques:



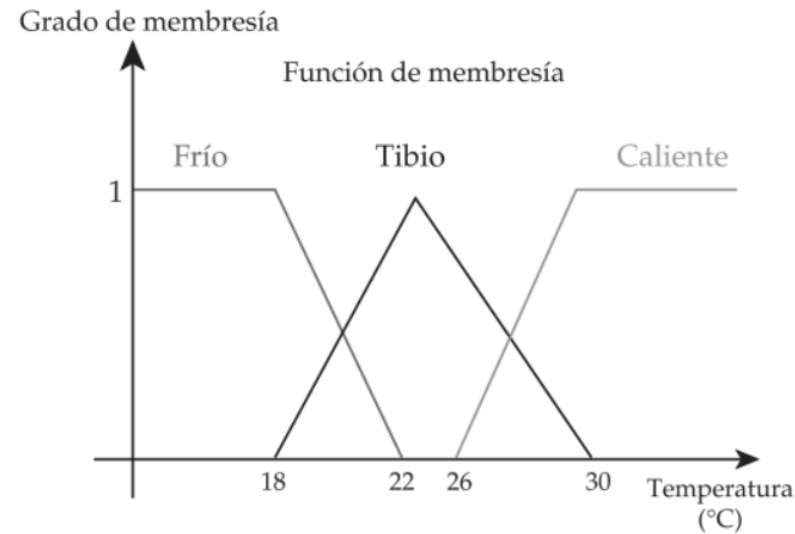
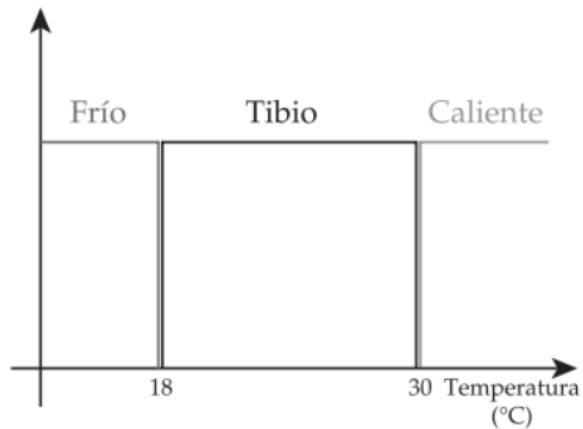
Notación	Descripción
$Td(t)$	Temperatura deseada. Rango de 0-10Vcd (0 a 50°C)
$T(t)$	Temperatura sensada del invernadero. Rango de 0-10Vcd (0 a 50°C)
$E(t)$	Error ($Td(t)-T(t)$)
$u(t)$	Salida del controlador a la planta rango de operación -1 a 1 Vcd



- El controlador difuso genérico se presenta como un diagrama a bloques. Es común el diseño de controladores difusos genéricos debido a que generalmente tienen la misma forma de diseño, independientemente del proceso que se desee controlar. La diferencia es la sintonización de las reglas del controlador difuso y esto se hará de acuerdo, a la experiencia del operador humano

Computación Bioinspirada – Lógica difusa

$$T(^{\circ}\text{C}) \begin{cases} \text{Frío} & T \leq 18 \\ \text{Tibio} & 18 < T < 30 \\ \text{Caliente} & T \geq 30 \end{cases}$$



$E(t)$ es negativo cuando la temperatura del invernadero $T(t)$ es mayor que la temperatura de referencia $Td(t)$.

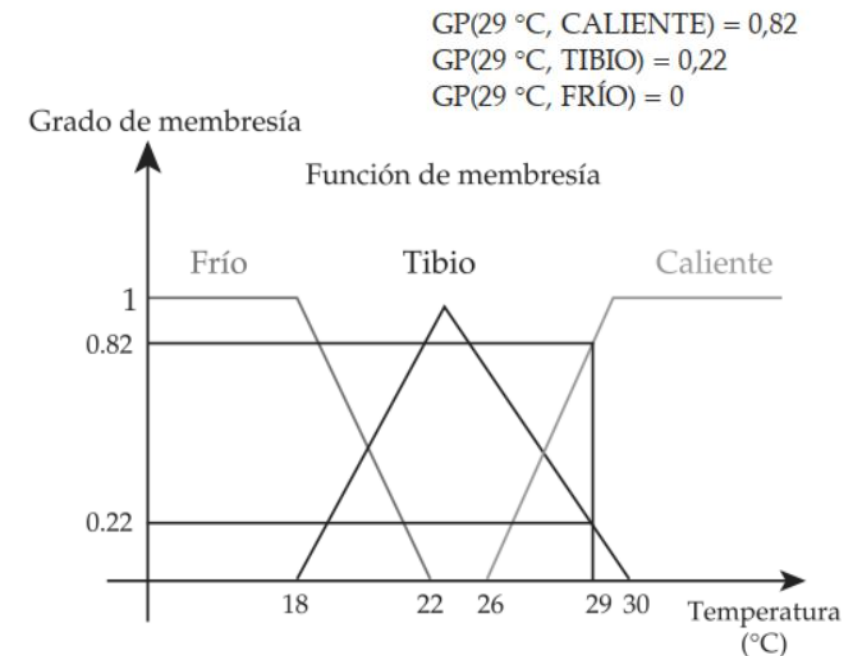
$E(t)$ es cero cuando $Td(t) = T(t)$.

$E(t)$ es positivo cuando $Td(t) > T(t)$.

$dE(t)$ es negativa cuando el error anterior es mayor que el error actual y se tiene una gráfica de pendiente positiva.

$dE(t)$ es positiva cuando el error anterior es menor que el error actual y se tiene una gráfica de pendiente negativa.

Los términos caliente, tibio, frío se denominan variables lingüísticas y describen cualitativamente la función de pertenencia.

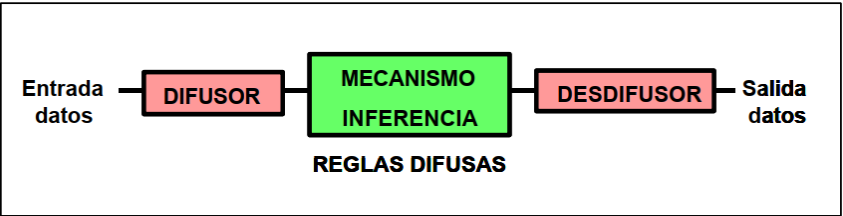


Computación Bioinspirada – Lógica difusa

- ▮ A partir de esta información se desea tomar la decisión de abrir o cerrar la válvula que permitirá el paso del aire caliente para controlar la temperatura y mantener el invernadero siempre a 23 °C, a este paso en lógica difusa se le llama *inferencia*.
- ▮ El experto u operador del invernadero hace esta misma función siguiendo su lógica y experiencia. Por ejemplo, él sabe que para una temperatura de 10 °C es necesario abrir $\frac{3}{4}$ partes la válvula y para una temperatura de 40 °C hay que cerrar totalmente la válvula. Esta información será plasmada en la siguiente tabla y en la función de pertenencia:

REGLAS DE LÓGICA DIFUSA	
Temperatura	Descripción
FRÍO	Abrir válvula de aire caliente
TIBIO	Entre-abrir la válvula
CALIENTE	Cerrar válvula de aire caliente

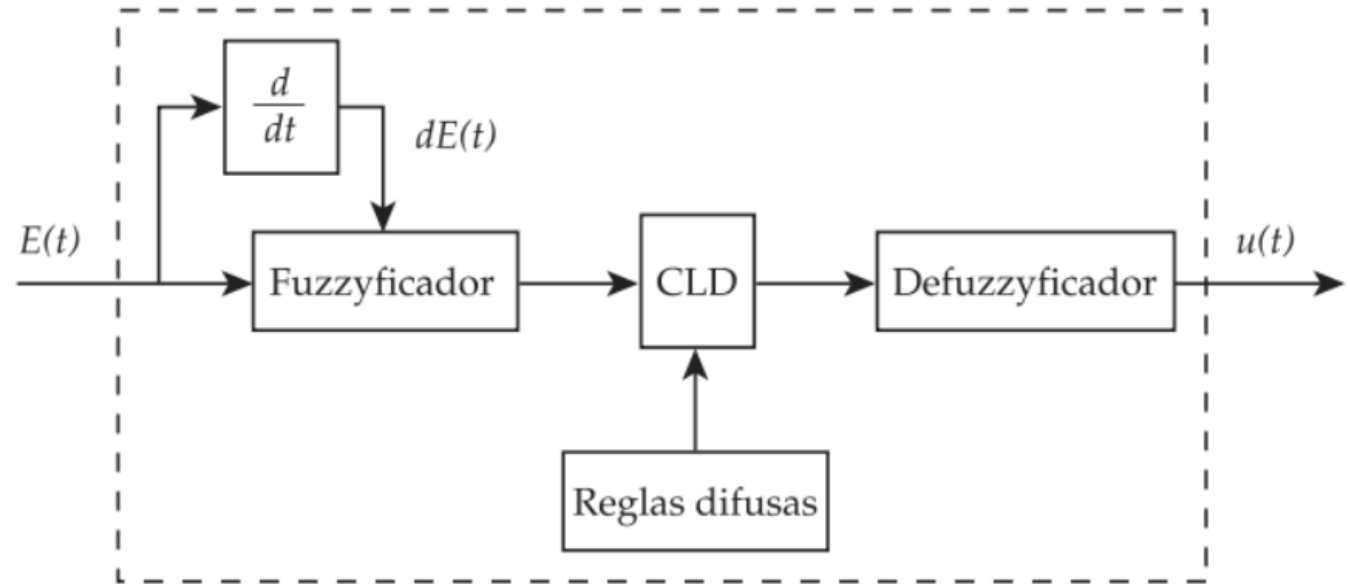
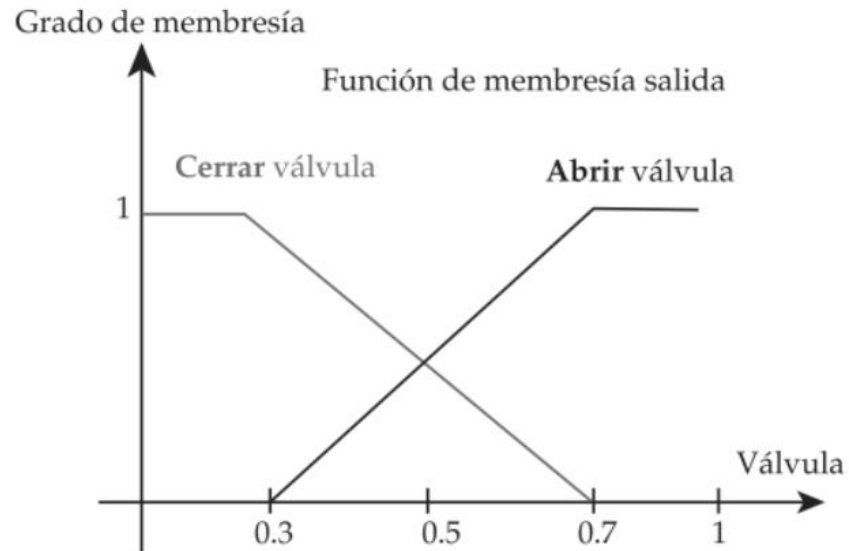
SI	FRÍO	ENTONCES	ABRE VÁLVULA
SI	TIBIO	ENTONCES	ABRE Y CIERRA VÁLVULA
SI	CALIENTE	ENTONCES	CIERRA VÁLVULA



Si X es frío entonces Z es abrir, donde tanto FRÍO como ABRIR son conjuntos difusos, X son los atributos observables o medibles del sistema (temperatura) y Z son los atributos controlables del sistema (válvula).

Computación Bioinspirada – Lógica difusa

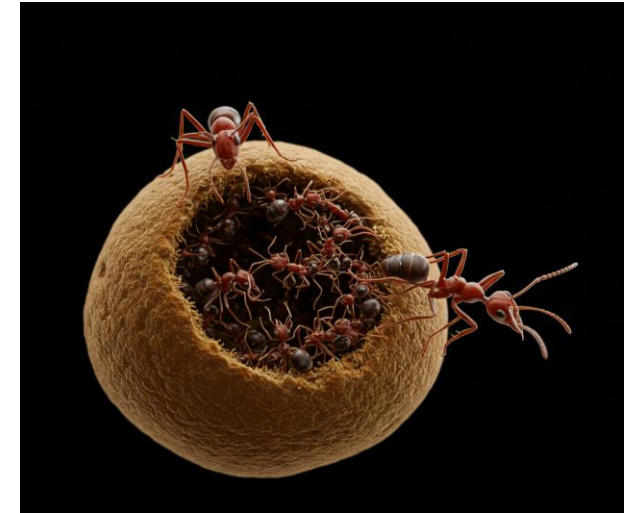
- En el eje X se presenta el rango de operación de la válvula. Donde 1 representa una válvula totalmente abierta y 0 una válvula totalmente cerrada, 0.3 representaría abrir la válvula al 30 por ciento.
- Un sistema difuso necesita producir una salida, se defuzzyfica o se generan conclusiones para un sistema físico o computacional, en este caso para cada grado de pertenencia asociado a la medición de temperatura se generan acciones. Por ejemplo, para los grados de pertenencia asociados a la medición de 29 °C se debe concluir la acción que se realizará.



Computación Bioinspirada – Lógica difusa



Computación Bioinspirada – Algoritmos de adaptación social



Computación Bioinspirada – Algoritmos de adaptación social



ABC - Algoritmo de Optimización por Colonia de Abejas

Aplicación de ABC: Optimización de la Asignación de Cultivos para Maximizar el Beneficio

- **Problema:** Un agricultor posee 100 hectáreas de terreno cultivable, una cantidad limitada de agua, presupuesto y mano de obra. Desea determinar la asignación óptima de diferentes tipos de cultivos a sus parcelas para maximizar el beneficio total al final de la temporada, considerando los costos asociados, los rendimientos esperados y los precios de mercado de cada cultivo.
- **Objetivo de Optimización:** Maximizar el beneficio económico total.
- **Variables de Decisión:** La cantidad de hectáreas óptima asignada a cada tipo de cultivo.

Computación Bioinspirada – Algoritmos de adaptación social



ABC - Algoritmo de Optimización por Colonia de Abejas

- **Fuente de Alimento (Solución):** Una combinación específica de hectáreas asignadas a cada cultivo. Por ejemplo, si el agricultor puede plantar Trigo, Maíz y Soja, una solución podría ser [20 hectáreas de Trigo, 30 hectáreas de Maíz, 50 hectáreas de Soja].
- **Calidad del Néctar (Función de Aptitud / Fitness):** El beneficio total esperado (ingresos - costos) generado por esa asignación de cultivos. Cuanto mayor sea el beneficio, mayor será la "calidad del néctar".
- **Abejas Empleadas (obreras):** Cada abeja empleada representa una asignación de cultivos actualmente explorada. Evalúa el beneficio de su asignación y la compara con otras cercanas.
- **Abejas Observadoras:** Analizan la información compartida por las abejas empleadas, es decir, el beneficio de sus asignaciones de cultivos y eligen las asignaciones más prometedoras para explorar más a fondo.
- **Abejas Exploradoras:** Si una asignación de cultivos no ha producido mejoras significativas después de varios intentos, puede estar atrapada en un óptimo local, la abeja asociada se convierte en exploradora y busca una asignación de cultivos completamente nueva al azar.

Computación Bioinspirada – Algoritmos de adaptación social

FSA - Algoritmo de banco (enjambre) de peces

Aplicación de FSA: Búsqueda de la mejor atracción turística

- **Problema:** En una gran ciudad, y dentro de una zona turística delimitada, se busca determinar la mejor atracción turística, considerando factores como: reseñas de usuarios, popularidad, accesibilidad, servicios cercanos, valoración respecto a otras atracciones.
- **Objetivo de Optimización:** Identificar el sitio mas atractivo en un momento dado.
- **Variables de Decisión:** La mejor puntuación posible.



Computación Bioinspirada – Algoritmos de adaptación social

FSA - Algoritmo de banco (enjambre) de peces

Aplicación de FSA: Búsqueda de la mejor atracción turística

- **Peces Artificiales:** Cada pez representa un "explorador" o "evaluador" de ubicaciones en la ciudad. Su posición (X, Y o Latitud, Longitud) dentro del espacio de búsqueda representa una posible atracción turística. Al inicio, los AF se dispersarán aleatoriamente.
- **Espacio de Búsqueda:** El mapa de la ciudad. Puede representarse como un rango de coordenadas (por ejemplo, Latitud Mínima a Máxima, Longitud Mínima a Máxima).
- **Alimento (Fitness/Aptitud $f(X)$):** La "calidad" o "atractivo" de una ubicación turística. Esta es la función objetivo que queremos maximizar. Para una ubicación dada X (coordenadas), $f(X)$ podría calcularse basándose en varios factores:
 - ❖ Puntuación de Usuarios: Promedio de reseñas de Google Maps, TripAdvisor, etc.
 - ❖ Popularidad: Número de visitas, menciones en redes sociales, volumen de búsquedas.
 - ❖ Accesibilidad: Proximidad a estaciones de transporte público, aparcamientos, otros puntos de interés.
 - ❖ Servicios Cercanos: Disponibilidad de restaurantes, baños, tiendas, etc.
 - ❖ Singularidad: Que tan única es la atracción comparada con otras cercanas.



Computación Bioinspirada – Algoritmos de adaptación social



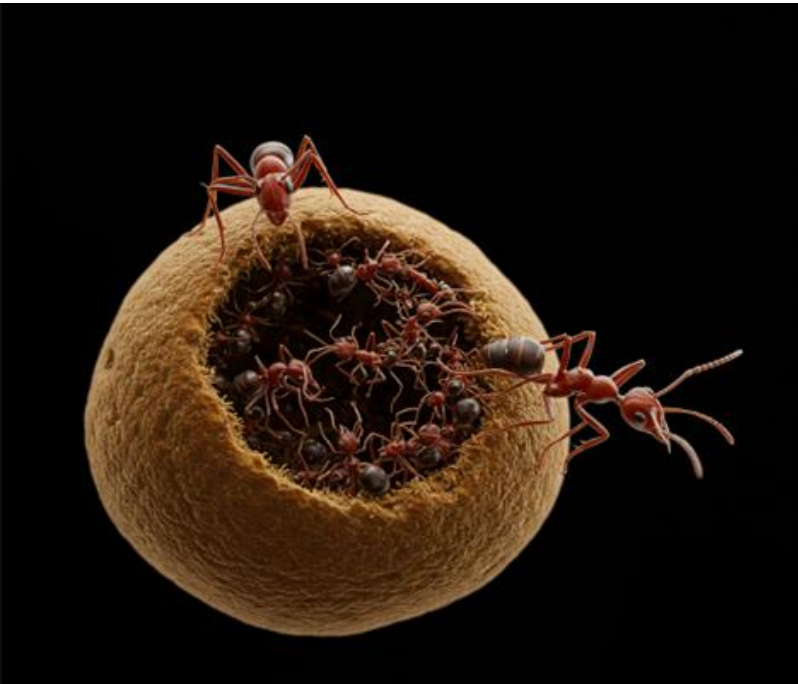
ACO - Algoritmo optimización de colonias de hormigas

Aplicación de ACO: Planificación de la trayectoria de robots

- **Problema:** Dados N puntos con sus coordenadas en una trayectoria, encontrar la ruta más corta que visite cada punto exactamente una vez y regrese al punto de partida.
- **Objetivo de Optimización:** Identificar la mejor trayectoria para que el robot la recorra.
- **Variables de Decisión:** La ruta mas conveniente costo-distancia.

Computación Bioinspirada – Algoritmos de adaptación social

ACO - Algoritmo optimización de colonias de hormigas



- **Hormigas Artificiales:** Cada hormiga representa es un agente que recorre una ruta.
- **Espacio de Búsqueda:** Los puntos con sus coordenadas y sus conexiones.
- **Lógica de la búsqueda:** encontrar la ruta óptima
 - ❖ Inicialización de parámetros, feromonas, distancias.
 - ❖ Iterar eligiendo cada vez la mejor ruta.
 - ❖ Las hormigas van construyendo la solución, conforme recorren el espacio de búsqueda.
 - ❖ Las rutas se mejoran mediante el depósito de feromonas y la velocidad de su evaporación.

Computación Bioinspirada – Algoritmos Heurísticos

Definición: Son métodos que resuelven problemas a través de aproximaciones. Su nombre proviene del griego *heuriskein*, que significa "descubrir". No garantizan encontrar la solución óptima, pero sí una solución "funcional" que es suficientemente buena para la mayoría de los casos.

- **Funcionamiento:** Emplean atajos, reglas prácticas (reglas de pulgar), prueba y error, o aproximaciones satisfactorias para llegar a una solución. Esto les permite tener un costo computacional mucho más bajo en comparación con los métodos exactos.
- **Limitaciones:** Su principal debilidad es que suelen ser dependientes de un problema específico y su precisión puede ser baja en ciertos escenarios.
- **Ejemplos:**
 - Algoritmo "Divide y Vencerás" (Divide and Conquer).
 - Escalada de Colina (Hill Climbing).
 - Algoritmos Voraces (Greedy Algorithms).
- Los heurísticos son el fundamento de la inteligencia artificial, ofreciendo soluciones rápidas y viables a costa de no garantizar la perfección.

Computación Bioinspirada – Algoritmos Metaheurísticos

- **Definición:** Son métodos iterativos de optimización global que utilizan una estrategia de alto nivel para guiar a heurísticas subyacentes. Su objetivo principal es explorar el espacio de búsqueda de manera inteligente para evitar quedar atrapado en óptimos locales y, así, encontrar una solución cercana al óptimo global.
- **Funcionamiento:** A menudo se les denomina "basados en metáforas", ya que se inspiran en fenómenos naturales. Imitan procesos biológicos, comportamientos colectivos de animales o principios físicos.
- **Relevancia en la Computación Bioinspirada:** Son el grupo más numeroso, popular y aplicado dentro de la optimización Bioinspirada. Constituyen el núcleo de nuestra asignatura.
- **Ejemplos (agrupados por inspiración):**
 - **Algoritmos Evolutivos:** Algoritmo Genético (GA), Evolución Diferencial (DE).
 - **Inteligencia de Enjambre (Swarm Intelligence):** Optimización por Enjambre de Partículas (PSO), Optimización por Colonia de Hormigas (ACO), Algoritmo de la Luciérnaga (FA).
 - **Basados en Plantas:** Algoritmo de Polinización de Flores (FPA).
- Los metaheurísticos son, en esencia, "recetas" de alto nivel que nos dicen cómo usar y combinar heurísticas de manera efectiva para resolver problemas complejos de forma más robusta.

Computación Bioinspirada – Algoritmos Hiperheurísticos

Definición: A diferencia de los heurísticos y metaheurísticos (que buscan en el espacio de *soluciones* de un problema), un algoritmo Hiperheurístico opera en un espacio de *búsqueda de heurísticas*. Su objetivo no es resolver un problema directamente, sino encontrar la mejor estrategia o secuencia de algoritmos de bajo nivel (heurísticos o metaheurísticos) para resolverlo.

- **Funcionamiento:** Se pueden considerar como un "selector de algoritmos". Utilizan un conjunto de heurísticas base y, a través de un procedimiento de aprendizaje o búsqueda, deciden cuál de ellas aplicar, en qué orden o cómo combinarlas en cada etapa de la resolución del problema.
- **Objetivo Final:** La meta es la **generalidad**. Se busca crear un sistema que sea adaptable a una amplia gama de problemas y dominios, en lugar de estar diseñado para uno solo.

Un hiperheurístico automatiza la tarea de diseño de algoritmos, aprendiendo a seleccionar la mejor herramienta (heurística) para cada trabajo.



Fin de la presentación