

Diseño y ajuste de Controladores Difusos

Mediante algoritmos genéticos

\$whoami



Alberto Díaz Álvarez

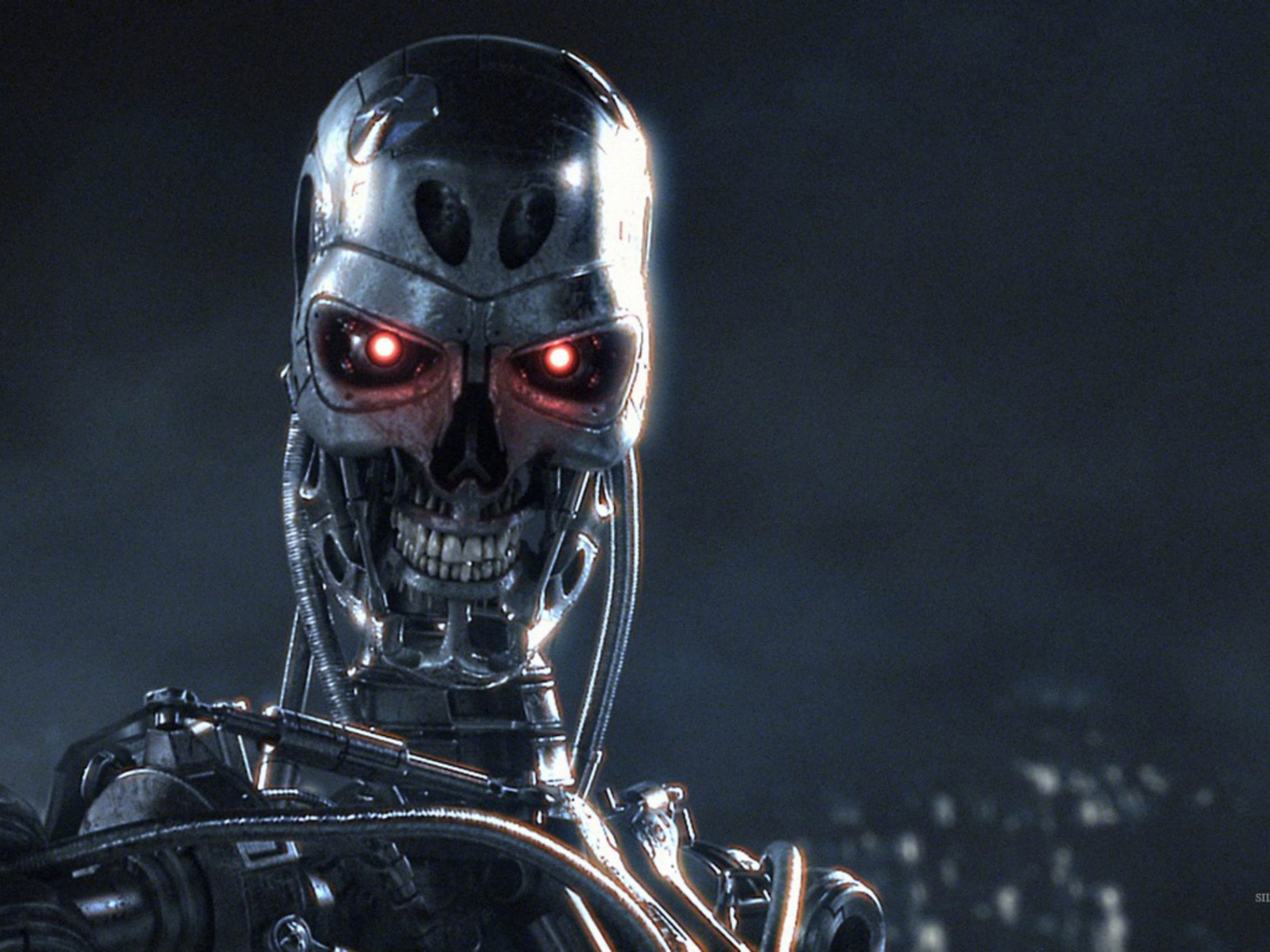
- Desarrollador en Aicu Labs
- Doctorando en I.A. (UPM)
- alberto.da@gmail.com
- github.com/blazaid

Introducción

A futuristic, glowing tunnel with a central red and yellow light source. The tunnel is composed of concentric, glowing blue and purple rings, creating a sense of depth and motion. The central light source is a bright yellow circle surrounded by a red glow, which fades into the surrounding purple and blue tones of the tunnel walls.

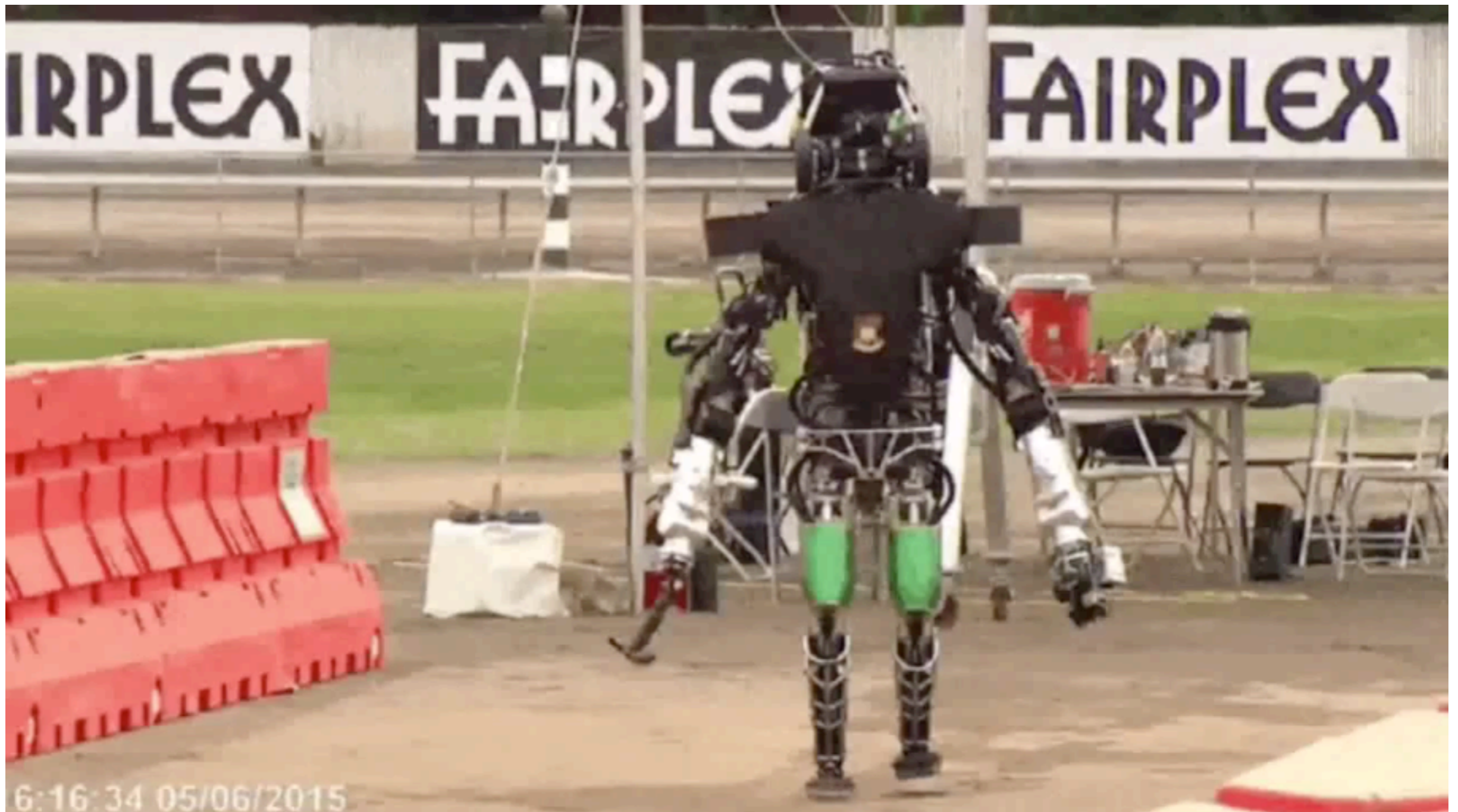
¿Inteligencia artificial?







De momento ...



<https://youtu.be/g0TaYhjpOfo>

Inteligencia

¿Resolver una ecuación diferencial?

¿Saber jugar al GO? ¿Ganar?

¿Conducir un coche? ¿una moto? ¿un avión?

¿Reconocer a una persona? ¿A un perro?

¿Entender qué dice una persona?
¿Dobles sentidos? ¿La ironía?

¿Andar por la calle?
¿Con mucha gente alrededor?

¿Puede una máquina ser inteligente?

¿Somos algo más que datos, reglas y cálculos?

Basic Questions (John McCarthy) — www-formal.stanford.edu/jmc/whatsai/node1.html

Algunas definiciones

Razonamiento

El estudio de los **procesos** que hacen posible **percibir, razonar y actuar**
— Winston, 1992

[...] “**máquinas con mente**”, en un sentido completamente literal.
— Haugeland, 1985

Inteligencia humana

Ideal de inteligencia

El estudio para que los **ordenadores hagan cosas que, por el momento, la gente hace mejor**
— Rich and Knight, 1991

La rama de la informática que se ocupa de la **automatización** de la **conducta inteligente**
— Luger y Stubblefield, 1989

Comportamiento

Cuatro objetivos principales

	Inteligencia humana	Ideal de inteligencia
Razonamiento	<i>El estudio de los procesos que hacen posible percibir, razonar y actuar</i>	<i>[...] “máquinas con mente”, en un sentido completamente literal</i>
Comportamiento	<i>El estudio para que los ordenadores hagan cosas que, por el momento, la gente hace mejor</i>	<i>La rama de la informática que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente</i>

Cuatro objetivos principales

	Inteligencia humana	Ideal de inteligencia
Razonamiento	<i>Sistemas que piensan como humanos</i>	<i>Sistemas que piensan racionalmente</i>
Comportamiento	<i>Sistemas que actúan como humanos</i>	<i>Sistemas que actúan racionalmente</i>

Corrientes filosóficas

IA Débil

Se pueden implementar **aspectos de comportamiento** considerados inteligentes sobre tareas concretas.

IA Fuerte

Los agentes inteligentes pueden llegar a **sentir** y a tener **mente**.

IA Clásica

Simbólica o deductiva.

Top-Down (Proceso deductivo + lógica simbólica)

Arraigada a la computación tradicional.

Muy basada en modelos lógicos y matemáticos

Se busca respuesta exacta a cada estímulo.

Software

Seguir conjunto de pasos establecidos

Objetivo

Definirlos correctamente

Resolución

Fuerza bruta, model-first

IA Computacional

Subsimbólica o deductiva.

Bottom-Up (Conocimiento generado desde bajo nivel).

Diferente aproximación a los problemas.

No se le ofrecen los pasos para resolver.

Se busca respuesta aproximada o suficientemente buena.

Software

Agente que aprende o deduce

Objetivo

Descubrir los pasos para resolver el problema

Resolución

Fuerza dirigida, model-emerges

Motivación

Aproximación IA Computacional para generar controladores

Lógica difusa

Definición **sencilla** de procesos de control

Basados en la **experiencia** de un **experto**

Proceso de conocimiento previo
(**experiencia subjetiva**)

No siempre existe un experto del dominio

Algoritmos genéticos

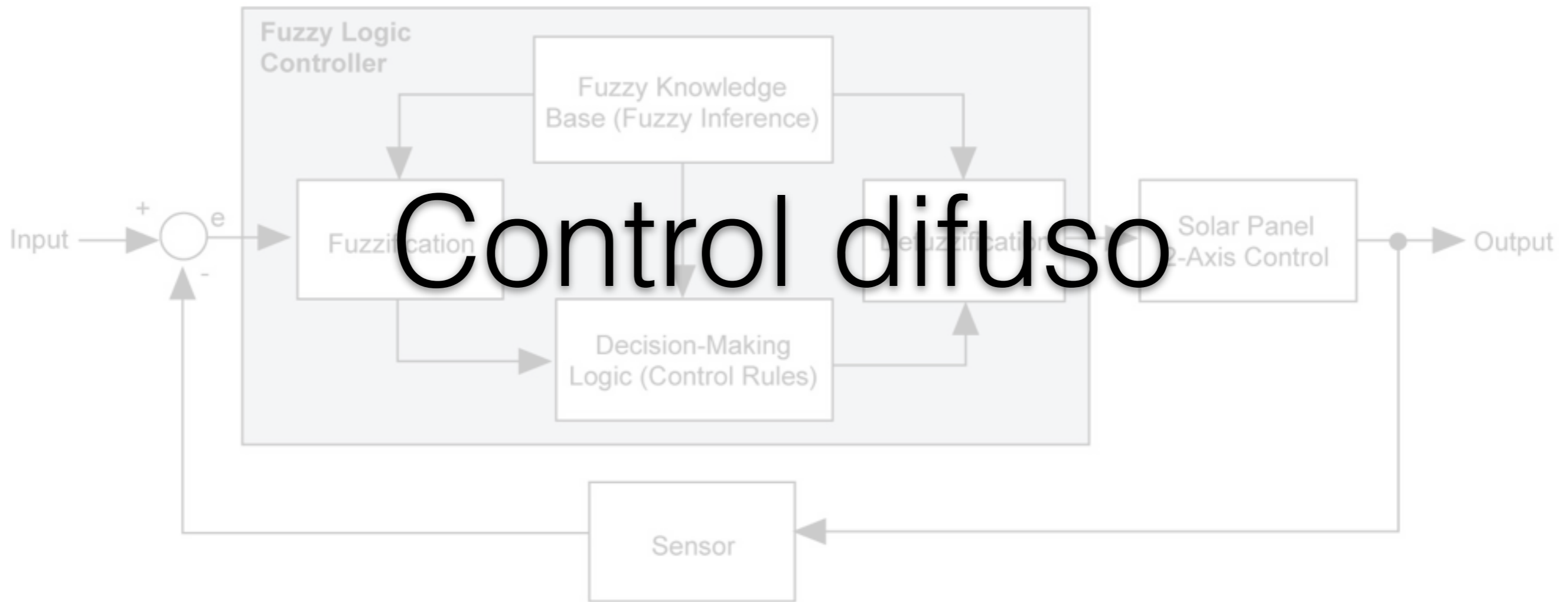
Exploración de soluciones dirigida

Fácil de comprender y de explicar

Inspirada en proceso que funciona
(Teoría Neodarwinista)

Muy dependiente de representación

Control difuso



Dos tropas

Health, DPS, Movement

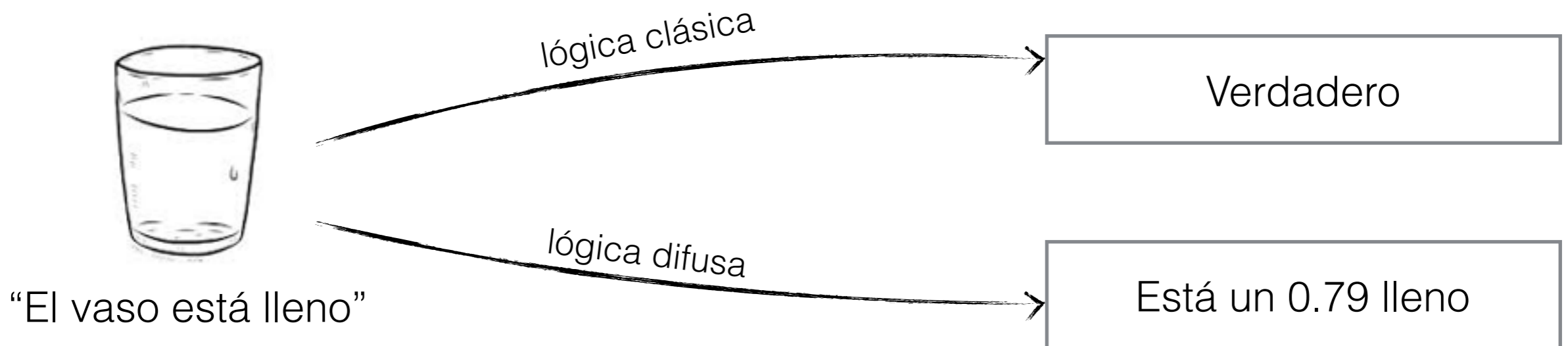
¿Atacar,
mantener la posición
o retirarse?



¿Qué es la lógica difusa?

*Fuzzy logic means of representing problems to computers in a way akin to the way human solve them and the essence of fuzzy logic is that everything is a matter of degree”
— Lofti A. Zadeh.*

- **Lógica clásica:** Una proposición puede ser verdadera o falsa.
- **Lógica difusa:** Una proposición tiene una “cantidad de verdad”.



Críticas

La teoría difusa es mala. Mala y perniciosa.

Lo que necesitamos en la ciencia es más pensamiento lógico, no menos.

Lo peligroso de la lógica difusa es que fomenta el tipo de pensamiento impreciso que nos ha traído tantos problemas.

Es la cocaína de la ciencia.

— Professor William Kahan

La teoría de la lógica difusa es una licencia científica.

— Professor Rudolf Kalman

Variables lingüísticas

Aquellas cuyos valores son palabras o sentencias en un lenguaje natural o artificial

Variable tradicional

Edad = 34

Peso = 45

Variable lingüística

Edad = Joven

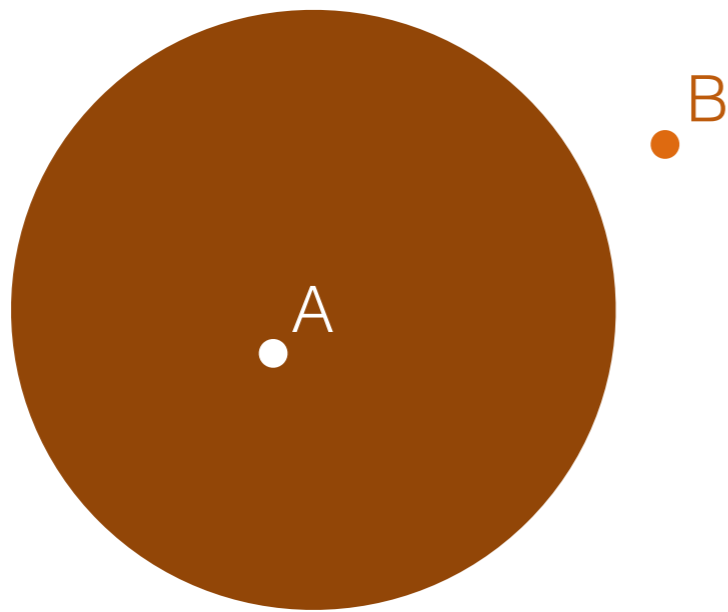
Peso = Delgado

Ambas poseen un dominio subyacente
(finito o infinito)

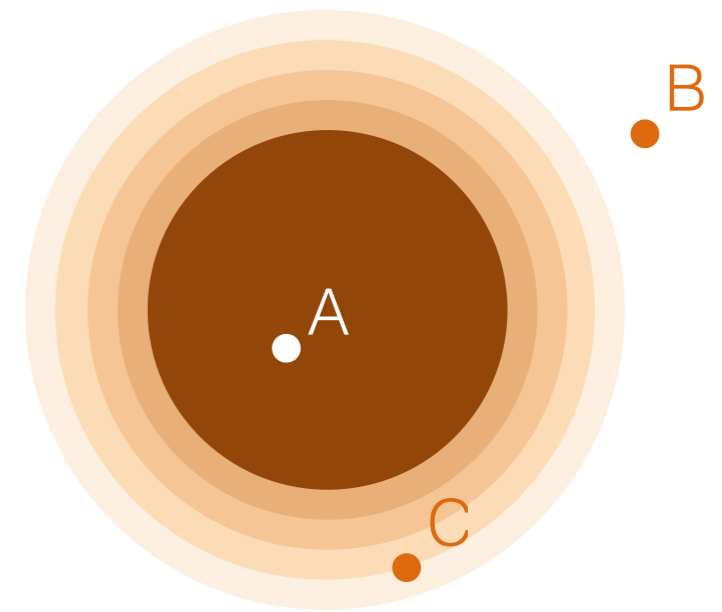
Conjuntos difusos

Son caracterizados por una función de pertenencia

Conjunto tradicional (crisp)



Conjunto difuso



Teoría de conjuntos \subset Teoría de conjuntos difusos

Pero... ¿y las operaciones entre conjuntos?

Función de pertenencia

Función aplicada a los valores de un dominio que devuelve un valor comprendido entre 0 y 1

Partición difusa

Conjunto de funciones de pertenencia que describen un recubrimiento del dominio de la variable en conjuntos difusos.

Idealmente

Para todo $x \in X$, la suma de las funciones de pertenencia de la partición debe sumar 1

Empíricamente

La partición difusa responde a las necesidades del problema y no necesariamente suma 1.

*Demo: funciones de pertenencia y
operadores difusos*

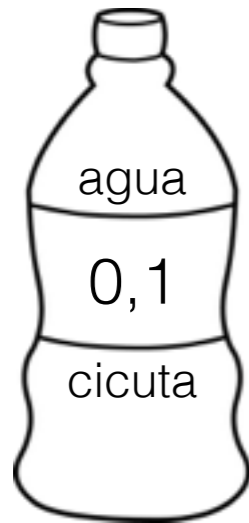
Probabilidad vs. Lógica difusa

Está basada en la teoría de la probabilidad, pero:

Conceptualmente no tienen nada que ver

- **Probabilidad** —> Frecuencia relativa de un evento respecto al conjunto total de eventos.
- **Lógica difusa** —> Grado de pertenencia de un elemento a un conjunto.

Llevamos en el desierto dos días andando sin beber y encontramos una botella de un litro con líquido.



(a) 0,1 probabilidad de que sea botox

(b) 0,1 pertenencia del líquido al conjunto agua

(c) 0,1 pertenencia del líquido al conjunto cicuta

¿Qué opción es la que más nos conviene?

La “a” (al menos si queremos seguir andando)

(a) es incertidumbre, mientras que (b) y (c) es ambigüedad

Controlador difuso (FLC)

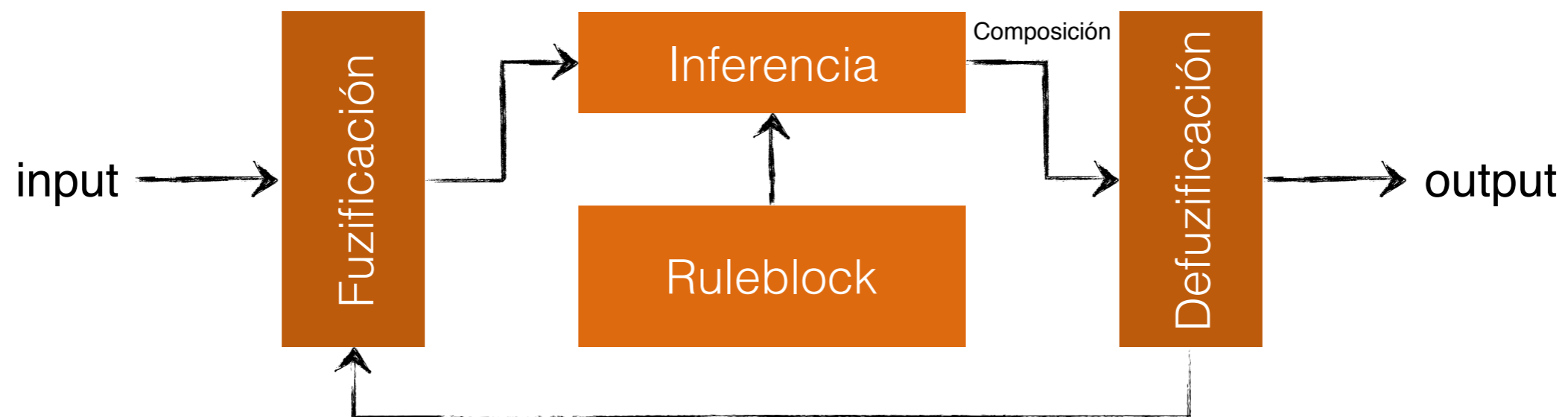
Sistemas basados en reglas útiles en el contexto humano

Ventajas

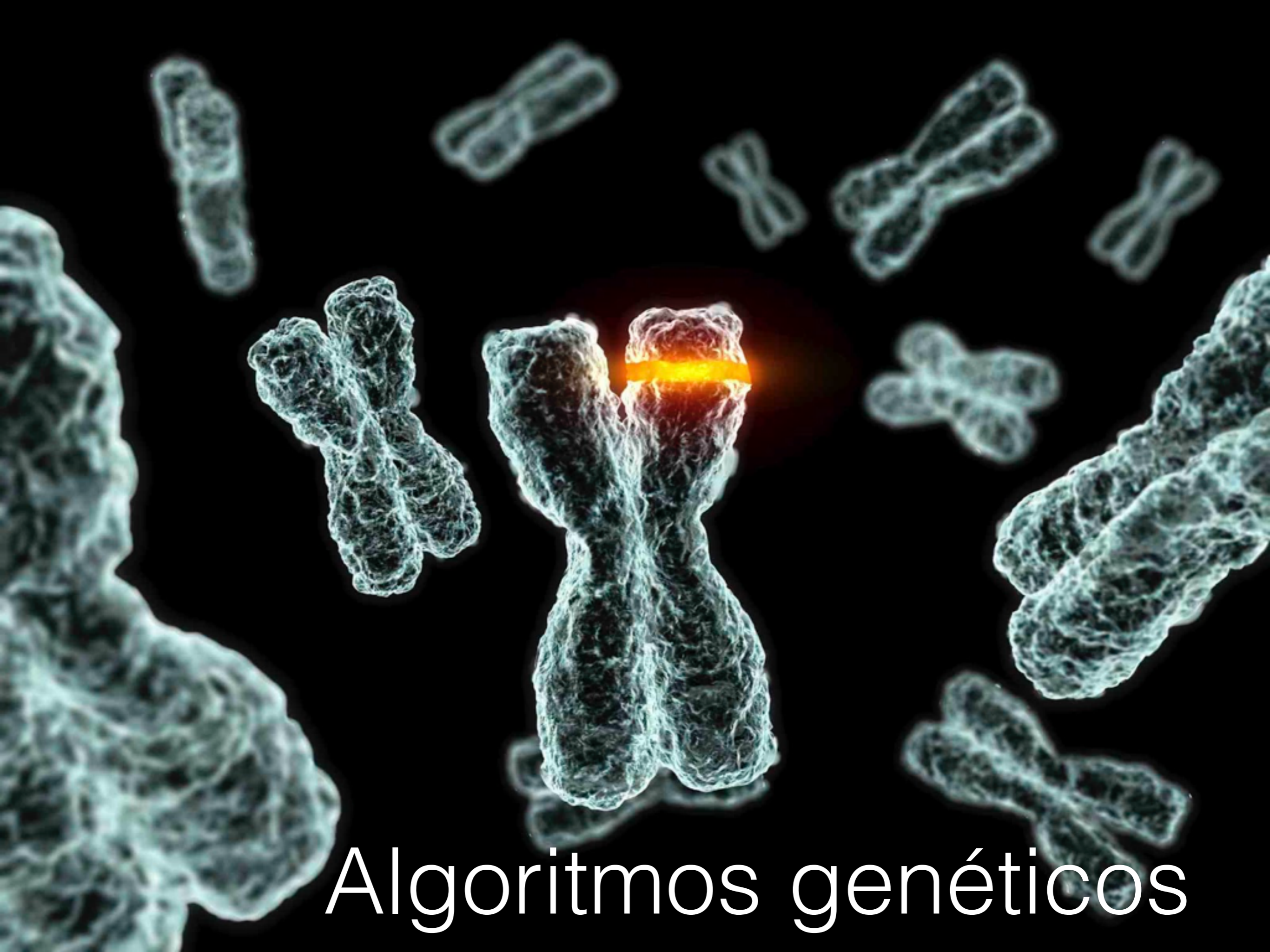
Interpretables por humanos
Rápidamente prototipables

Desventajas

Ajuste de parámetros
Más cuanto mayor complejidad



Demo: control difuso



Algoritmos genéticos

Algoritmo genético

Proceso iterativo que adapta la solución inspirándose en el proceso de evolución de sistemas biológicos

¿Por qué funciona la evolución?



Presión selectiva vs. diversidad

Bases de los AGs

La mayor parte de la vida puede explicarse mediante:

- **Selección.** El más apto tiende a transmitir sus características.
- **Reproducción.** Las especies transmiten sus características mediante la reproducción.
- **Mutación.** Errores al transmitir la información genética.
- **Competición.** Crecimiento de la población en un espacio limitado.

Basada en la Síntesis evolutiva moderna (neodarwinismo)

Principales características

Codificación. ¿Cómo representamos nuestro individuo?

Fitness. ¿Cómo de bueno es en su entorno?

Selección. ¿Cómo seleccionar para mantener el equilibrio diversidad/presión selectiva?

Cruce. ¿Cómo traspasar la información interesante a descendientes?

Mutación. ¿Cómo añadir variación para mantener equilibrio diversidad/presión selectiva?

Ubicando los AGs

Computación evolutiva

Estrategias evolutivas

Algoritmos genéticos

Programación evolutiva

Mutaciones
Selección determinista
Tamaño población variable
Muy exploratorio

Cruce muy importante
Mutación no tanto
Tamaño población fijo

Construcción de palabras
en un lenguaje
Explosión de tamaños
Muy exploratorio

Antes las distinciones eran mayores. Ahora se pueden considerar variaciones del mismo algoritmo

Idioma

Gen. Componente que toma un valor para parte de una o varias características de un individuo.

Alelo / Alfabeto. Cada uno de los diferentes valores que puede tomar un gen determinado.

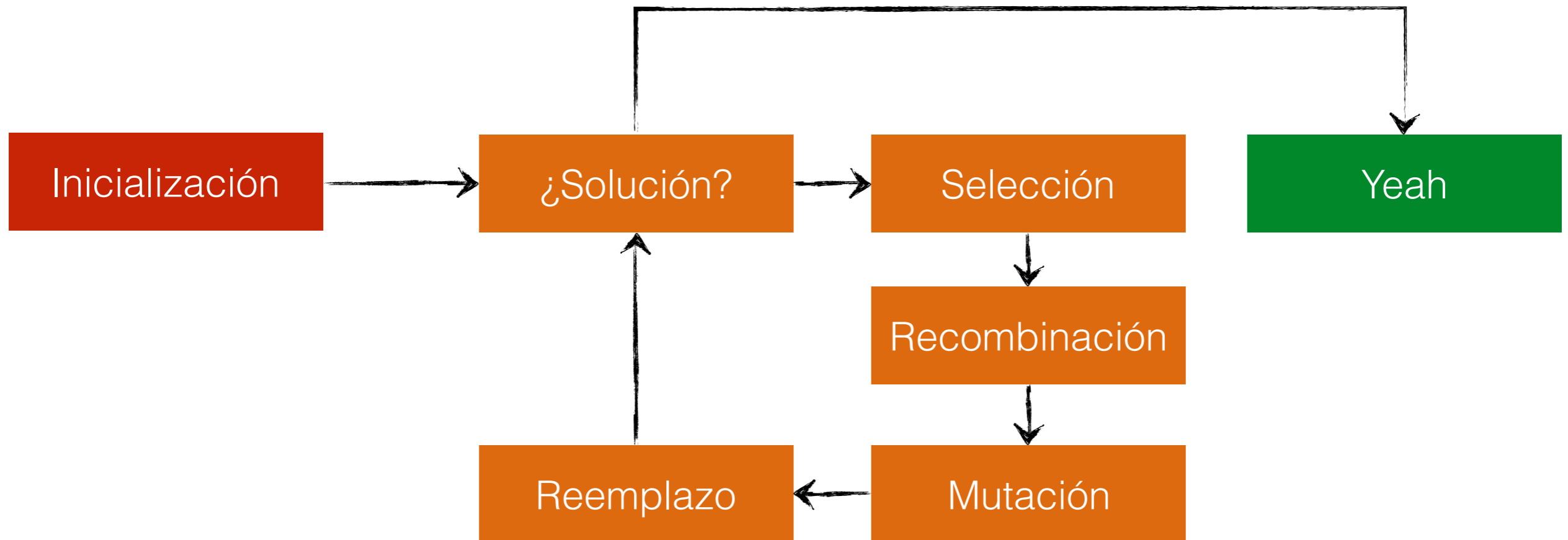
Cromosoma / Genotipo. Conjunto de genes que posee un organismo en particular.

Fenotipo / Individuo. Expresión del genotipo en función de un determinado ambiente.

Población. Conjunto de individuos en un mismo entorno.

Espacio de búsqueda. Posibles soluciones a un problema dado.

Funcionamiento de un AG

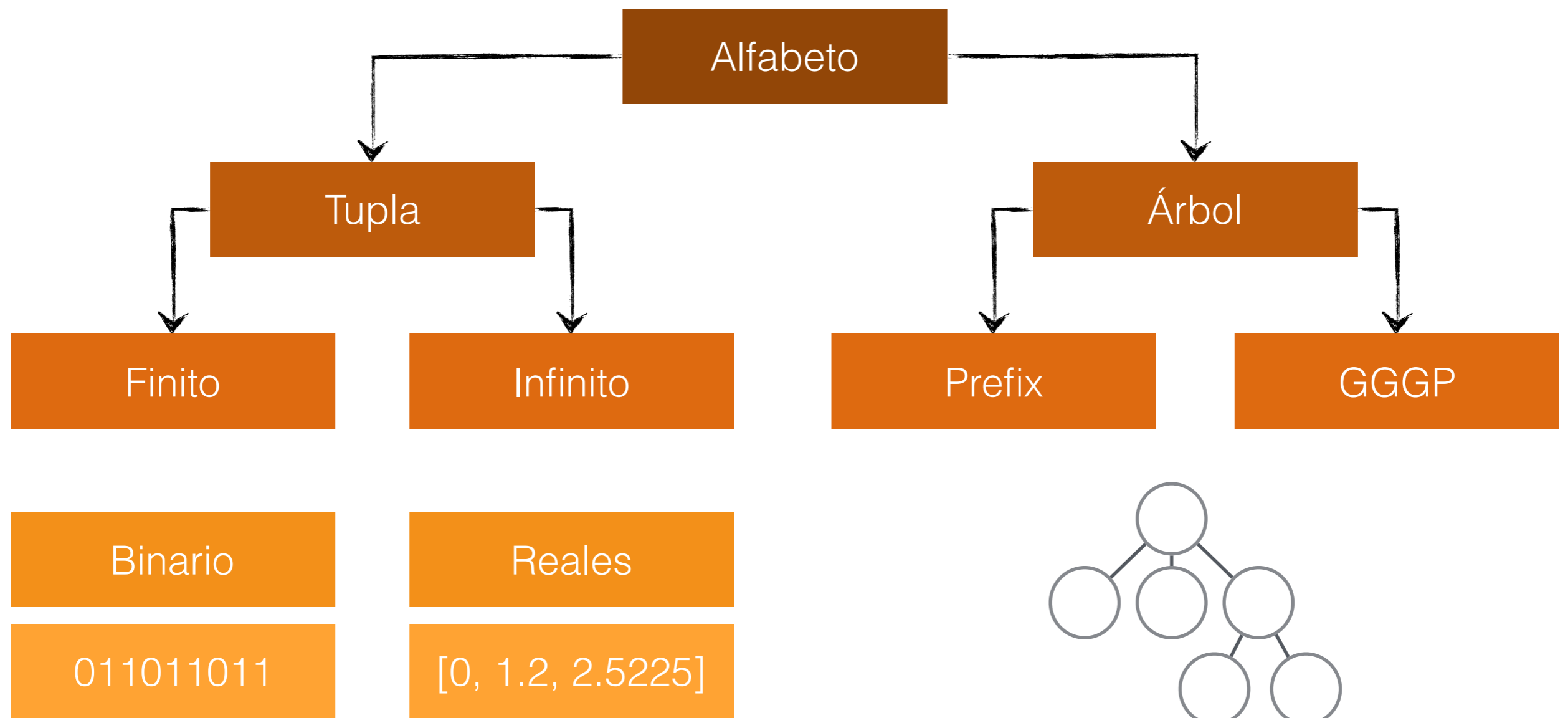


Requisitos para la correcta solución de un problema con AG

Función de fitness bien definida y correcta representación de las soluciones (individuos)

Codificación de individuos

Codificaciones típicas



Alfabetos binario vs. real

Binario

Equivalente a cualquier alfabeto finito

Implican casi siempre una descodificación

Precisión limitada

Más simple para trabajar

No existe una codificación mejor que la otra, depende del problema

Además, muchos problemas requieren una implementación ad-hoc

Real

Equivalente a cualquier alfabeto infinito

En aproximación, no suele ser necesario

Precisión infinita

Operadores genéricos más limitados

Fitness

¿Cómo de apto es el individuo en el entorno?

Debe ser proporcional a la habilidad del individuo

Normalmente mayor cuando mejor es el individuo

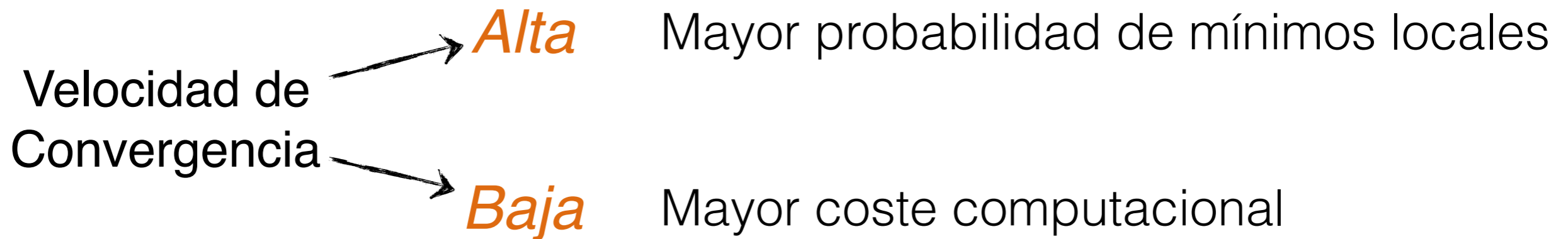
Regla de oro: Si es posible determinar error, $fitness = \frac{1}{1 + error}$

Convergencia

¿Cómo de rápido estamos llegando a la solución?

Un gen converge cuando el 95% de la población comparte ese mismo valor o cuando no sufre variaciones de más del 5% entre todos los individuos.

— Kenneth A. De Jong



(presión selectiva vs. biodiversidad)

Selección

¿Qué individuos pasan su código genético a los siguientes?

Proporcional al fitness

Cuanto mayor sea el fitness, más probabilidad de ser seleccionado.
Fitness muy alto tiene a eliminar la biodiversidad (mucha presión selectiva).

Proporcional al orden

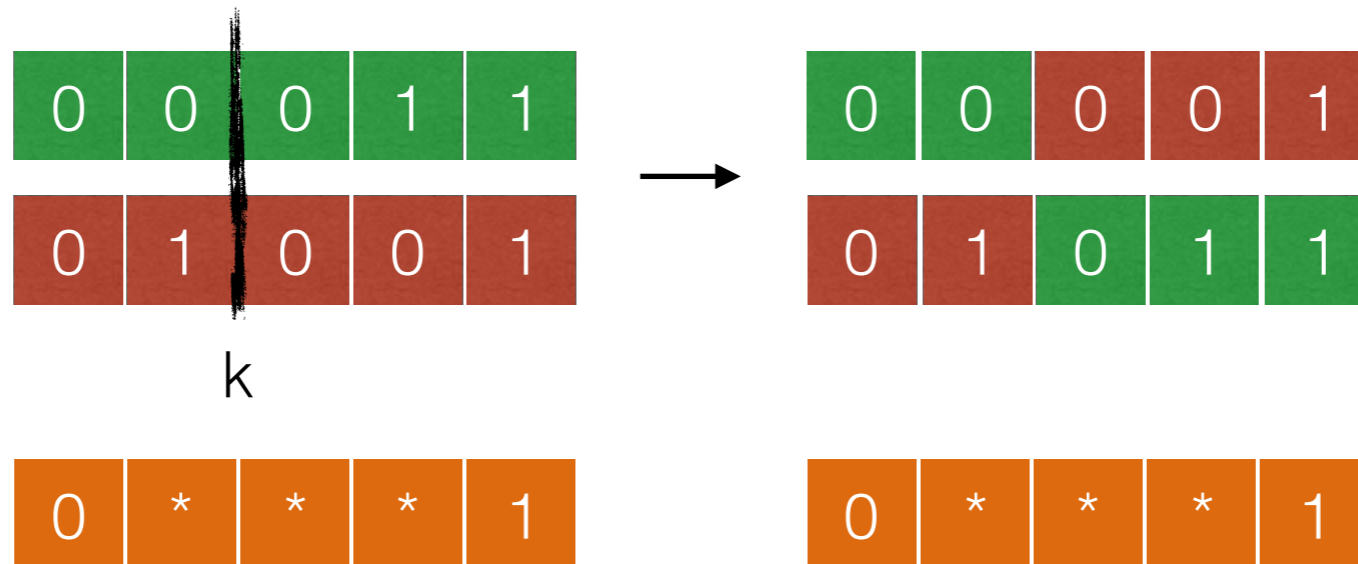
Probabilidad de ser seleccionado en función del orden, no el fitness.
Favorece la diversidad, pero poblaciones grandes tienden no convergen (mucha diversidad).

Torneo

Selección aleatoria de M individuos (pequeño), luego se selecciona el mejor.
Empíricamente mantiene un buen equilibrio entre diversidad y presión selectiva.

Recombinación 1 punto de pivote

- ↑ Sencillez
- ↓ Sesgo posicional —> soluciones inalcanzables.

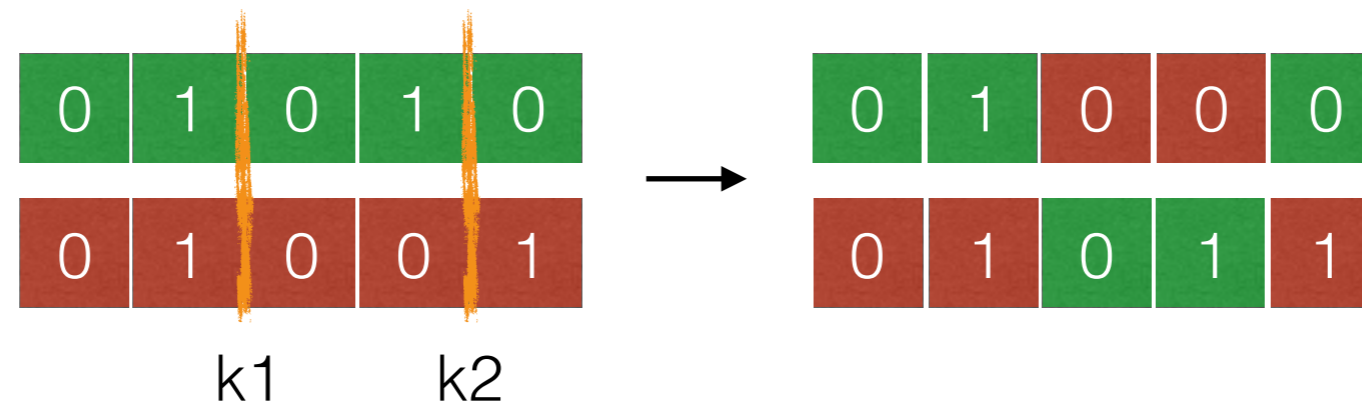


Esquemas

Recombinación

N puntos de pivote

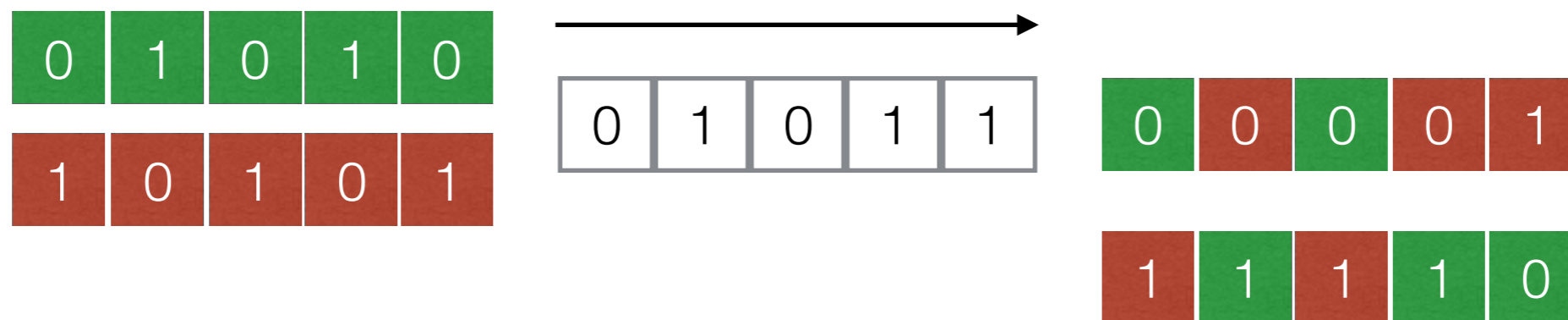
- ↑ Elimina el problema de cruzar las cadenas finales
- ↑↓ Soluciona (parcialmente) sesgo posicional
- ↓ No del todo. Aún hay patrones inalcanzables



N = 2 mejora a N = 1. N > 2 no tiene mejoras significativas

Recombinación Uniforme

- ↑ Elimina el sesgo posicional
- ↓ Muy explorador. Tiende a eliminar o evitar formación de grupos de genes “interesantes”



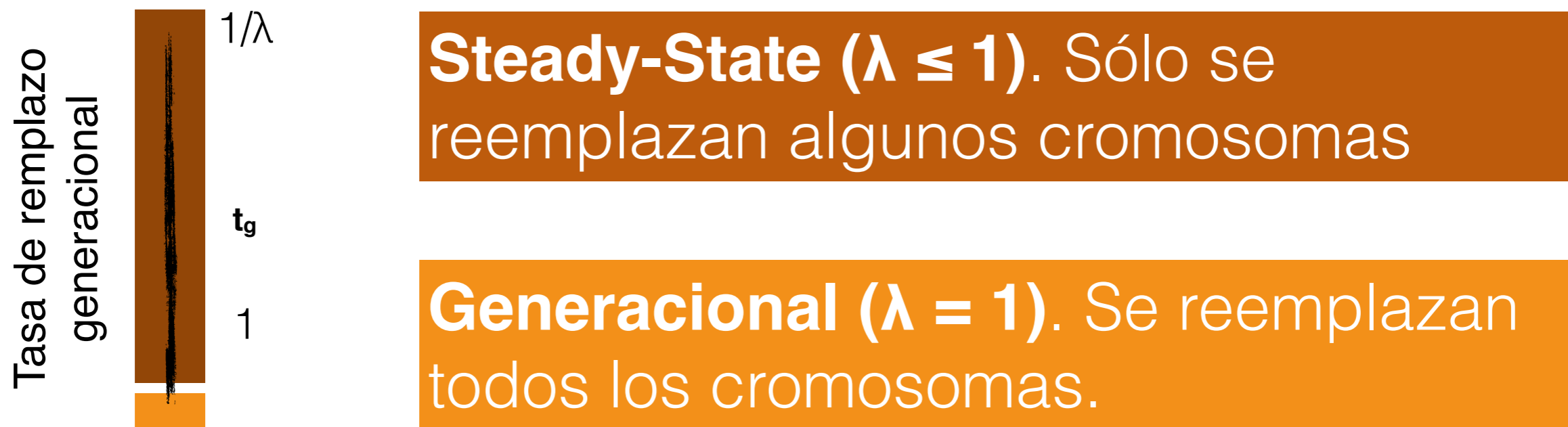
Mutación

- Permite añadir diversidad mutando genes.
- Regla de oro: $p_m = \frac{1}{L}$
 - Si p_m es muy alta, el algoritmo se convierte en una búsqueda aleatoria.
 - Si p_m es muy pequeña, se pierde diversidad al converger y se puede llegar a un mínimo local. Depende de cada problema.

*Demo: impacto de los distintos parámetros
en un algoritmo genético*

Reemplazo

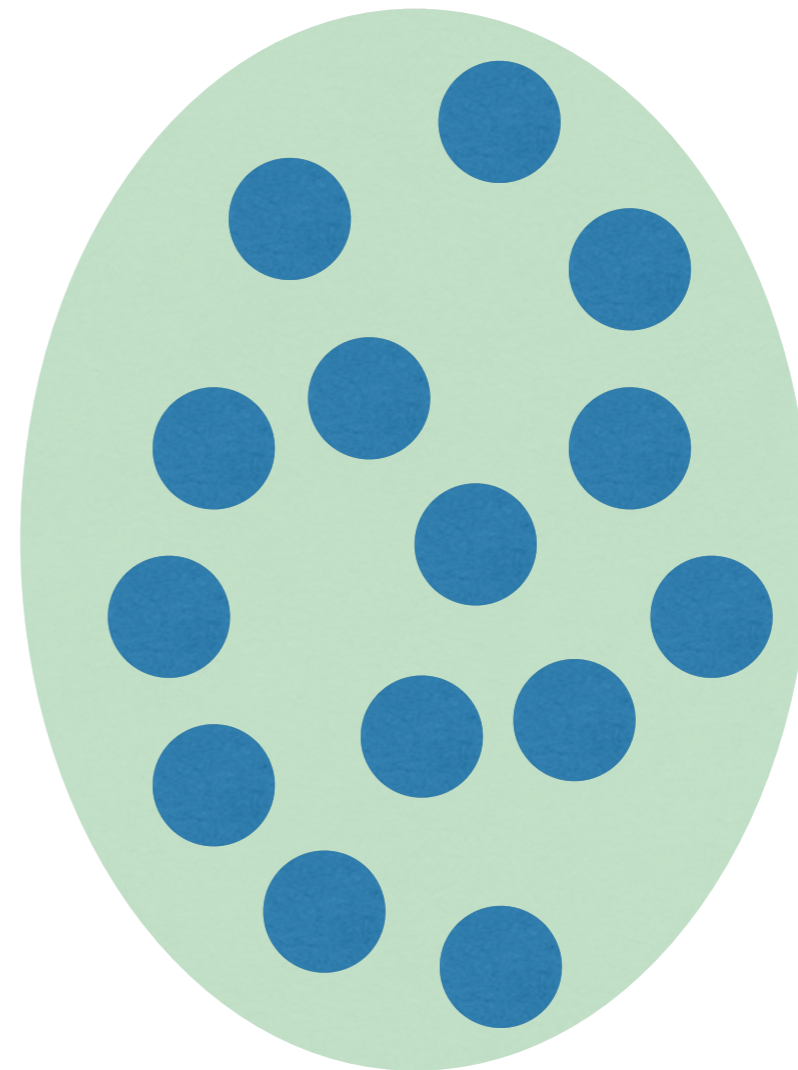
¿Cómo obtener la nueva generación?



Factor muy determinante en presión selectiva vs. diversidad

Reemplazo básico

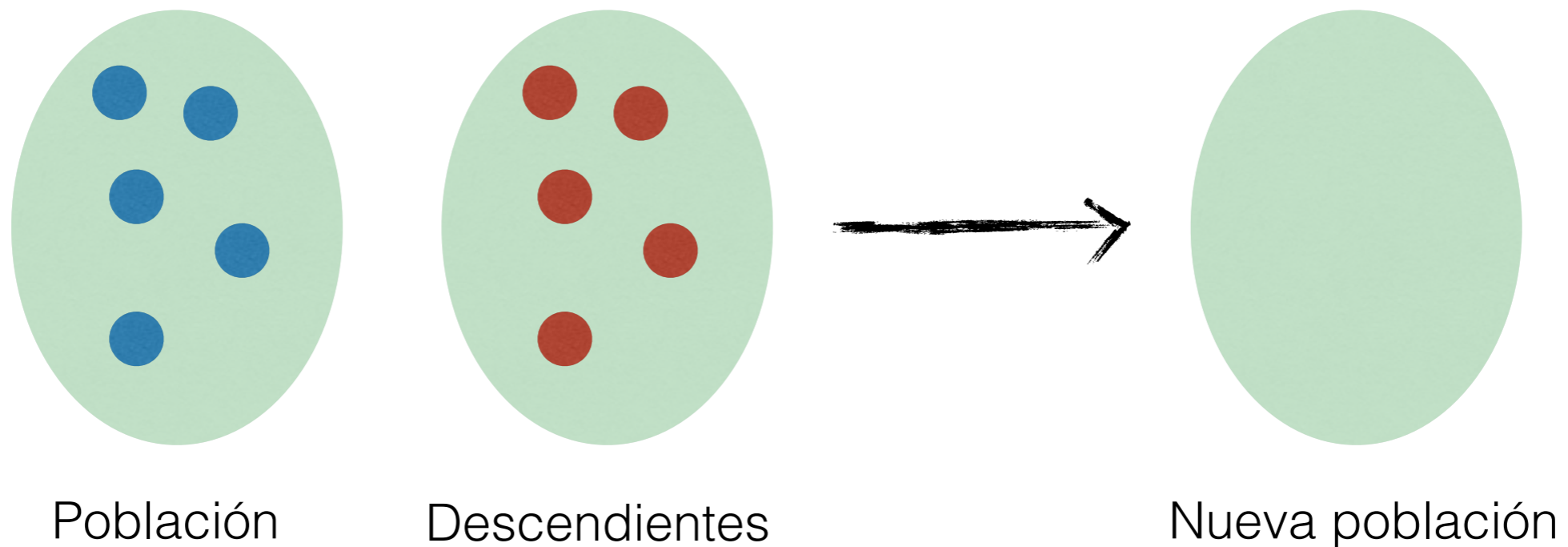
- Reemplazo 1 a 1
 - 1 descendiente x 1 individuo
- Selección de individuo aleatoria
 - Se favorece a los menos aptos.
- Extensible n a n
- $n = \lambda \rightarrow$ Reemplazo generacional



$n = 3$

Reducción Elitista

- Si λ = número de individuos en la población
- Se cogen los λ más aptos de entre población actual y descendientes.
- El resto se desechan



Demo: problemática de cruce en alfabetos infinitos. Operadores plano y flexible

Otros operadores

Operadores catastróficos

- Empaquetado
- Día del juicio final

Migración

```
def getSolutionCosts (navigationCode):
```

```
    fuelStopCost = 15
```

```
    extraComputationCost = 8
```

```
    thisAlgorithmBecomingSkynetCost = 999999999
```

```
    waterCrossingCost = 45
```



GENETIC ALGORITHMS TIP:

ALWAYS INCLUDE THIS IN YOUR FITNESS FUNCTION

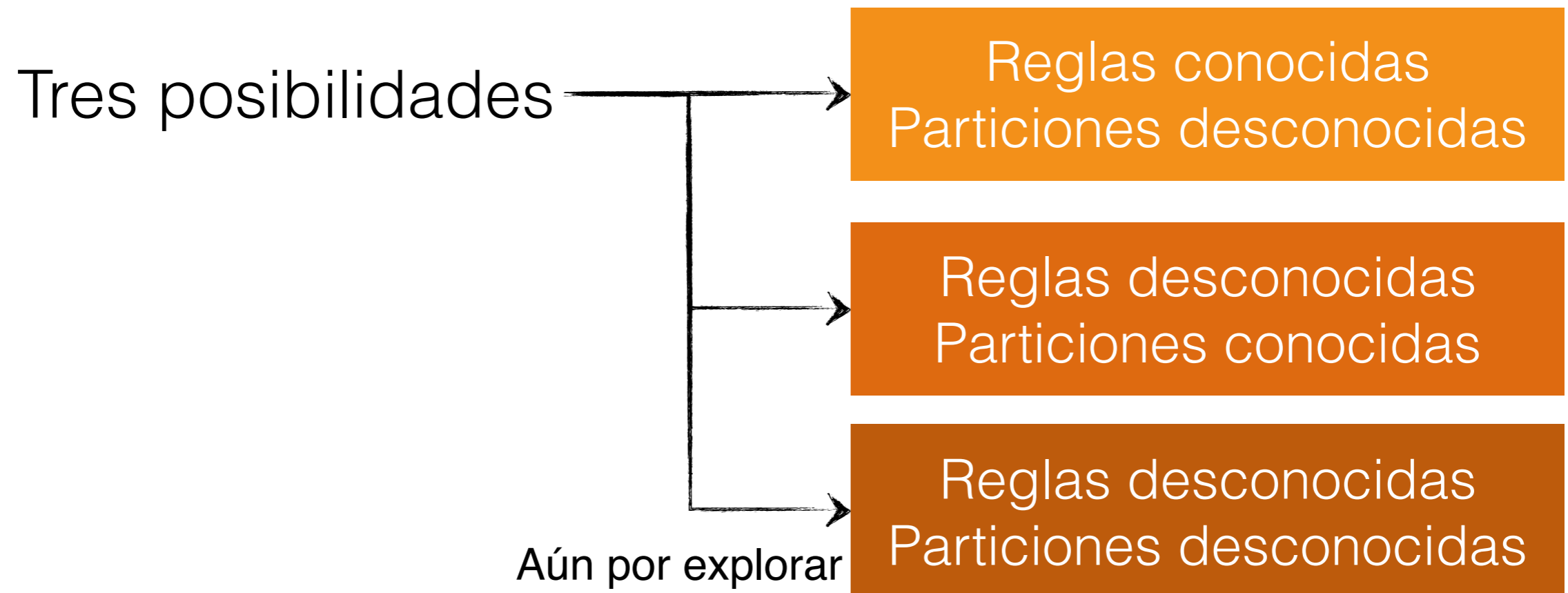
GA Tricks

<http://www.xkcd.com/534/>

Generación y optimización de FLCs

Cómo generar y optimizar

Algoritmos genéticos como optimizador de parámetros



Reglas conocidas / Particiones desconocidas

Reglas conocidas \Rightarrow N° conjuntos conocidos

¿Representación?



No es un caso común

Más expresividad no mejora
apenas el rendimiento

Particiones conocidas / Reglas desconocidas

Forma de la regla difusa

```
IF in_1 IS fs_11 AND in_2 IS fs_21 THEN out IS fso_1
```

¿Qué conectores implementar?

AND

AND + NOT

AND + NOT + OR

Se tiende a usar la primera opción por simplicidad, reduciendo las demás a ésta

Representación AND

Una matriz por variable de salida

Cada celda describe una regla

Ejemplo

out	0	fs ₂₁	fs ₂₂	fs ₂₃
0	X	0	fs ₀₂	fs ₀₂
fs ₁₁	0	0	fs ₀₂	fs ₀₂
fs ₁₂	fs ₀₁	fs ₀₁	0	0

IF in₂ IS fs₂₂ THEN out IS fs₀₂

IF in₂ IS fs₂₃ THEN out IS fs₀₂

IF in₁ IS fs₁₁ AND in₂ IS fs₂₂ THEN out IS fs₀₂

IF in₁ IS fs₁₁ AND in₂ IS fs₂₃ THEN out IS fs₀₂

IF in₁ IS fs₁₂ THEN out IS fs₀₁

IF in₁ IS fs₁₂ AND in₂ IS fs₂₁ THEN out IS fs₀₁

Bibliografía

Winston, P. H. (1992). Artificial Intelligence (Third edition). Addison-Wesley.

Haugeland, J. (Ed.). (1985). Artificial Intelligence: The Very Idea. MIT Press.

Rich, E. and Knight, K. (1991). Artificial Intelligence (second edition). McGraw-Hill.

Luger, G.E, & Stubblefield W.A. (1989) Artificial Intelligence and Design of Expert System. Reading, MA: The Benjamin/Cummings Publishing Company

Peter and Norvig. (2005). Artificial Intelligence. A modern approach (3rd edition). Learning.

Gracias