

# COMPUTACIÓN BIOLÓGICA

Pedro Isasi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática  
Universidad Carlos III de Madrid  
Avda. de la Universidad, 30. 28911 Leganés (Madrid). Spain  
email: isasi@ia.uc3m.es

Presentación

# TEMARIO

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 ALGORITMOS GENÉTICOS
- 3 COMPUTACIÓN EVOLUTIVA
- 4 COMPUTACIÓN CON INSPIRACIÓN BIOLÓGICA
- 5 **BIOLOGÍA Y COMPUTACIÓN**
  - Efecto Baldwin

# EVOLUCIÓN LAMARKIANA

- Publicada en su libro *Filosofía Zoológica* (1809)
- Tesis: Cambios en el entorno producen cambios en las necesidades de los organismos vivos, que pueden producir cambios en su comportamiento
- Mecanismos de evolución:
  - Primera ley: El uso o desuso produce el desarrollo o debilitamiento de las estructuras (órganos)
  - Segunda ley: Todos estos cambios se transmiten por herencia
- Ejemplo: las patas de las garzas o los cuellos de las girafas



# EVOLUCIÓN DARWINIANA

- Publicada en “El origen de las especies” (1859)
- La manipulación directa de la estructura genética es imposible
- Las características adquiridas no se pueden transmitir directamente a los descendientes
- Mecanismos de evolución:
  - La variación genética de las especies a través de mutaciones aleatorias
  - La Selección Natural operando en los fenotipos



## EVOLUCIÓN BALDWINIANA

- Publicado en “Un nuevo factor de evolución” (1896)
- Descubierta de forma independiente por Baldwin, Morgan y Osborn en 1896
- Nuevo factor = plasticidad fenotípica: la capacidad de un individuo de adaptarse a su entorno durante su vida
  - Ejemplos: capacidad de aprender, incremento de la masa muscular mediante el ejercicio físico, el bronceado después de la exposición solar



# EL EFECTO BALDWIN

- Un conjunto de efectos aparecen por interacción de dos procesos adaptativos:
  - Evolución genotípica de las poblaciones (búsqueda global)
  - La flexibilidad fenotípica de los organismos (búsqueda local)
- Tiene que ver con los beneficios y perjuicios del aprendizaje
- El aprendizaje puede alterar la composición genética de una población

## EL EFECTO BALDWIN

- Ejemplos hipotéticos:
  - El canto de los pájaros (Simpson 1953)
  - La capacidad humana de lenguaje (Pinker and Bloom 1990, Deacon 1997)
  - La consciencia y la inteligencia (Dennett 1991, 1995)
- La capacidad de aprendizaje puede, eventualmente, aparecer codificada genéticamente. Este mecanismo recuerda a la evolución lamarkiana
- Sin embargo, es consistente con los mecanismos darwinianos de herencia de rasgos

# EFECTO BALDWIN. NIVEL 1

- Valor evolutivo del aprendizaje: acelera la evolución de un rasgo adaptativo
  - Como resultado de una **mutación**, un organismo es capaz de aprender “cómo hacer X”
  - Aprender a “cómo hacer X” incrementa el fitness del organismo
  - Se crea una nueva presión de selección: ya que la selección ahora también opera sobre la habilidad de hacer X
  - Si el poder hacer X permite un mayor éxito reproductivo, la población podría, eventualmente, estar repleta de individuos capaces de aprender a “cómo hacer X”



## EFEECTO BALDWIN. NIVEL 2

- Debido a que el aprendizaje es costoso, la evolución favorecerá soluciones rígidas en las cuales adquirir X es parte de la carga genética del individuo (rigidez fenotípica)
  - La probabilidad de éxito reproductivo, proporcional a lo rápido que X pueda ser aprendido
  - Nuevas presiones de selección causan competitividad entre aprendices lentos y rápidos
  - Algunos individuos estarán mejor equipados (genéticamente) para aprender X, y tendrán ventaja reproductiva
  - Accidentalmente, la capacidad X está bajo control genético directo  $\implies$ , canalización de los rasgos (Waddington 1942)

## HINTON & NOWLAN SIMULACIÓN (1987)

- Los individuos son redes neuronales con 20 posibles conexiones
- 20 genes, que describen las conexiones de la red
- Cada gen puede tener tres alelos
  - 0 = sin conexión
  - 1 = con conexión
  - ? = indeterminado, susceptible de aprendizaje
- Solo hay un buen fenotipo: La red solo funciona si todos los nodos están conectados
- El mejor genotipo: el que tiene todos los genes a 1

## PAISAJE DE AGÜJA EN UN PAJAR

- La evolución se realiza mediante un AG
- Población de 1000 individuos
- Cada alelo se inicializa aleatoriamente
  - $p = 0.5$  para ?
  - $p = 0.25$  para 0 y 1
- Se genera el individuo, haciendo que las ? tomen valores 0 ó 1 de forma aleatoria
- Si el individuo tiene todo 1's, el fitness es 1, sino el fitness es 0
- No funciona mejor que una búsqueda aleatoria

# EL PROBLEMA DE HEREDAR EL BUEN GENOMA

- Incluso si se encuentra la solución correcta no es fácil que sobreviva en la generación siguiente
- A menos que los progenitores sean muy parecidos, las buenas soluciones desaparecen en generaciones sucesivas
  - Se puede mejorar introduciendo elitismo o reproducción asexual
  - Seguiría siendo no mejor que una búsqueda aleatoria elitista

# LA IMPORTANCIA DEL APRENDIZAJE ADQUIRIDO

- Se introduce un mecanismo de plasticidad fenotípica (aprendizaje)
- Cada individuo realiza 1000 intentos de aprendizaje durante su periodo de vida
- Mecanismo de aprendizaje: asignación aleatoria de las ?
  - Si el individuo encuentra la red correcta, se para
  - Sino sigue buscando, hasta los 1000 intentos
- Todos los fenotipos son igual de difíciles de aprender
- Necesita que el individuo reconozca que la solución es correcta

## GENERACIÓN DE LA NUEVA POBLACIÓN

- 1000 reproducciones
- Selección por ruleta
- Seleccionan padres proporcional al fitness
- La función de fitness de un individuo  $i$  en una población  $I$  es:

$$F(I_i) = 1 + \frac{(G - g)(N - 1)}{G}$$

- $G$  = número total de intentos (1000)
- $g$  = número de intentos hasta encontrar la solución
- $N$  = longitud del genotipo (100)
- El fitness va desde 1 hasta  $N$ . Si se descubre a los 900 intentos:

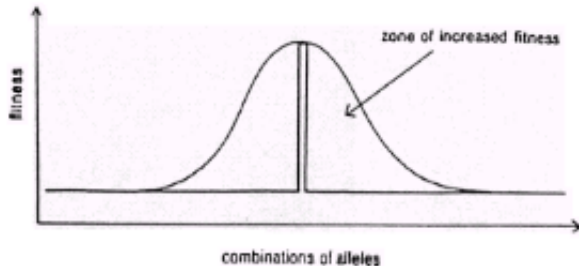
$$1 + \frac{(1000 - 900)(99)}{1000} = 10,9$$

## GENERACIÓN DE LA NUEVA POBLACIÓN

- La ruleta se lanza dos veces, se seleccionan los dos padres y se genera un solo descendiente
- El descendiente se genera mediante cruce simple
- Los descendientes solo heredan el genoma, **nunca las conexiones aprendidas durante la vida de sus padres**
- Los parámetros del modelo están elegidos de forma precisa
- Un genotipo normal tiene unas diez conexiones determinadas genéticamente (1's ó 0's)
  - Se realizan alrededor de  $2^{10}$  ensayos

## RESULTADOS

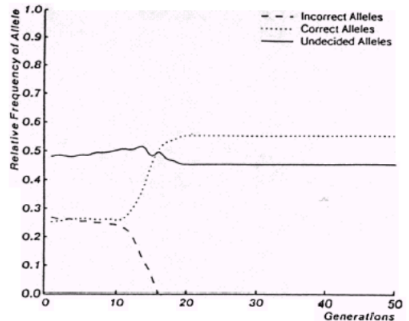
- La plasticidad fenotípica suaviza el “agüja en un pajar” paisaje de fitness
- Ya que se permite que un individuo explore regiones fenotípicas vecinas
- No hay que encontrar la cima mediante saltos aleatorios poco probables, se puede subir de forma suave





# RESULTADOS

- Sin plasticidad fenotípica, se necesitan generar alrededor de  $2^{20}$  (1 million) de individuos para tener éxito
- Con aprendizaje, se necesitan tan solo 16000 individuos
- Existe una pequeña presión para fijar todos los fenotipos genéticamente



## CONCLUSIONES

- Con plasticidad fenotípica se encuentra la solución mucho más rápidamente
- Los individuos resultantes no tienen capacidad de aprendizaje, tienen todos sus genes a 1
- Es como si el aprendizaje realizado por sus padres hubiera sido transmitido genéticamente  $\Rightarrow$  Lamarkismo
- Sin embargo, no ha habido **ninguna** transmisión de los caracteres adquiridos
- Y a pesar de todo se han transmitido de forma indirecta

### RESUMEN

La evolución de los individuos, en ocasiones, parece lamarkiana, pero es siempre una evolución darwiniana

## CONCLUSIONES

- Con plasticidad fenotípica se encuentra la solución mucho más rápidamente
- Los individuos resultantes no tienen capacidad de aprendizaje, tienen todos sus genes a 1
- Es como si el aprendizaje realizado por sus padres hubiera sido transmitido genéticamente  $\Rightarrow$  Lamarkismo
- Sin embargo, no ha habido **ninguna** transmisión de los caracteres adquiridos
- Y a pesar de todo se han transmitido de forma indirecta

### RESUMEN

La evolución de los individuos, en ocasiones, parece lamarkiana, pero es siempre una evolución darwiniana

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 ALGORITMOS GENÉTICOS
- 3 COMPUTACIÓN EVOLUTIVA
- 4 COMPUTACIÓN CON INSPIRACIÓN BIOLÓGICA
- 5 **BIOLOGÍA Y COMPUTACIÓN**
  - **Efecto Baldwin**