

Evolved Virtual Creatures

Examples from
work in progress

EL RETO DE MODELAR EVOLUCIÓN

CHRISTOPHER R. STEPHENS
C3 - CENTRO DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD Y
INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES, UNAM
ESCUELA BILOGÍA MATEMÁTICA
SAN LUIS POTOSÍ, OCT. 2012

COLABORADORES

✻ Riccardo Poli, University of Essex

✻ Manuel Beltran, C3

✻ David Rosenblueth, C3

✻ Leon Castillo, C3

✻ Selene Zarate, UACM

✻ Michael Gaunt, LSHTM

✻ Victor Mireles, Berlin

✻ Diego Hartasanchez, Barcelona

✻ Paty Ortegón, HP

CHARACTERÍSTICAS DE LA EVOLUCIÓN

☼ ¿Cuántos están evolucionando?

- ☼ La cuestión de tamaño de población

☼ ¿Qué está evolucionando?

- ☼ La cuestión de representación

☼ ¿Quién está más apto?

- ☼ La cuestión de selección

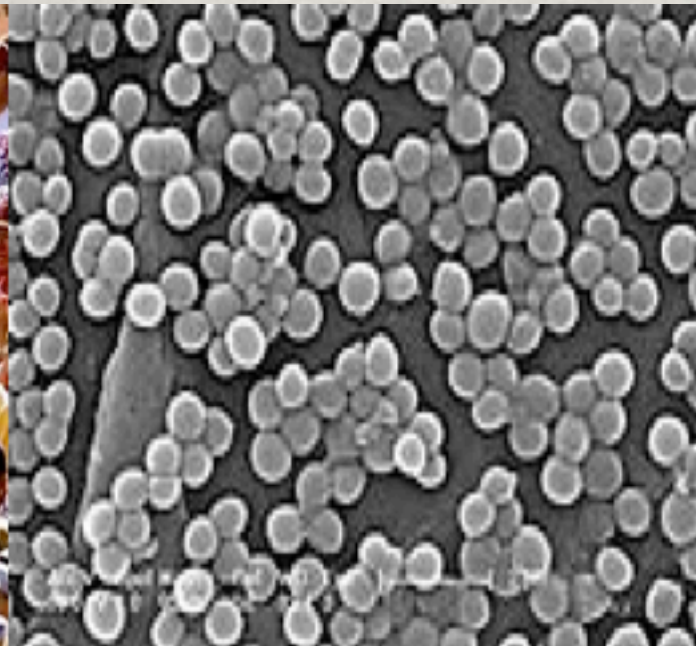
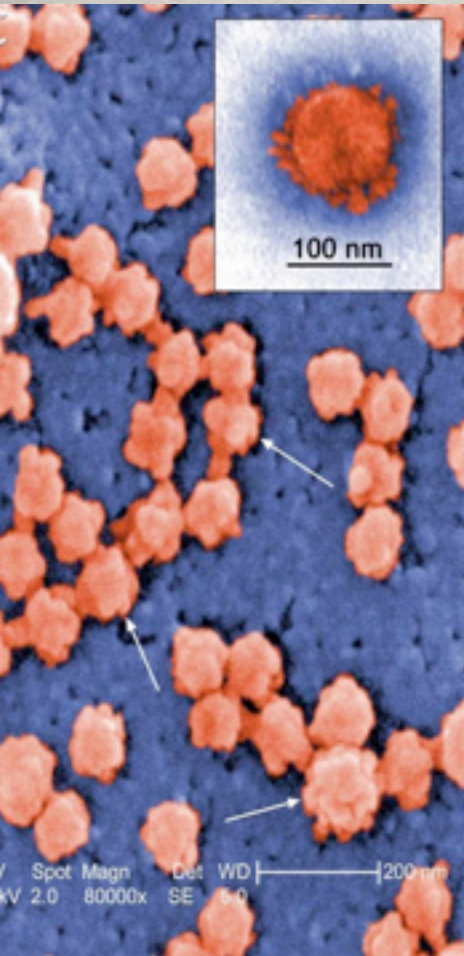
☼ ¿Qué hay de nuevo?

- ☼ La cuestión de variación

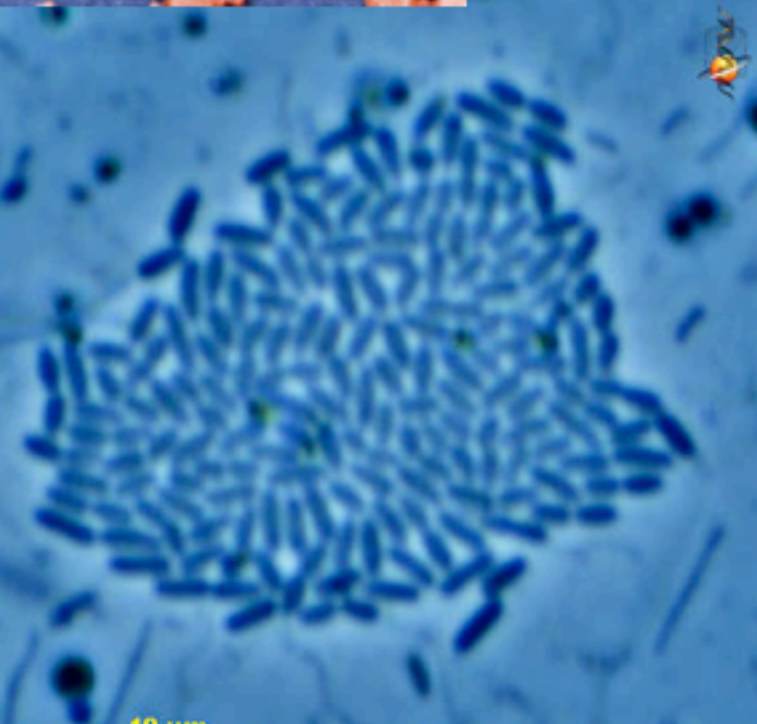
☼ ¿Quién tiene suerte?

- ☼ La cuestión de deriva

¿CUÁNTOS ESTAN EVOLUCIONANDO?



Electron micrograph of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* bacteria. Source: U.S. Centers for Disease Control and Prevention



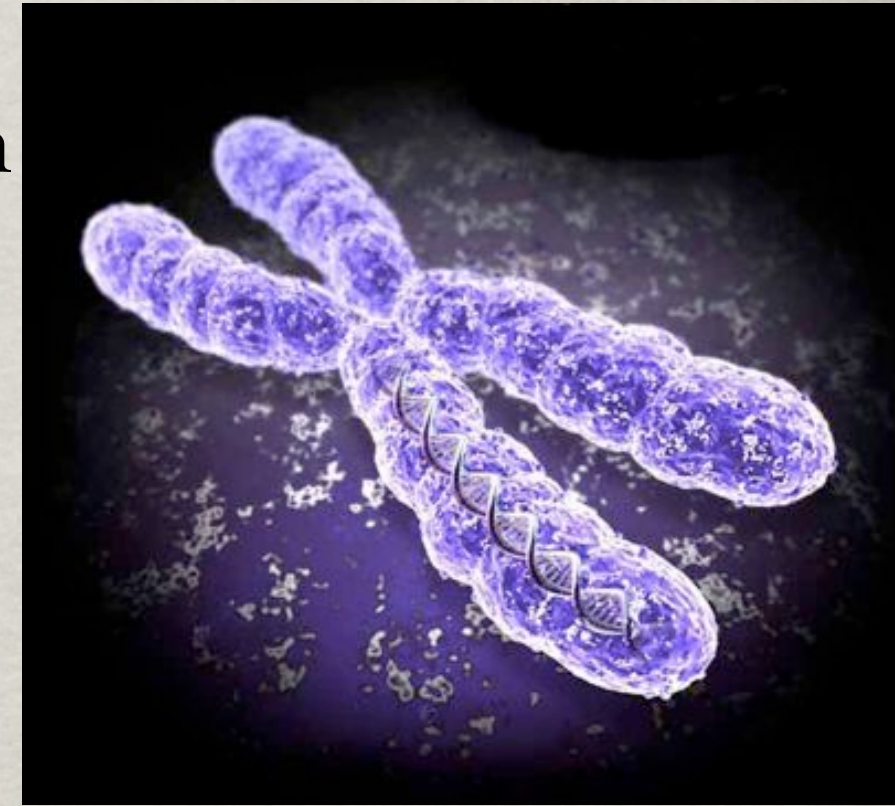
Concepto de comparación



¿QUÉ ESTA EVOLUCIONANDO?



Objetos que codifican información



- Genética
- Neuronal
- Cultural
- Lenguajes

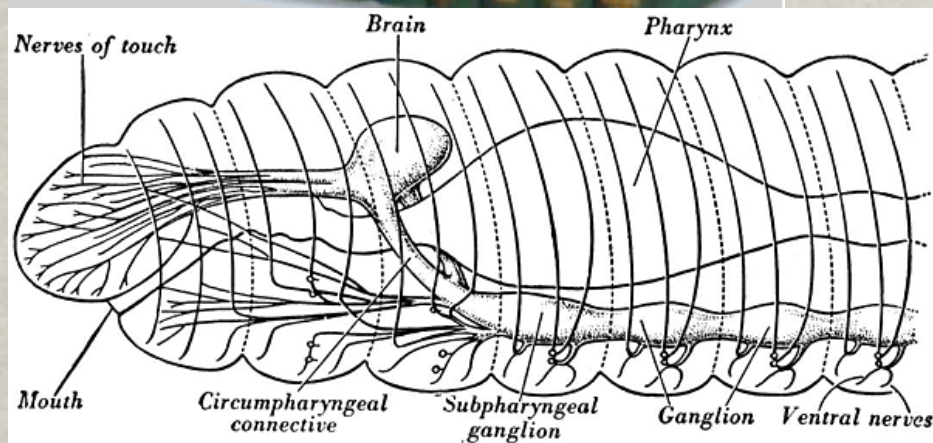


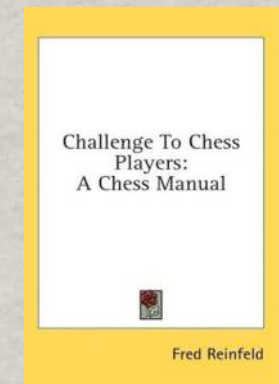
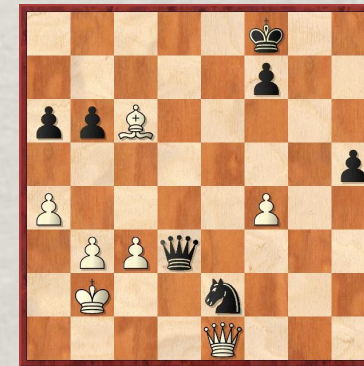
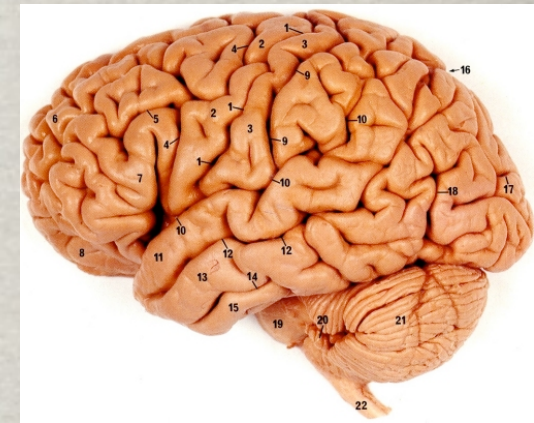
FIG. 159. Nervous System of Earthworm¹

Aprendizaje: Corto plazo (no-genético) versus largo plazo (genético)



EL MAPEO GENOTIPO-FENOTIPO

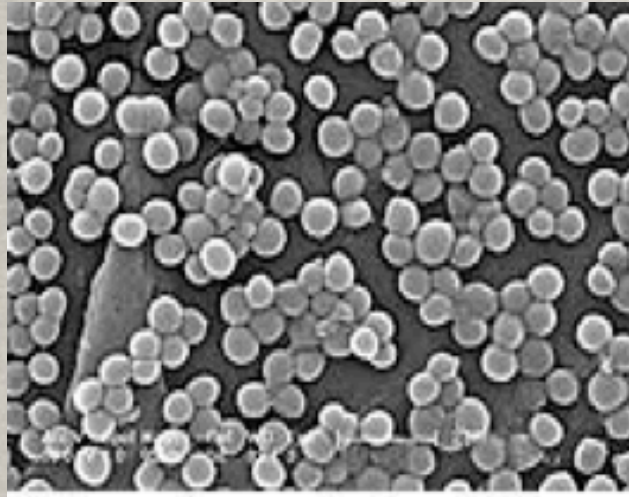
Desde objetos que tienen estructuras que codifican información (estructuras genóticas) hasta estructuras que tienen función fenotípica y que pueden estar usadas en la implementación de estrategias



Genotype and Phenotype

Phenotype:	purple flower	white flower
Genotype: (partial)	AA or Aa	aa

¿QUÉIEN ES MÁS APTO?



Electron micrograph of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* bacteria. Source: U.S. Centers for Disease Control and Prevention

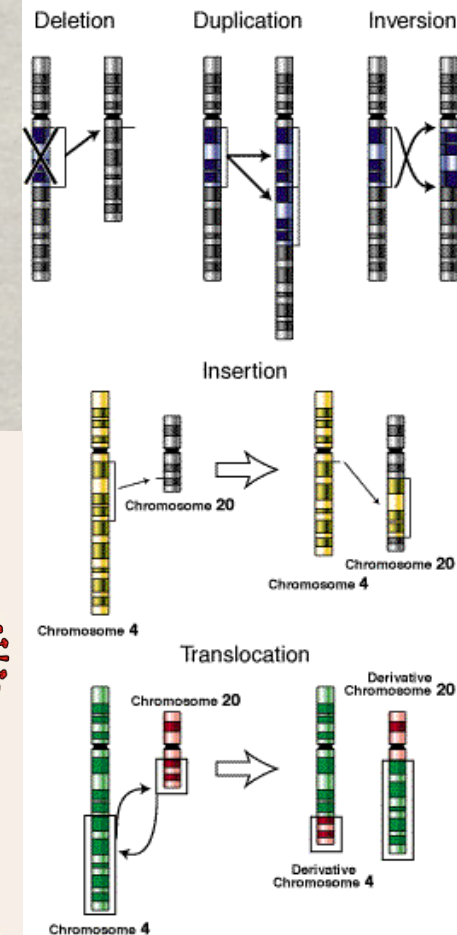
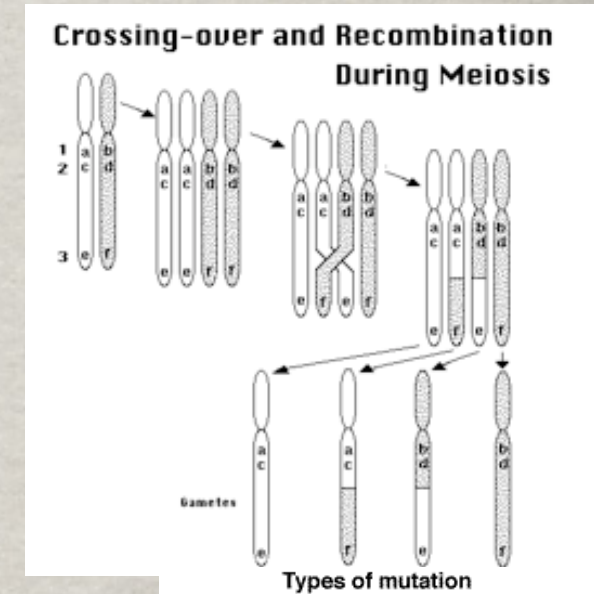


¿QUÉ HAY DE NUEVO?

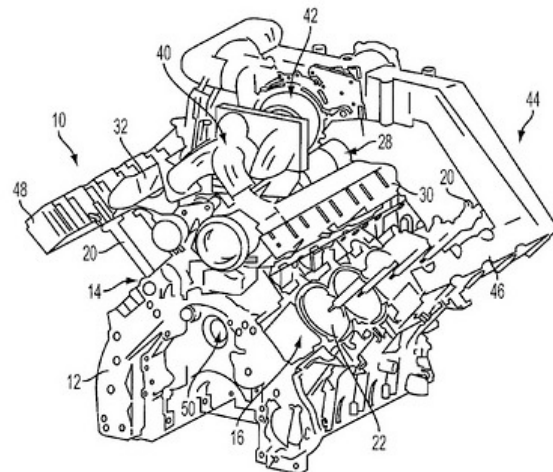
INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

- ✦ **GENÉTICA**
 - ✦ MUTACIÓN
 - ✦ **RECOMBINACIÓN**
 - ✦ OTROS OPERADORES GENÉTICOS
 - ✦ DELECIÓN, INSERCIÓN, DUPLICACIÓN,...
- ✦ **NO GENÉTICA**
 - ✦ APRENDIZAJE - CREATIVIDAD

EVOLUCIÓN COMO INNOVACIÓN

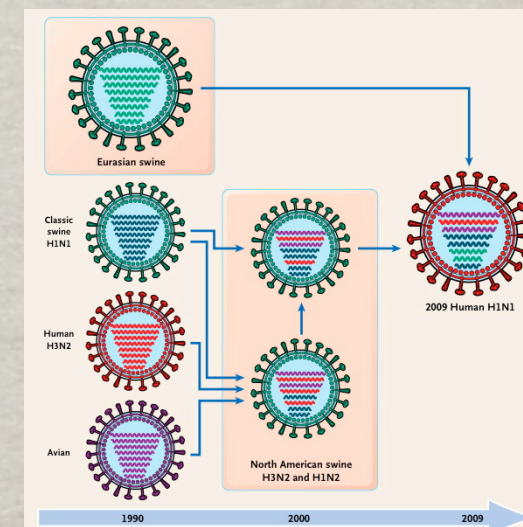


Patent Application Publication Mar. 26, 2009 Sheet 1 of 3 US 2009/0078240 A1

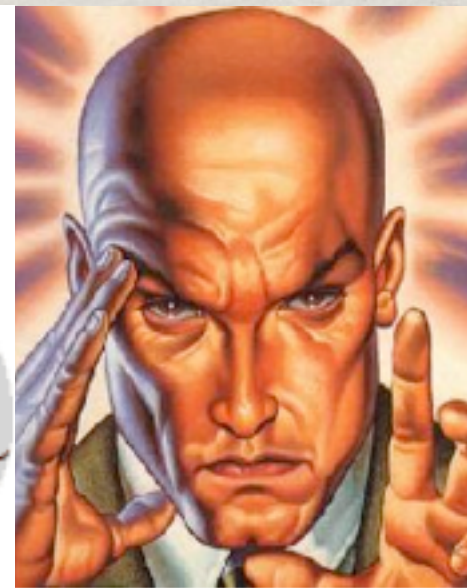


NUEVOS GENOTIPOS LLEVAN A NUEVOS FENOTIPOS

NUEVAS ESTRUCTURAS NUEVAS ESTRATEGIAS



¿QUÍEN TIENE SUERTE?



QWERTY KEYBOARD

~	!	@	#	\$	%	^	&	*	()	-	+	Delete
·	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	_	=	
Tab	Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P	{	}	
											[]	\
Caps	A	S	D	F	G	H	J	K	L	:	"	;	Enter
											'	,	
Shift	Z	X	C	V	B	N	M	<	>	?	/	.	Shift
Ctrl		Alt										Alt	Ctrl

<http://www.computerhope.com>

AHORA LA MODELACIÓN...

CONTANDO TIPOS

Primero, el concepto de una población $\longrightarrow n(x, t) \quad n(t)$

$$n(x, t) \rightarrow n_I(x, t)$$

Proximo, ¿de qué hay muchos?

$$n(t) \rightarrow n_I(t) \quad \text{Donde I representa "algo"}$$

“Algo” es el genotipo o el fenotipo o...

se introduce un espacio de tipos

$$\mathcal{M}$$

El mapeo genotipo-fenotipo

$$\mathcal{H} : \mathcal{M}_G \rightarrow \mathcal{M}_P$$

AHORA LA MODELACIÓN...

¿QUÉ ES UN TIPO?

¿Cómo se caracteriza I?

- ¿Una secuencia de nucleotidos? ...GTCCGTATAT...
- ¿Una secuencia de genes? ...AbcDeFG...
- ¿Una secuencia de otras estructuras? Exones, intrones, motifs, operones, cromosomas, segmentos de ARN... Longitud fija, longitud variable...
- ¿Un conjunto de rasgos fenotípicos?

¿Cómo se delimita \mathcal{M} ?

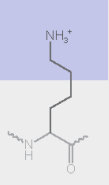
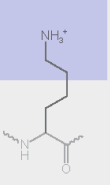
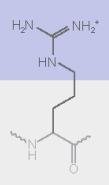
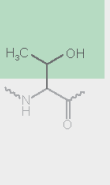
- ¿Una población de una especie? Cuestiones de geografía
- ¿Una especie entera?
- ¿Múltiples especies? Otros niveles taxonómicos
- ¿Todo la vida?

AHORA LA MODELACIÓN...

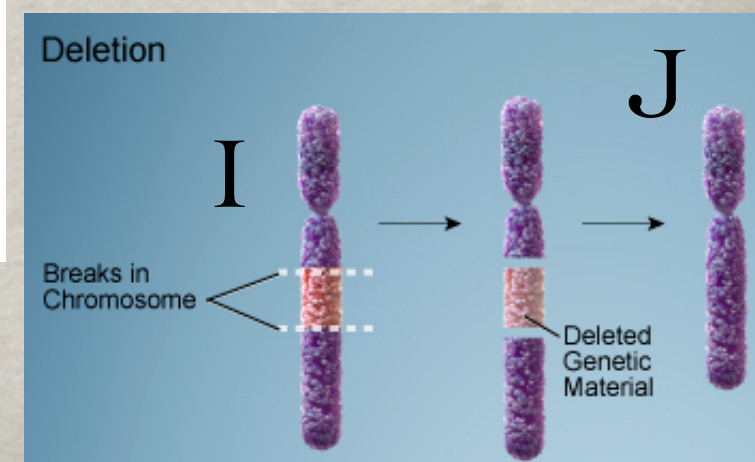
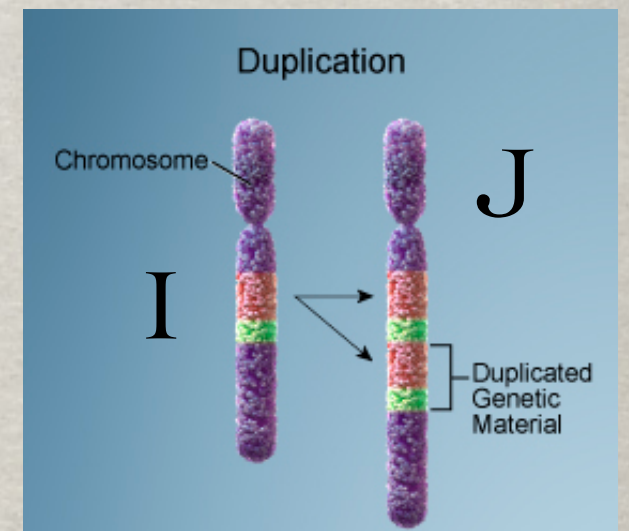
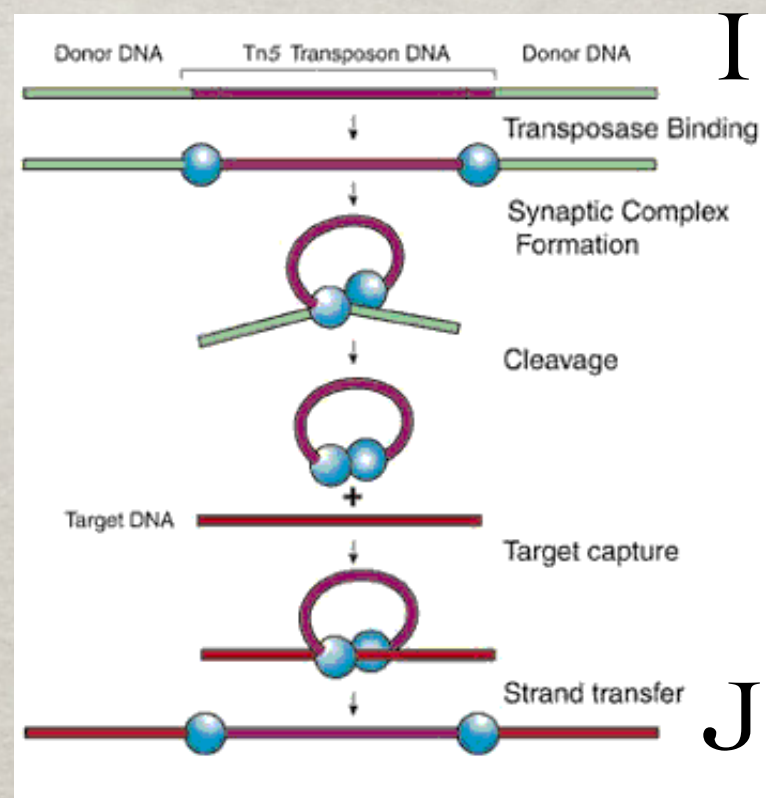
¿CÓMO CAMBIA DE UN TIPO A OTRO?

Mutación M_I^J Probabilidad que tipo J “muta” a tipo I
 p.e. point mutation: nucleotido G --> C; alelo a --> alelo b,
 sickle-cell anaemia

También, transposición de tipo I y II, inserción,
 deleción y muchos más...

	Point mutations				
	No mutation	Silent	Nonsense	Missense	
				conservative	non-conservative
DNA level	TTC	TTT	ATC	TCC	TGC
mRNA level	AAG	AAA	UAG	AGG	ACG
protein level	Lys	Lys	STOP	Arg	Thr
					

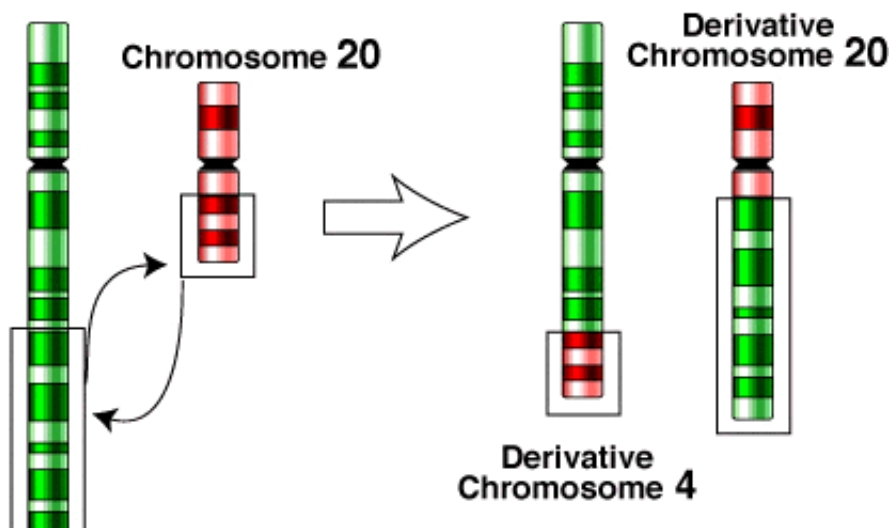
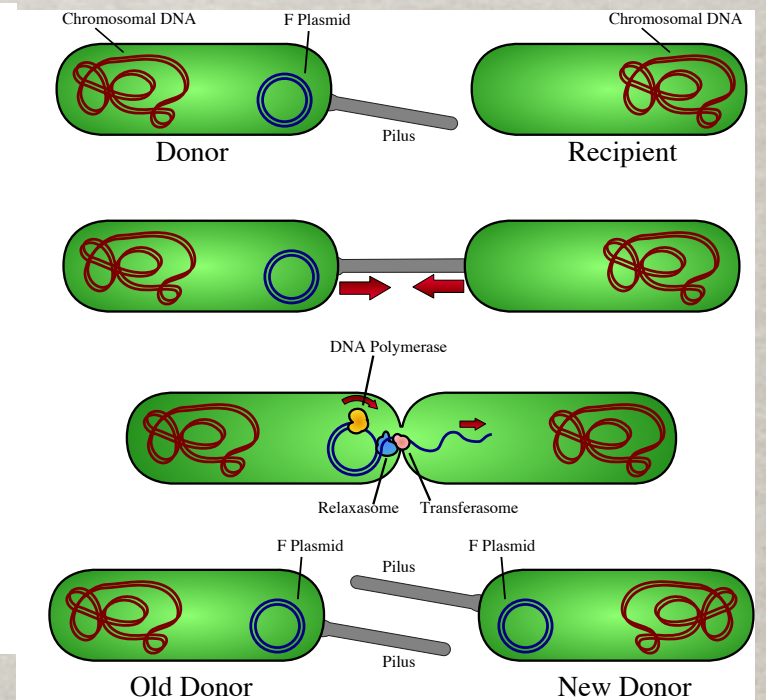
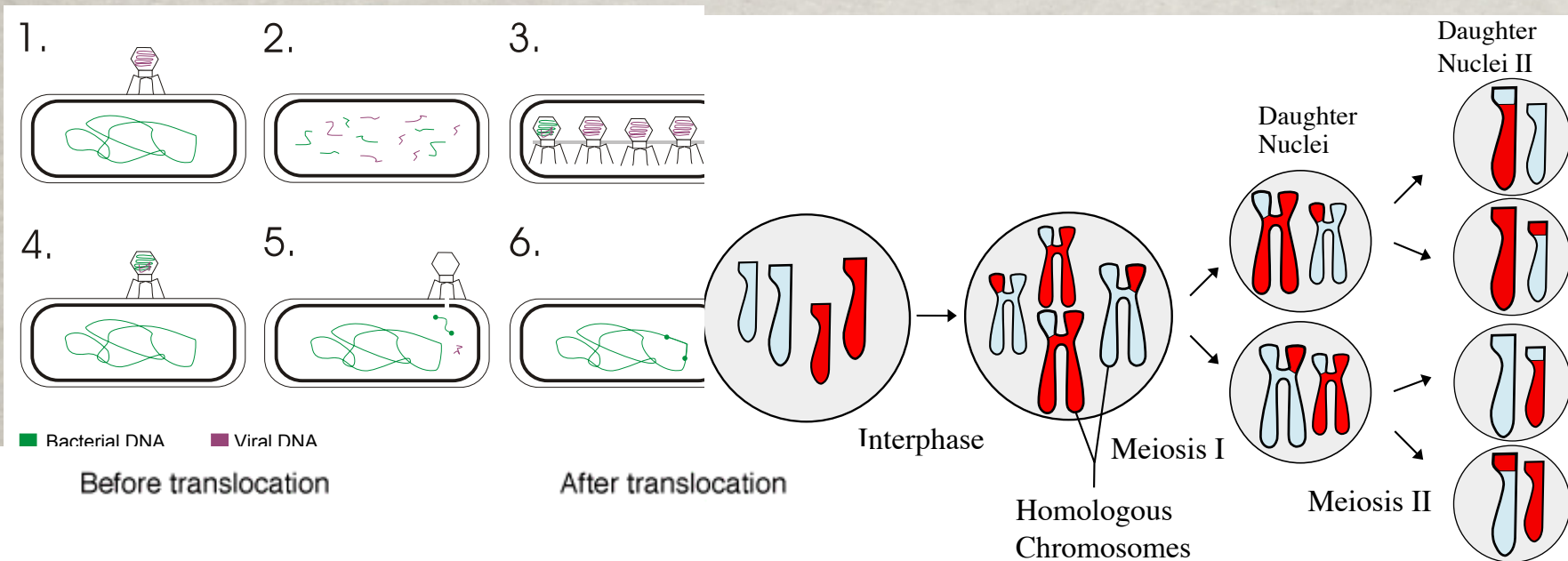
basic polar



AHORA LA MODELACIÓN...

¿CÓMO CAMBIA DE UN TIPO A OTRO?

“Recombinación” $\lambda_I^{JK}(m)$ Probabilidad que tipos J y K se combinan para formar tipo I
 p.e. meiosis (J y K son cromosomas maternal y paternal);
 conjugación, transducción, translocación...

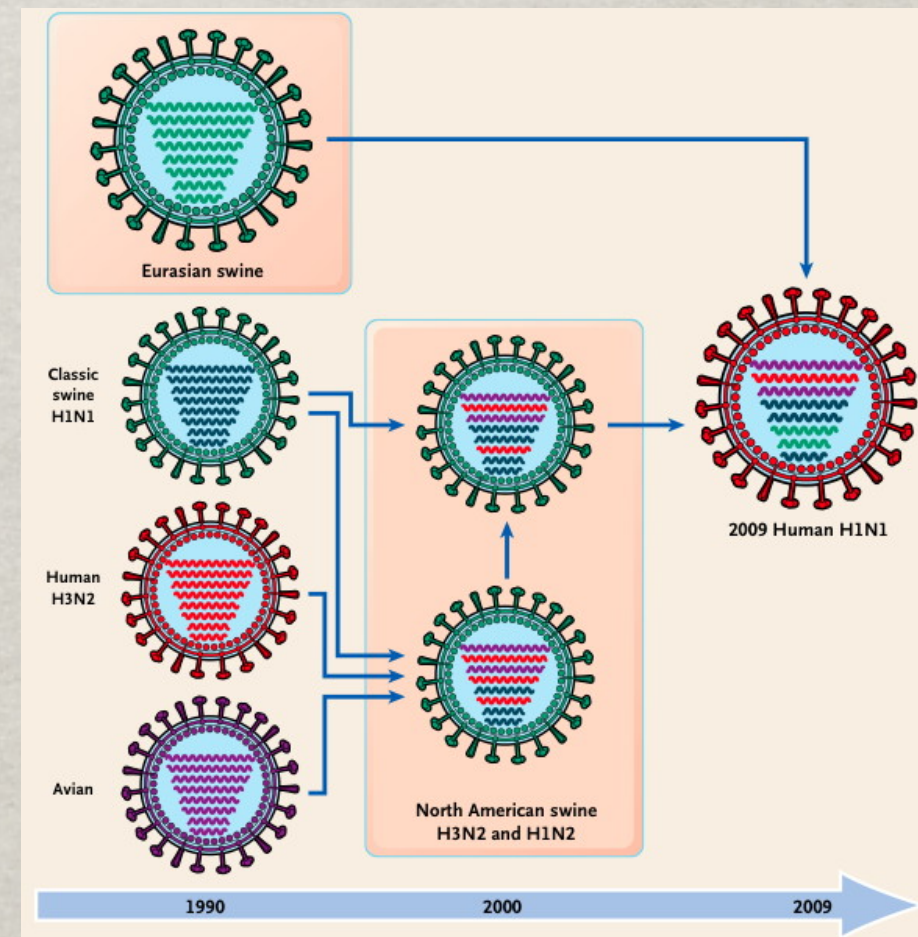
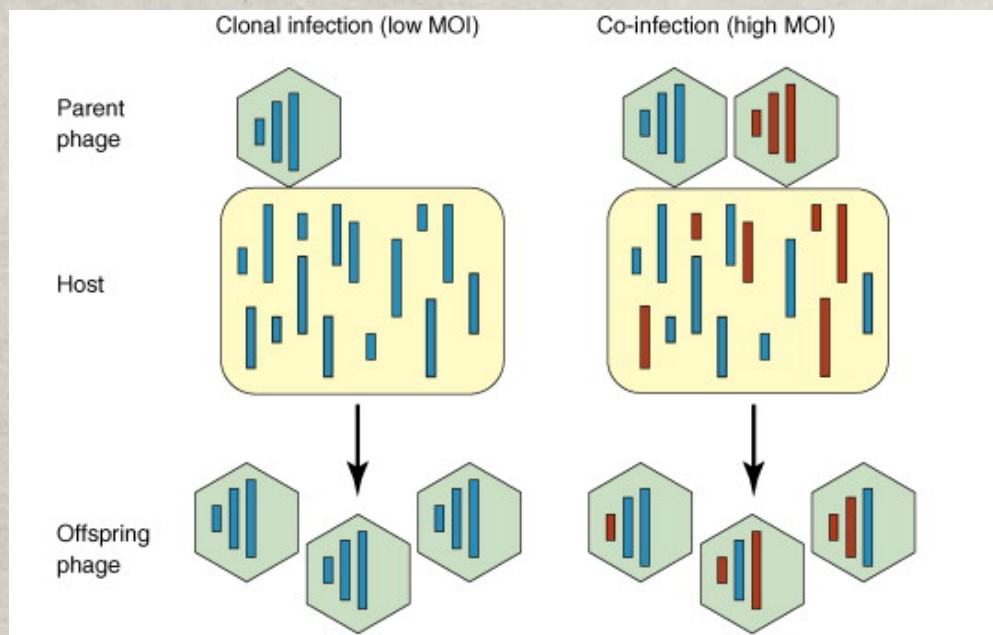


AHORA LA MODELACIÓN...

¿CÓMO CAMBIA DE UN TIPO A OTRO?

Multi-parent recombinación $\lambda_I^{JKL\dots}(m)$ Probabilidad que tipos J y K y L y ... se combinan para formar tipo I

p.e. viral reassortment

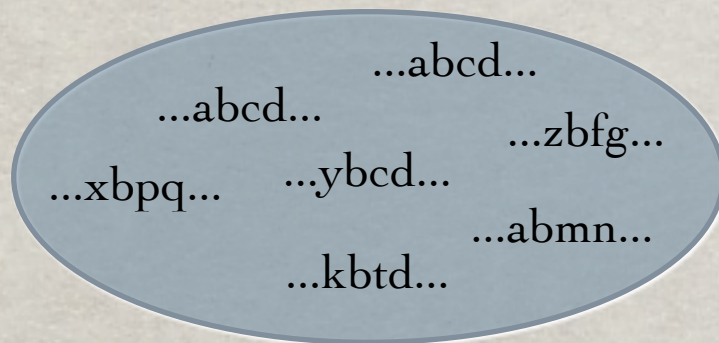


AHORA LA MODELACIÓN...

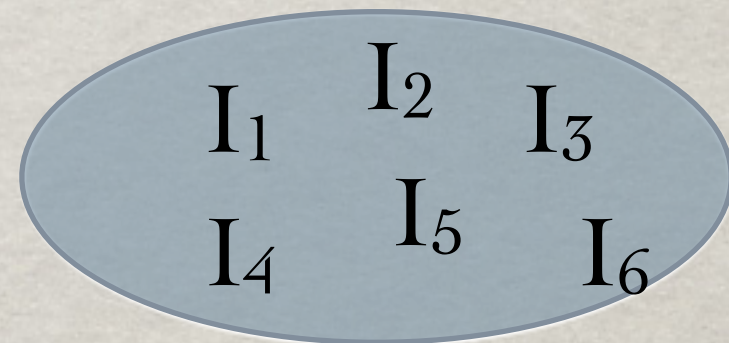
¿QUÍEN ES MAS APTO?

La probabilidad “seleccionar” el tipo I $P'_I(x, t)$ $P'_I(t)$

¿Qué es la unidad de selección? **El tipo**
porque todos los demás niveles estan compuestos de tipos



El gen “b”



El especie

Un gen se extingue cuando todos los tipos que tienen ese gen se extinguen

Un especie se extingue cuando todos los tipos que son miembros de ese especie se extinguen

AHORA LA MODELACIÓN...

¿QUÉ ES MAS APTO?

¿Qué es la medida de la selección?

“Reproductive Fitness”

Probabilidad que sobrevives hasta que...

Se reproduzca

$$f_I(\{f_J\}, x, t)$$

$$f_I(x, t)$$

$$f_I(\{f_J\}, \{P_J\}, x, t)$$

$$f_I(t)$$

$$f_I(\{P_J\}, x, t)$$

$$f_I$$

Co-evolución

Selección dependiente de frecuencia

AHORA LA MODELACIÓN...

TODO JUNTO - “SELECCION”, “MUTACION” Y “RECOMBINACION”

La genética poblacional estandar, ¿y más...?

$$\langle P_I(t+1) \rangle = \sum_J M_I^J \left((1-p_c) P'_J(t) + p_c \sum_m p_c(m) \sum_{KL} \lambda_J^{KL}(m) P'_K(t) P'_L(t) \right)$$

Recombination distribution
define la probabilidad de recombinación
en distintas partes de la genoma

Muchos potenciales “padres”
p.e. $4^N \times 4^N$ para nucleotidos

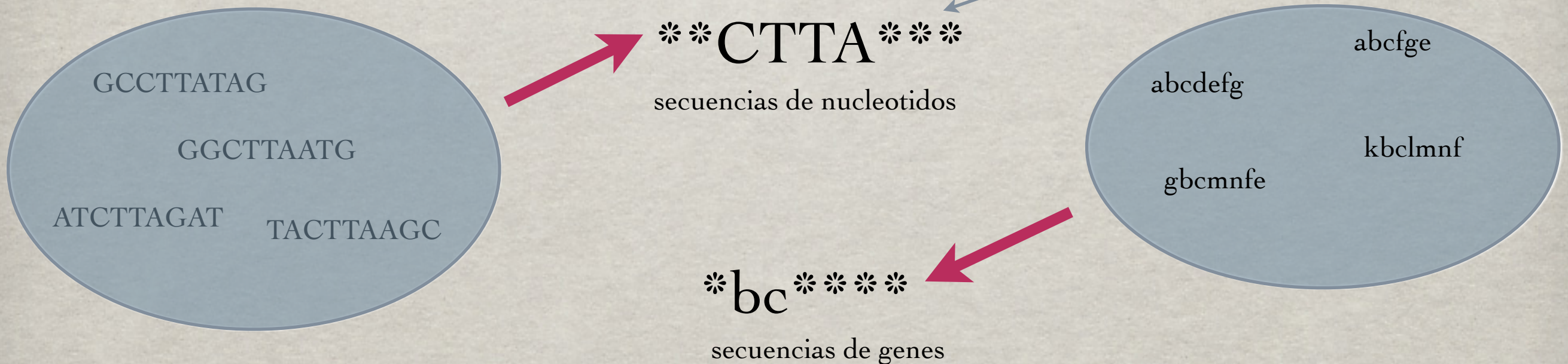
¿Qué hacemos?

“BLOQUES CONSTRUCTORES” NO TIPOS SON LA MATERIA PRIMA DE LA EVOLUCION

$$p_c \sum_m p_c(m) \sum_{KL} \lambda_J^{KL}(m) P'_K(t) P'_L(t) \rightarrow p_c \sum_m p_c(m) P'_{I_m}(t) P'_{I_{\bar{m}}}(t)$$

I_m y $I_{\bar{m}}$ son “bloques constructores”, grados de libertad de tipo coarse grained

coarse graining sobre estos loci



“BLOQUES CONSTRUCTORES” NO TIPOS SON LA MATERIA PRIMA DE LA EVOLUCION

Para dinámica recombinativa

$$\langle P_I(t+1) \rangle = \sum_J M_I^J (P'_J(t) - p_c \sum_m p_c(m) \Delta_J(m, t))$$

donde $\Delta_I(m, t) = P'_I(t) - P'_{I_m}(t)P'_{I_{\bar{m}}}(t)$

es el “Selection weighted linkage disequilibrium coefficient”
y rige si o no recombinación es benéfica en términos de
producción de más secuencias de adecuación alta y/o un
incremento en la adecuación promedio poblacional.

Si $\Delta_I(m, t) < 0$ recombinación es benéfica, y > 0 , el contrario.
El efecto depende del fitness landscape y la población

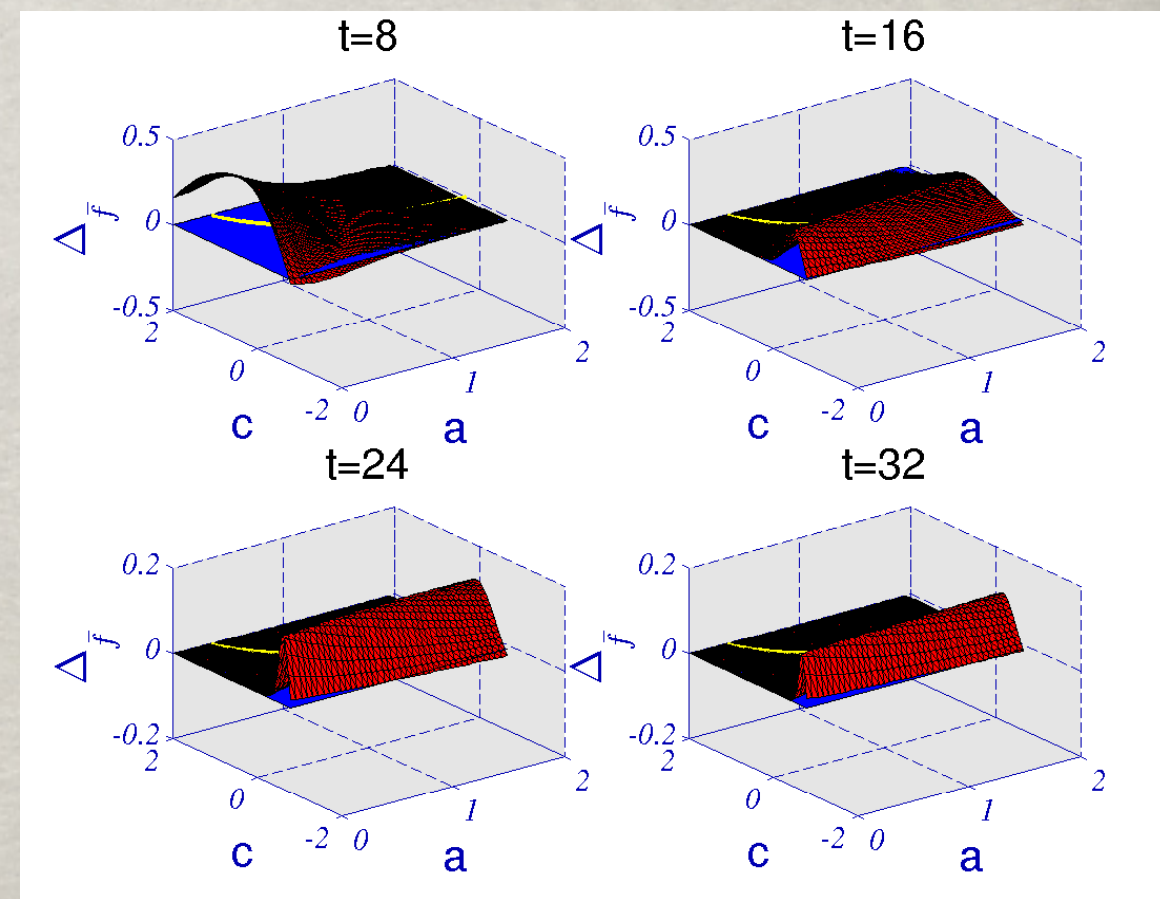
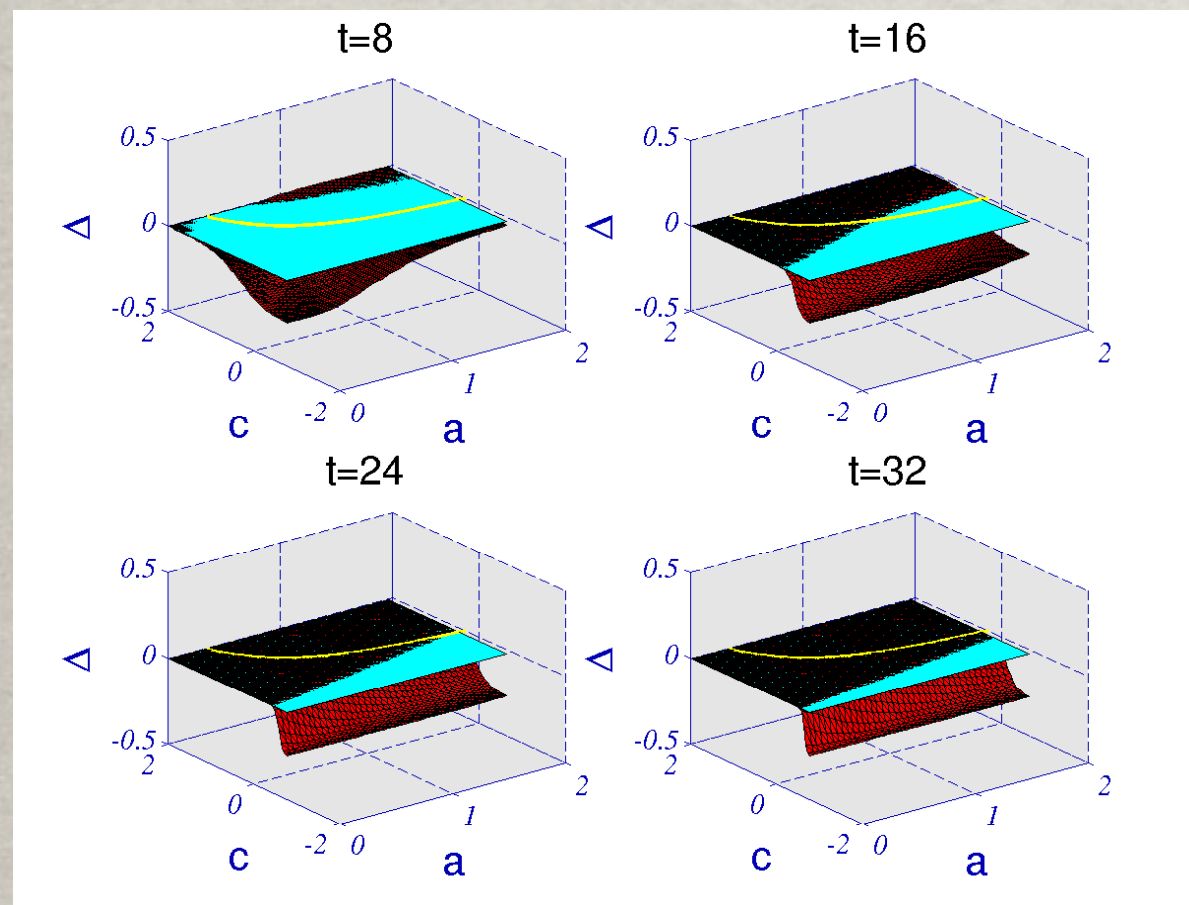
Entonces...

¿PORQUE LA RECOMBINACION Y EL SEXO SON TAN UBICUOS?

Sistema de 2 loci y 2 alelos $f(x_i x_j) = a + b_1 x_i + b_2 x_j + c x_i x_j$

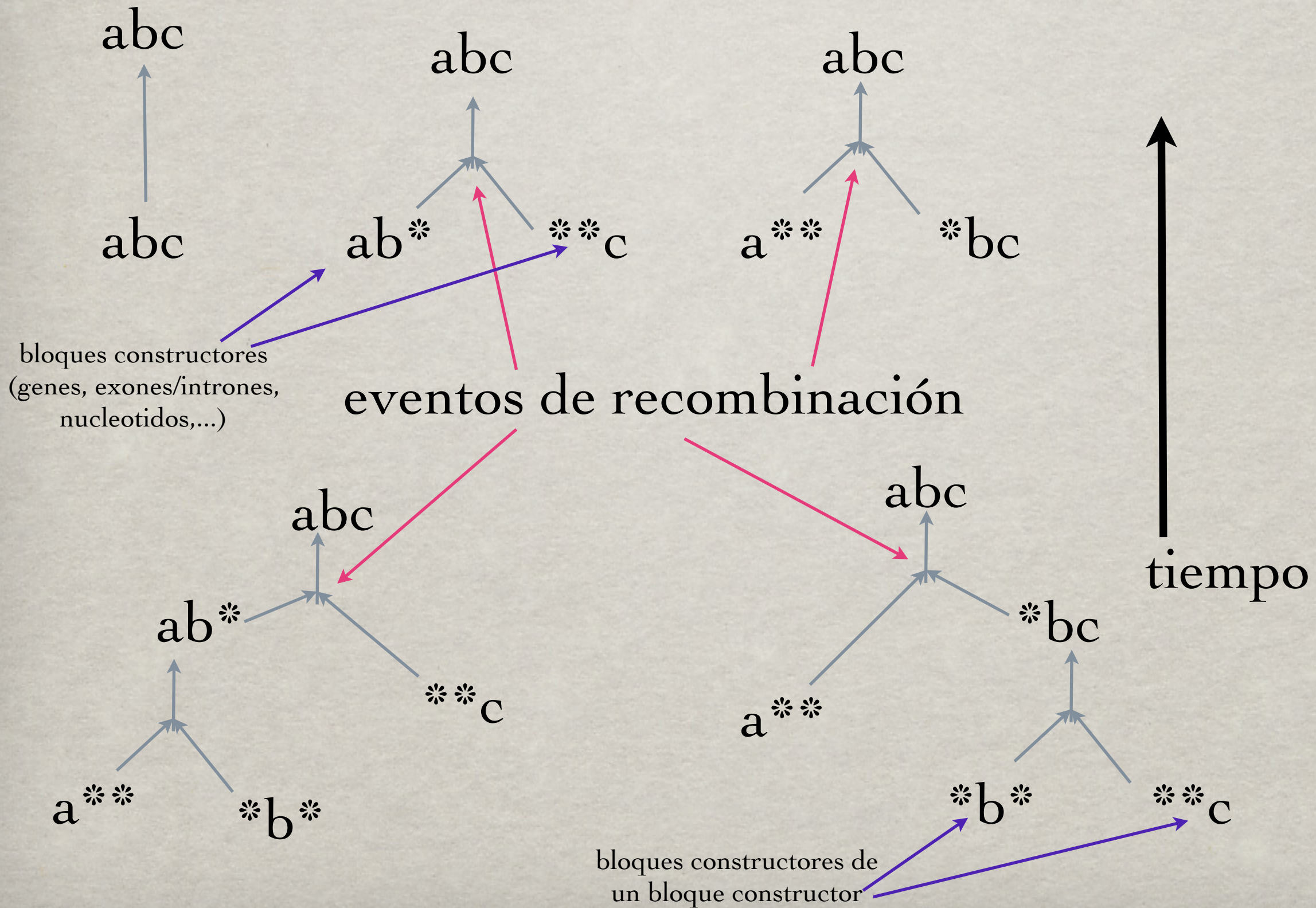
Espacio de parametros es de 8 dimensiones

Dos metricas para medir la recombinación $\Delta_{ij}(m, t)$ $\Delta_{\bar{f}}(t)$



Dos regimenes distintas donde recombinación es útil - regimen de “busqueda” y regimen “modular”

EVOLUCION ES JERARQUICA

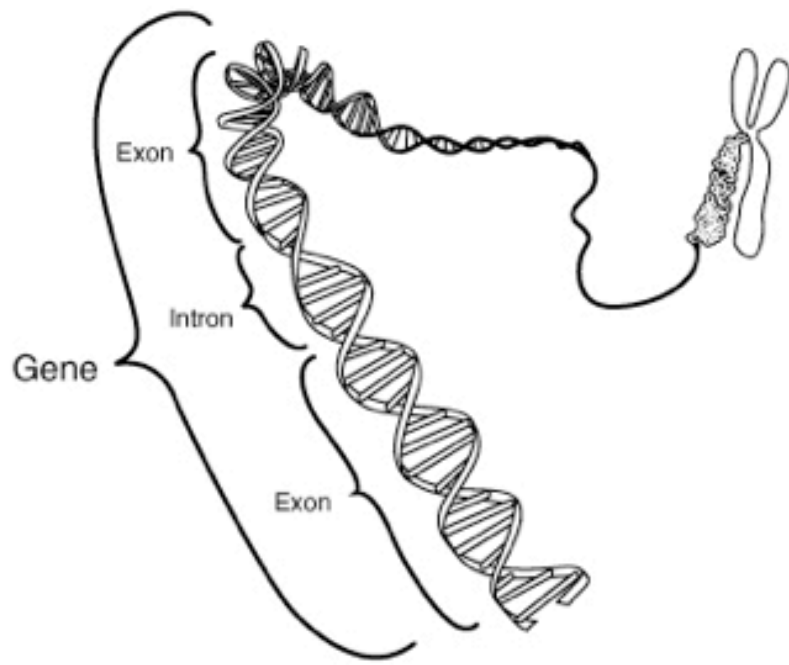


EVOLUCION ES JERARQUICA

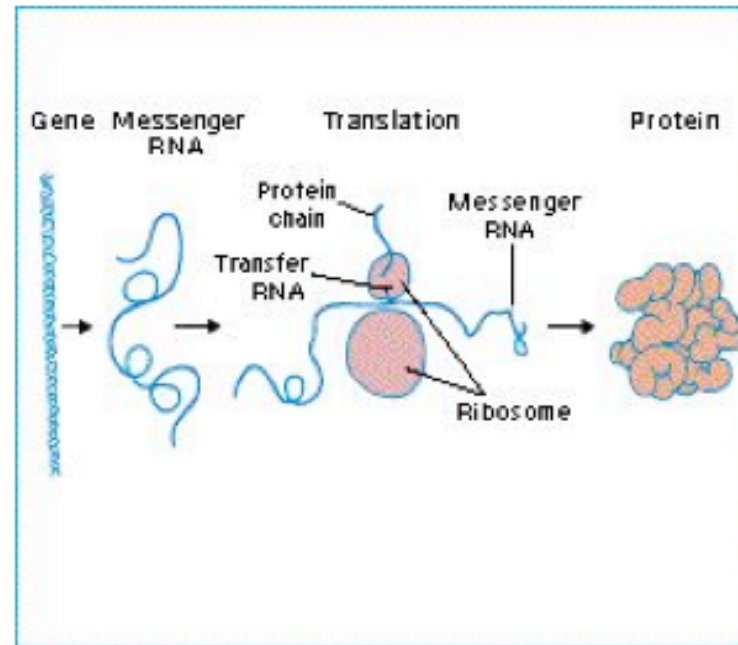
- ✿ Todos los sistemas evolutivos son sumamente modulares (formado por bloques constructores)
 - ✿ Tanto en estructura como de función
 - ✿ Modularidad de función implica quasi-aditividad del pasiaje de adecuación
 - ✿ Es la única manera de hacer una búsqueda eficiente de un espacio grande de estados - p.e. nucleosíntesis
- ✿ Operadores que manejan bloques constructores no funcionan bien cuando hay mucho epistasis
- ✿ La modularidad estructural y funcional permite un buen balance entre exploración y explotación que es la “búsqueda” que es evolución - ¿Qué es el espacio de búsqueda?

MODULARIDAD Y ESPECIALIZACIÓN

EL PODER DE DIVIDIR Y CONQUISTAR



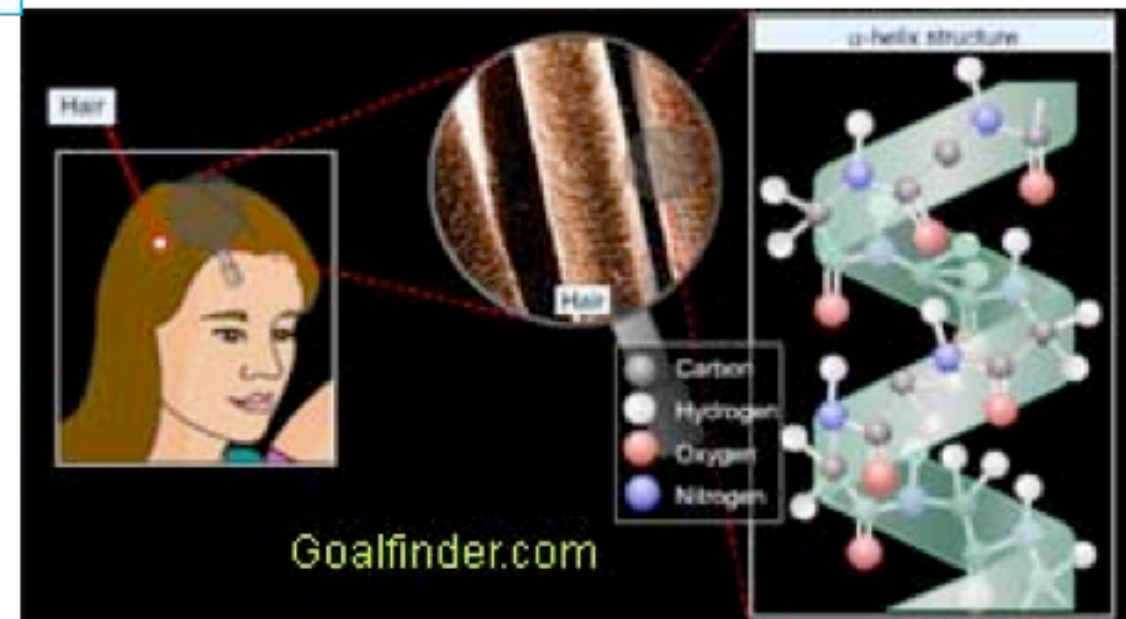
Modulo
estructural
genotípico



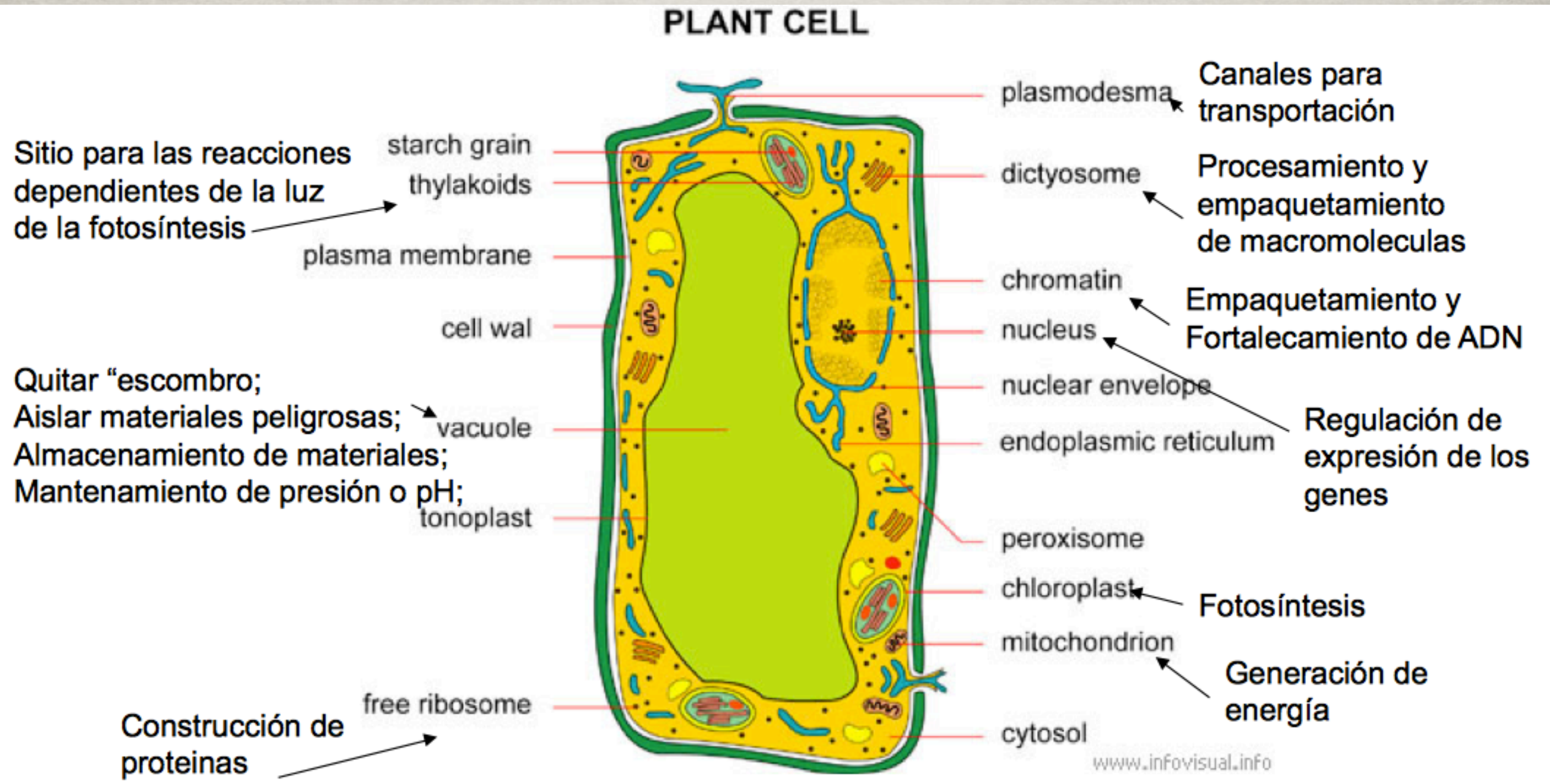
Función



Modulo
estructural
fenotípico



LAS VENTAJAS DE LA ESPECIALIZACION



Y LAS DESVENTAJAS...



¿Quién es el mejor jugador de ajedrez?

Who writes better? Who reads better? Who runs better? Who can find food better? Who can find shelter better? Who can avoid danger better? Who can avoid predators better? Who can communicate better? Who can keep their own temperature constant better? Who can play cards better? Who can play tennis better? Who can make general mathematical models better? Who can make tools better? Who can drive a ...

¿Quién muestra un comportamiento mas complejo?

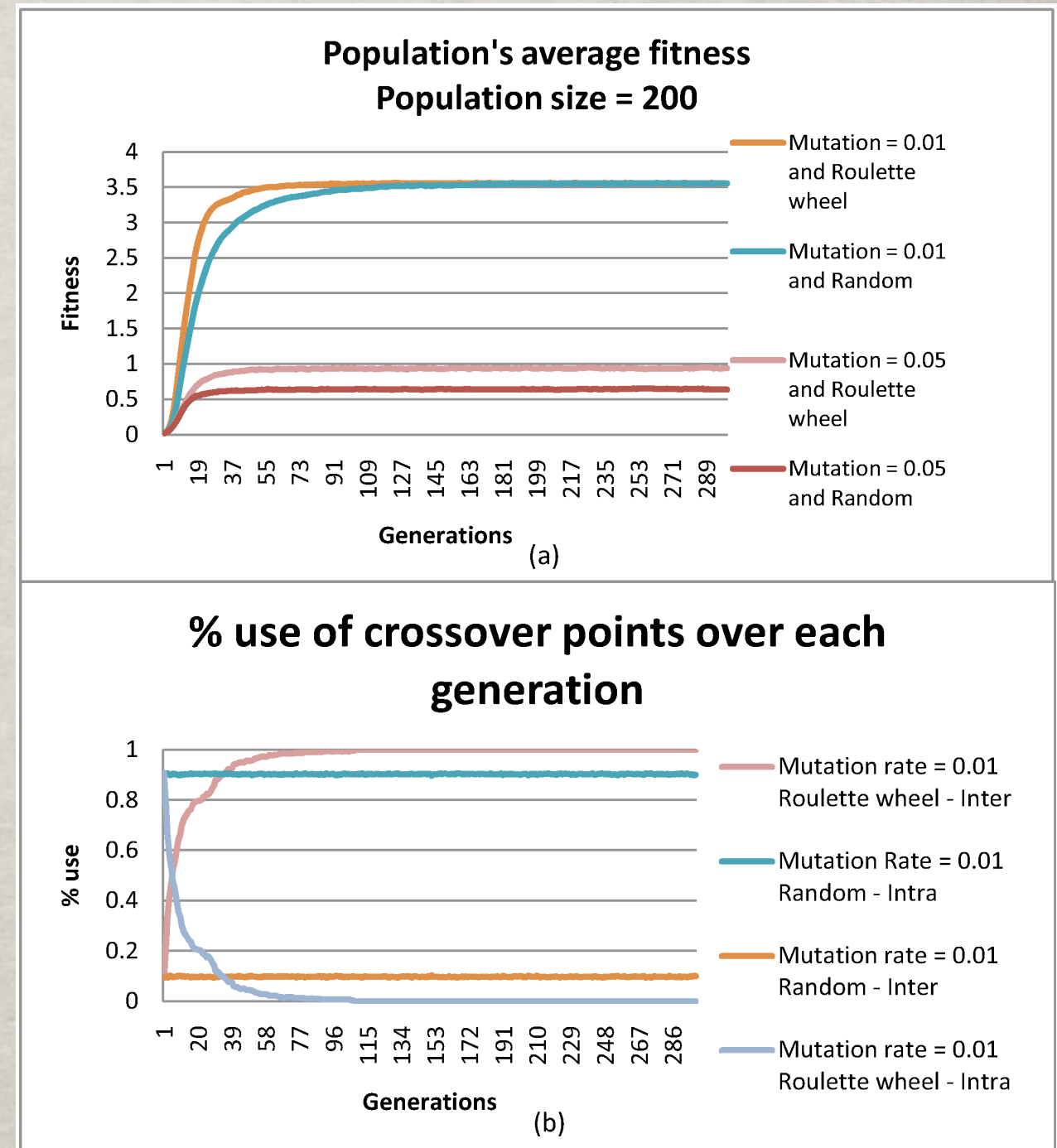
¿Quién es mas "inteligente"?

TODO ESTA BAJO CONTROL DE LA SELECCIÓN NATURAL

El efecto de recombinación en secuencias de longitud 32 con un paisaje de adecuación que es modular con bloques de longitud 8 y alto epistasis entre los loci de un bloque.

Se hace la distribución de recombinación sujeto a selección (probabilidad de cortar entre dos loci) - ¡emergencia de hotspots de recombinación a las fronteras de los “genes”!

La evolución es en realidad meta-evolución - “effective fitness”



LA DIFERENCIA ENTRE SER Y HACER

El mecánico

No hay
“decisiones”;
“ser”

El gato es regido por las leyes de la física en exactamente la misma manera como la bola.

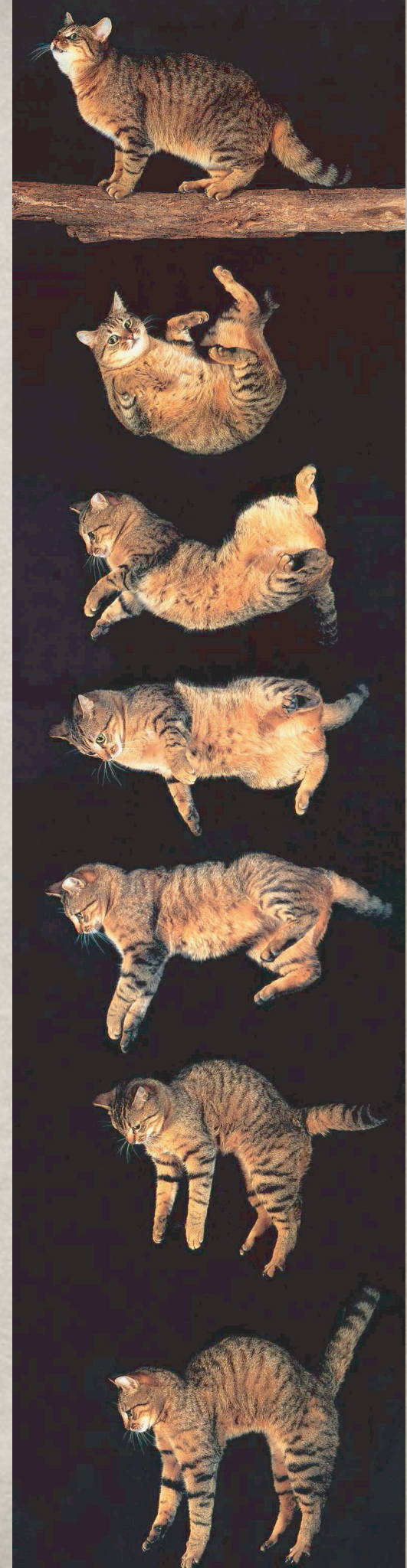
Se puede describir muchos de los procesos que ocurren en la caída del gato en términos de la ciencia tradicional – neurobiología, fisiología, física,...

Entonces... ¿Qué es la diferencia?

Aunque se puede describir, hasta un cierto punto, este gato individual no se puede entender porque lo hace

El adaptativo

Si hay
“decisiones”;
“hacer”





CONCLUSIONES

- ✿ La teoría de la evolución es la más exitosa que hay
 - ✿ Fenomenológica y taxonómica
 - ✿ La única que puede considerar el “porque”
 - ✿ Evita la tiranía de las leyes de la física
- ✿ La evolución molecular ha revolucionado nuestra idea de que es la evolución
 - ✿ Transferencia horizontal - un sin fin de distintos mecanismos
 - ✿ ¿Qué es una población? ¿Con quién puedo intercambiar materia genética?
 - ✿ Meta-evolución - todo esta bajo del control de selección natural
 - ✿ Hotspots de recombinación, tasas de mutación, representaciones, especiación
- ✿ La evolución es el único mecanismo para producir la complejidad
 - ✿ Jerarquias de bloques constructores
 - ✿ Muy alto grado de modularidad - relación entre estructura y función
 - ✿ Especialización

CONCLUSIONES

☼ Los modelos matemáticos de la evolución son sumamente pobres

☼ Diferencia entre evolución micro y macro

☼ ¿Cómo vincular diferentes escalas - grados de libertad efectivos

☼ Secuencias de ADN, ARN; exones, intrones, motifs,...; genes; cromosomas; representaciones de longitud fija versus variable

☼ ¿Cómo modelar el sin fin de maneras en que se puede transferir materia genética? Todo descrito por bloques constructores

☼ ¿Cómo modelar la adaptación?

☼ ¿Cómo modelar sistemas evolutivos en términos de lo que “hacen” no lo que “son”?

☼ ¿Teoría de juegos? ¿Qué pasa si ni sabemos que son las posibles estrategias ni sus ganancias relativas

☼ Adecuación como un fenómeno emergente

- ✻ Crisis ¿Qué crisis?
- ✻ ¿Es la evolución una víctima de su propio éxito?
- ✻ Modelos matemáticos de la evolución son como la ropa nueva del emperador
- ✻ Necesitamos más niños inocentes para decirselo