

# La Evolución de la Complejidad

**Chris Stephens,**

C<sub>3</sub> Centro de Ciencias de la Complejidad y  
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM  
Cuarto Coloquio “Complejidad y Filosofía”  
Universidad de Guanajuato, 22/09/2011

# Advertencia

- Estas platicas pueden ser nocivas para la salud
  - Voy a especular. Voy a retarme y, espero, a ustedes.
  - Voy a meterme en temas y disciplinas y preguntas donde no soy experto.
- Estoy preparado para estar cuestionado, corregido y enseñado.

- I. ¿Qué es la complejidad?
  - I. Fenomenología y taxonomía
    - I. Complejidad física
    - II. Complejidad simbólica
- II. ¿Qué es la evolución?
  - I. Características de la evolución
- II. Jerarquías de Bloques Constructores
- III. Hacer versus ser: El Mecánico versus el Adaptativo
- IV. Modularidad y Especialización
- V. La Evolución Humana
- VI. La Evolución y la Toma de Decisiones
- VII. Complejidad y los Seres Humanos

# I. ¿Qué es la complejidad?

# I.I Fenomenología y taxonomía

**Dos tipos distintos de  
Complejidad: “física” y “simbólica”**

# I.I.I Complejidad “física”

# ¿Qué es seguramente complejo?

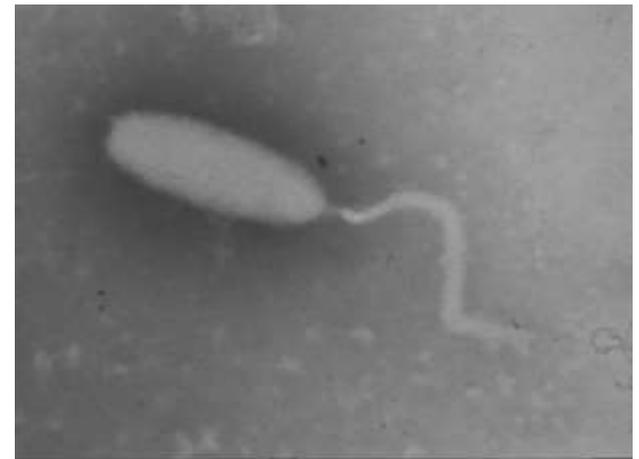
¿Esto...?



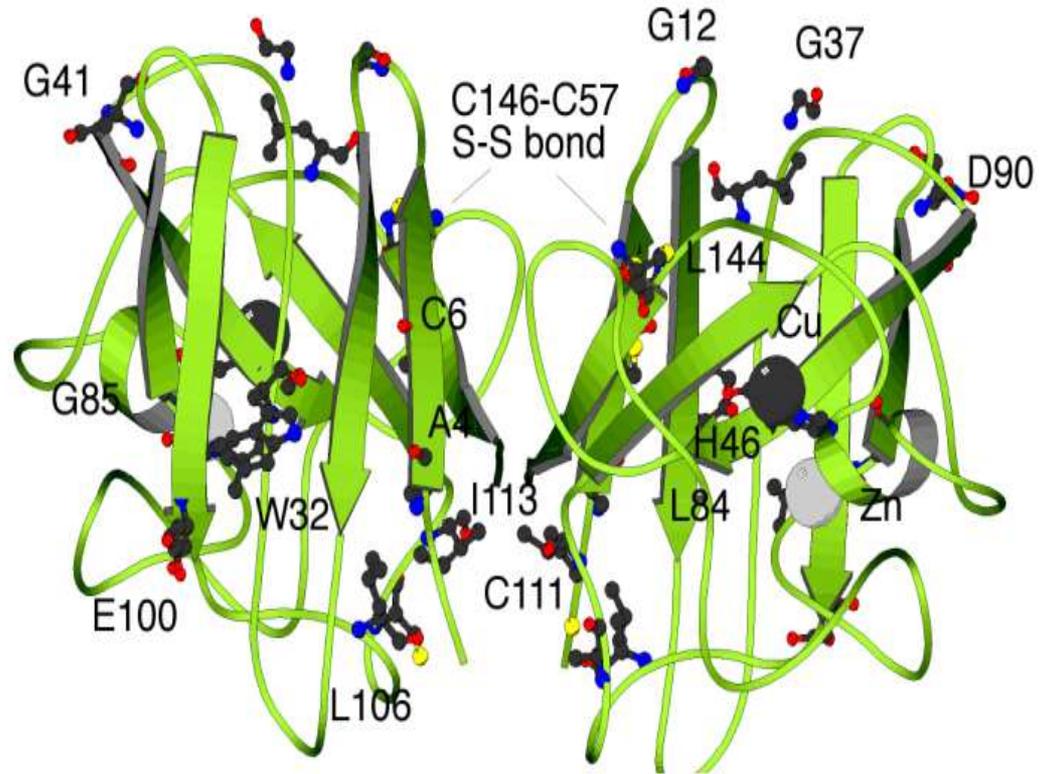
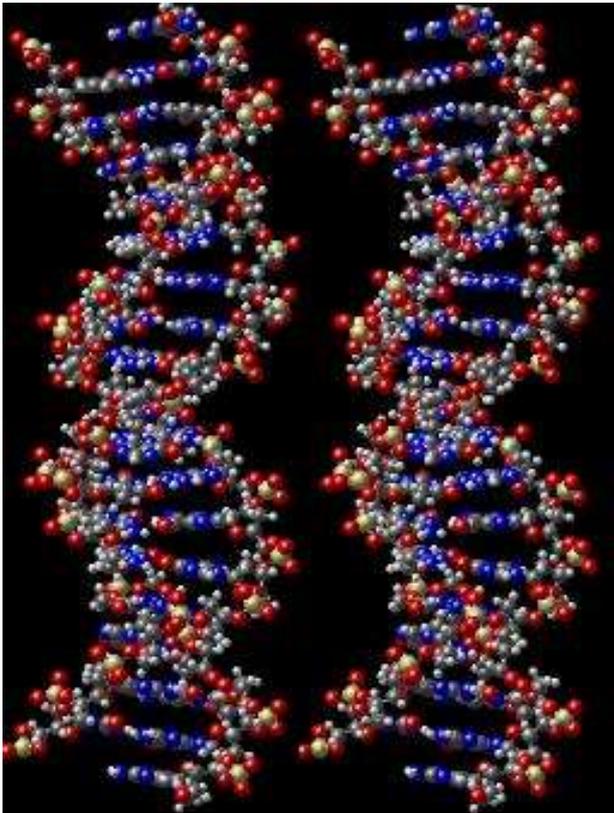
No, ¿Qué tal esto...?



¿Y esto...?

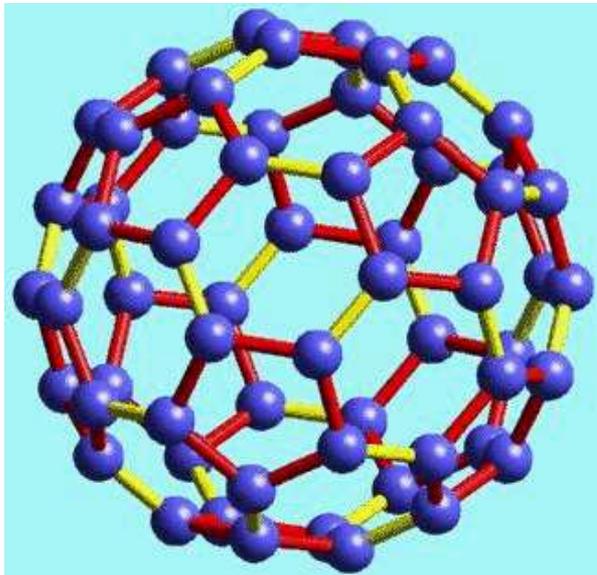


# ¿Y estas?

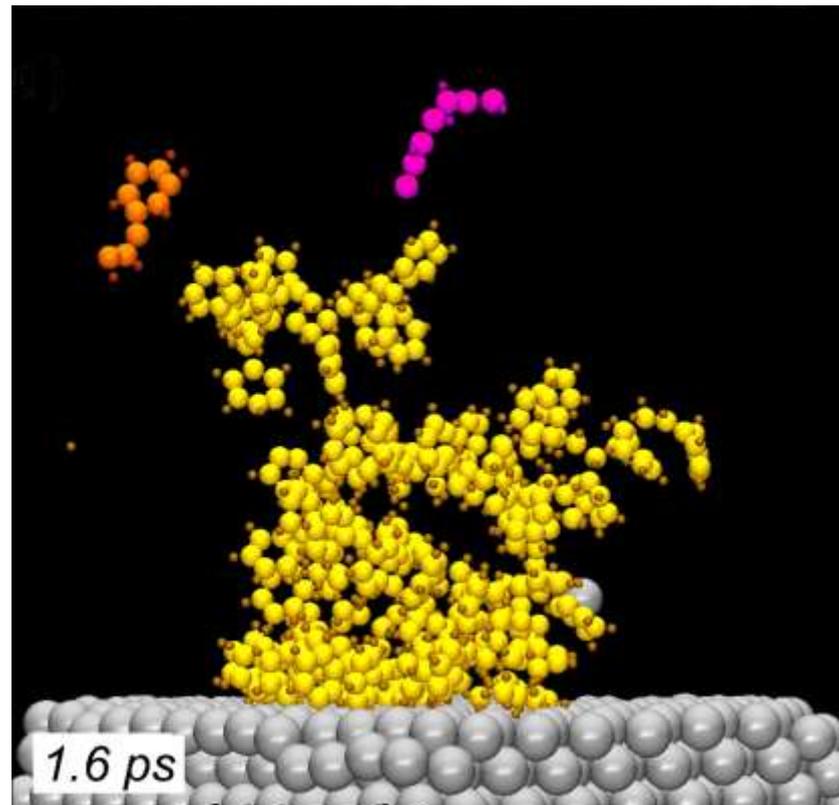


Model illustrating the formation of a misfolded species (M) from a folding intermediate (I). The region of the protein that misfolds is shown in red. The misfolded protein itself, or a self-assembled form, may be toxic to cells, leading to disease. The black arrows represent the relative rates of the various conformational events under native physiological conditions in the absence of mutation. The blue dash arrows represent the possible effects of mutation.

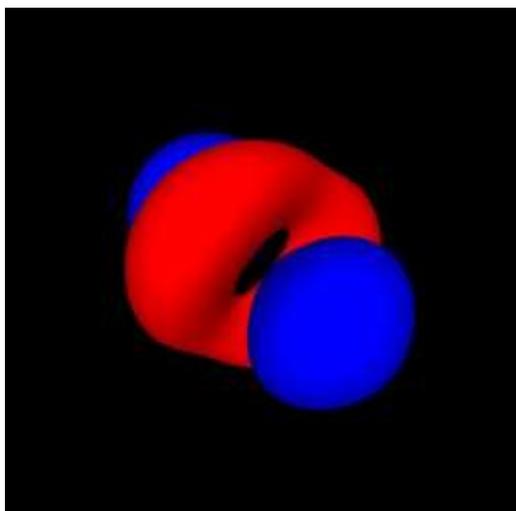
¿Y que tal estos?



Buckyball  $C_{60}$



Polystyrene on a silver surface



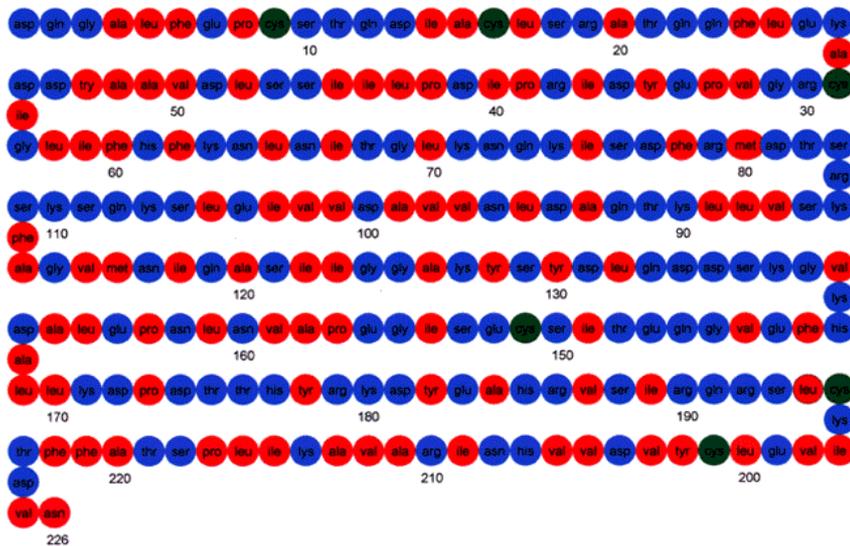
$n=3, l=2$  energy level of H

# I.I.II Complejidad “simbólica”

To be, or not to be--that is the question:  
 Whether 'tis nobler in the mind to suffer  
 The slings and arrows of outrageous fortune  
 Or to take arms against a sea of troubles  
 And by opposing end them. To die, to sleep--  
 No more--and by a sleep to say we end  
 The heartache, and the thousand natural shocks  
 That flesh is heir to. 'Tis a consummation  
 Devoutly to be wished. To die, to sleep--  
 To sleep--perchance to dream: ay, there's the rub,  
 For in that sleep of death what dreams may come  
 When we have shuffled off this mortal coil,  
 Must give us pause.

# ¿Que tal la complejidad en este caso?

Amino Acid Sequence of hJHBP



Human nucleotide sequence

```

AAAAGAAAAGGTTAGAAAAGATGAGAGATGATAAAAGGGTCCATTTGAGGTTAGGTAAT
ATGGTTTGGTATCCCTGTAGTTAAAAGTTTTTGTCTTATTTTAGAATAC TGTGACTA
TTTCTTTAGTATTAATTTTTCCTTC TGTGTTTTCTCATCTAGGGAACCCCAAGAGCAT
CCAATAGAAGCTGTGCAATTATGTAAAATTTTCAACTGCTTTCCTCAAATAAAGAA
GTA TGGTAATCTTTACCTGTATACAGTGCAGAGCCTTC CAGAAGCACAGAATATTT
TTATAATTTCTTTATGTGAATTTTTAAGCTGCAAATCTGATGGCC TTAATTTCTTT
TTGACACTGAAAAGTTTTGTAAAAGAAATCATGTC CATA CACTTTGTTGCAAGATGTG
AATTAATTGACACTGAACTTAATAACTGTGTACTGTTTCGGAAGGGGTTCC TCAAATTT
TTTGACTTTTTTTGTATGTGTGTTTTTCTTTTTTTTTTAAGTTCTTA TGAGGAGGGA
GGGTAAATAAACCACTGTGCGTCTTGGTGTAA TTTGAAGATTGCCCATCTAGACTA
GCAATCTCTTCATTAATCTCTGCTATATA TAAAA CGGTGCTGTGAGGAGGGGAAAA
GCAATTTTTCAATATATGAAC TTTTGTACTGAATTTTTTTGTAATAAGCAATCAAGG
TTATAATTTTTTTTTTAAAA TAGAAAATTTGTAA GAAGGCAATATTAACCTAATCACCA
TGTAAGCACTCTGGATGATGGATTCCACAAA ACTTGGTTTTATGGTTACTTCTTCTC
TTAGATTCTTAAATTCATGAGGAGGGTGGGGAGGGAGGTGGAGGGAGGGAAGGGTTT
CTCTATTAATAATGCATTCGTTGTGTTTTTTAAGATA GTGTAAC TTGCTAAAATTTCTT
ATGTGACATTAACAAA TAAAAAAGCTCTTTTAAATATTAGATAA
  
```

# ¿...y aqui?

aaaa aaaa aaaa aaaa aaaa aaaa aaaa... "cristalina"

asmjgre fj sdjf s rege geoiie rgeasdffi... "amorfa"

... \_ \_ \_ ... \_ \_ \_ ... \_ \_ \_ ... \_ \_ \_ ... "layered"

1001 110 11001 1111 10101 1 10010 101 1101 1 10010 10010 ... "?"

If you are married or are a man and woman living together as "complejo"  
if you are married you must claim jointly ...

¿Como se reconoce la "complejidad"?

- **Ha habido muchas definiciones de la complejidad, el problema es que las definiciones de complejidad no discriminan – ¡demasiado falsos positivos!**
- **Quizá contienen algunas condiciones necesarias pero, indudablemente, no suficientes.**
- **Otras palabras y conceptos comunes en discusiones de la complejidad**
  - **Emergencia**
  - **Reduccionista**
  - **Orden/desorden/Borde de Caos**
  - **Incertidumbre, imprevisibilidad**
  - **Auto-organización**

Muchos grados de libertad

Interacciones no lineales

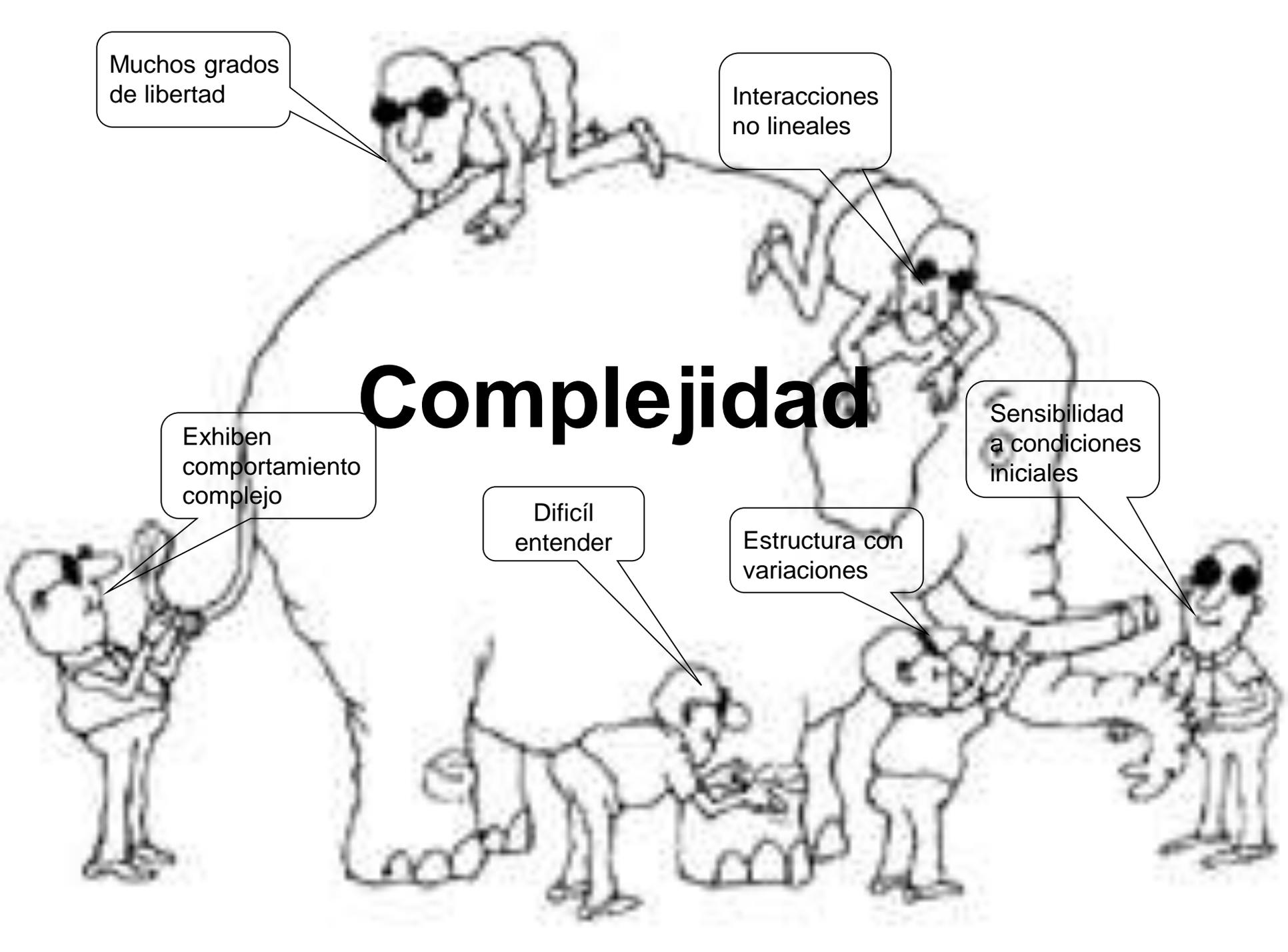
# Complejidad

Exhiben comportamiento complejo

Difícil entender

Estructura con variaciones

Sensibilidad a condiciones iniciales



# ¿Qué distingue los fenómenos complejos de los no complejos?

- Propiedades estructurales
  - Una “jerarquía” de muchas diferentes escalas
  - Grados de libertad efectivos (“colectividad”) cualitativamente diferentes a escalas diferentes
  - Jerarquía de **bloques constructores** (modularidad)
  - Interacciones “intra-bloque” más fuerte que “inter-bloque”
  - El micro se une con el macro (adecuación, semántica,...)
- Propiedades funcionales
  - Sistemas que son **adaptativos**
  - Una evolución dinámica que depende de muchas **reglas/estrategias** diferentes.
  - Sistemas que “**aprenden**” (retroalimentación del ambiente al sistema que se usa para actualizar las reglas)
  - El micro se une con el macro (adecuación, semántica,...)
  - Comportamiento más complejo (el “fenotipo”)
  - Mejor descritos por lo que hacen más que en lo que son

# ¿Es un concepto científico la complejidad?

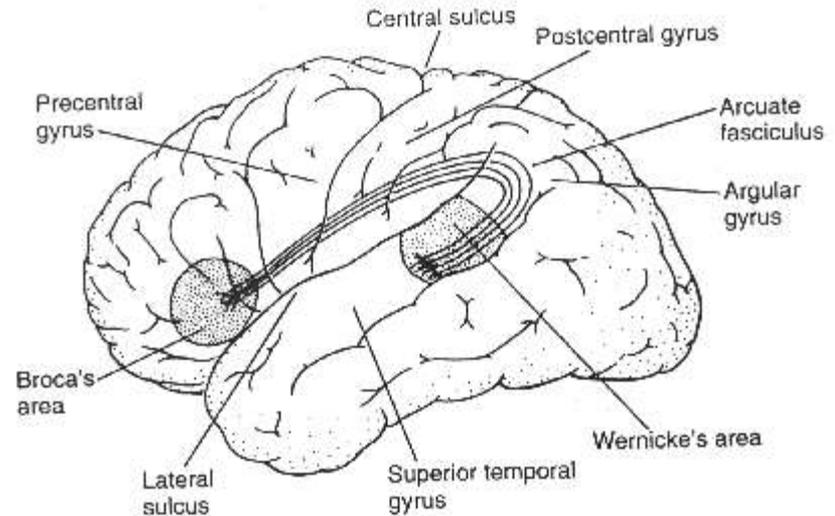
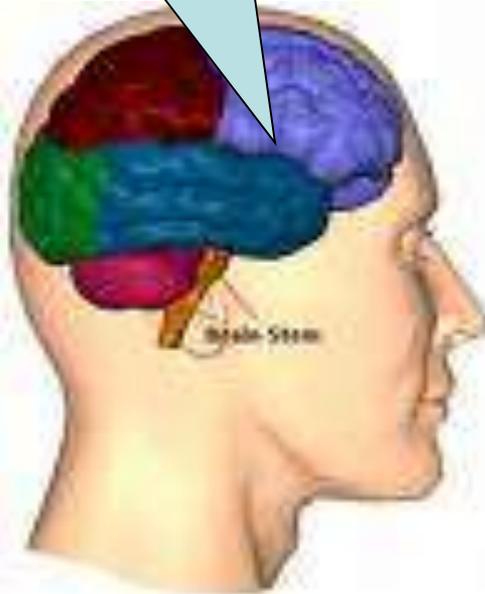
Si es, entonces

¿Cómo se mide?

¿Qué es un buen aparato de medición...?

# ...Para la complejidad simbólica

To be or not to be that is the question.



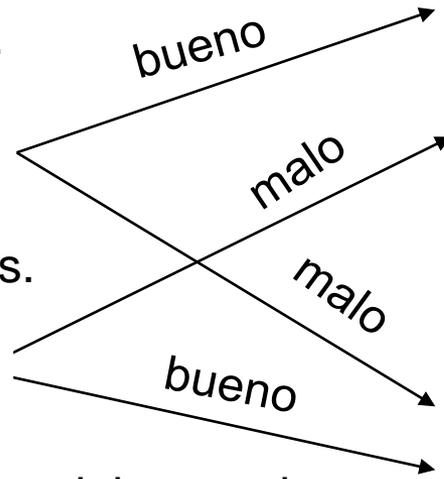
Este aparato seguramente es capaz de medir complejidad. ¿O quizás no...?

# ¿Como tan bueno es tu aparato?

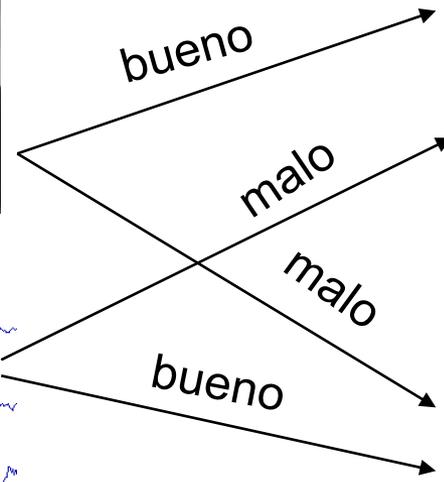
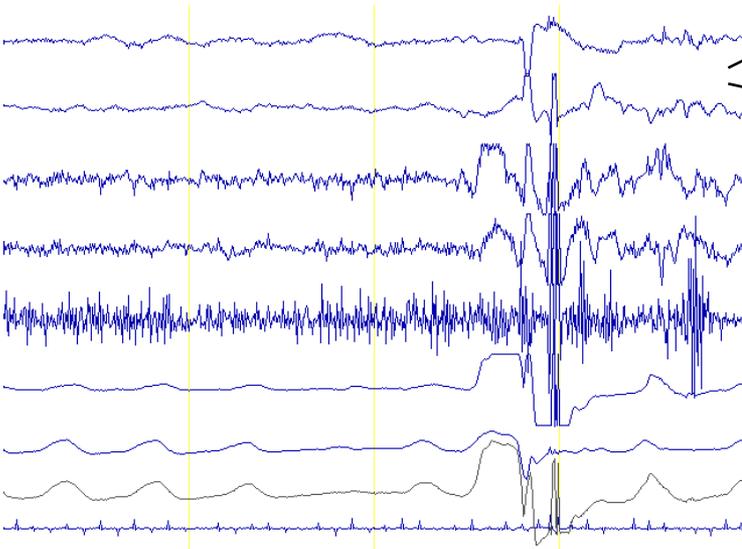
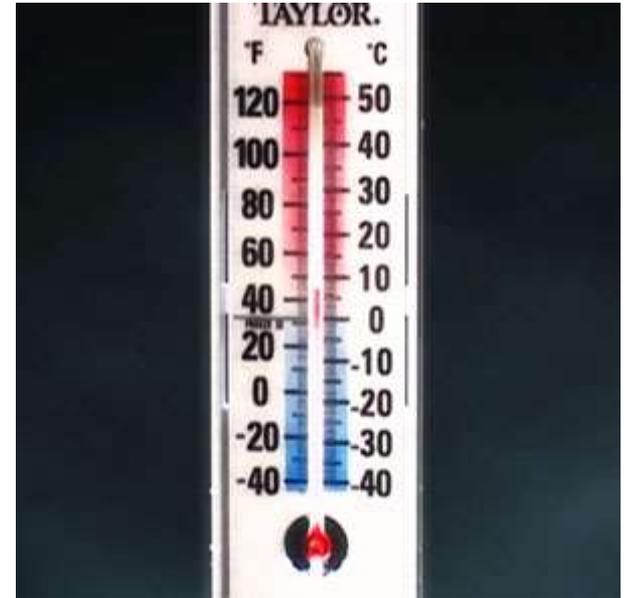
- To be or not to be that is the question.
- Para ser o no ser que es la pregunta.
- Om te zijn of te zijn niet dat de vraag is.

あるためまたはないため質問である

- Because of a certain or because it is not, it is question.
- Because or it is not for the sake of, that having asked and being convinced.
- Being not to be for the sake of, or that that, you ask, are convinced.
- It is that without having for the sake of, or, you ask, are convinced.



# ¿Pero es diferente eso que en el mundo físico?



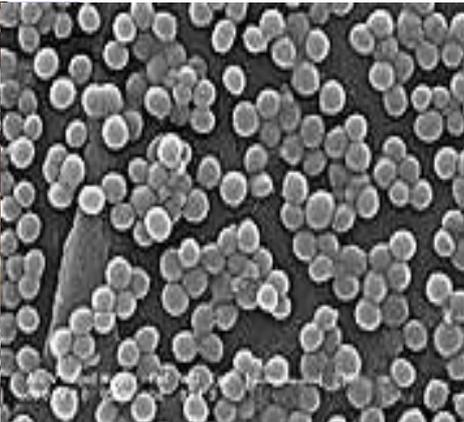
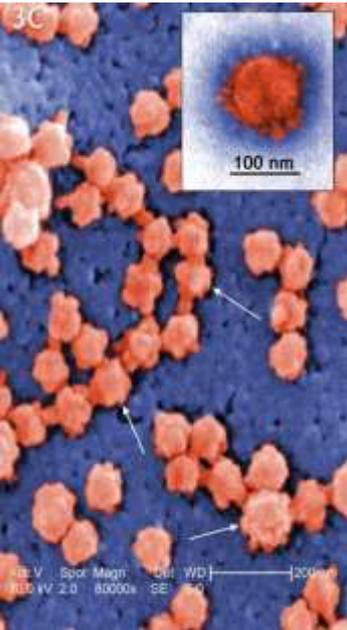
# II ¿Qué es la Evolución?

Condiciones para el desarrollo de la complejidad

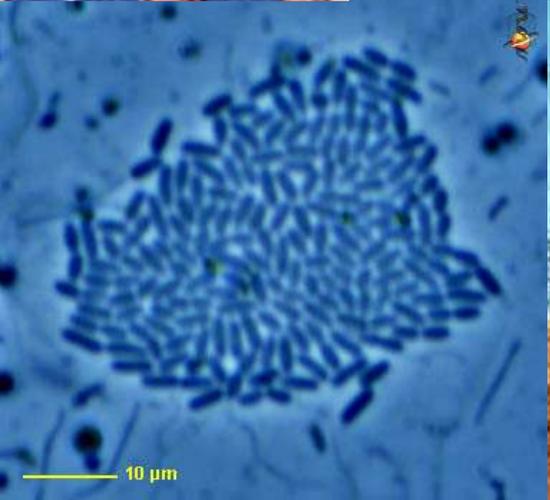
# Características de la Evolución

- ¿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 están evolucionando?



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



# ¿Qué esta evolucionando?

- “Objetos” que codifican información
  - Genética
  - Neuronal
  - Cultural
  - Lenguajes

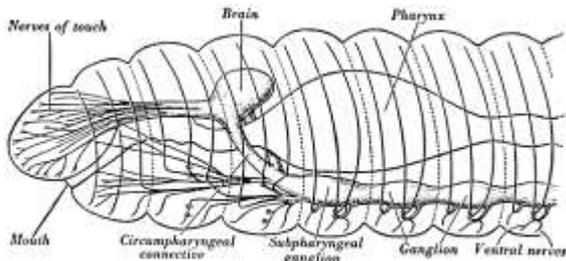
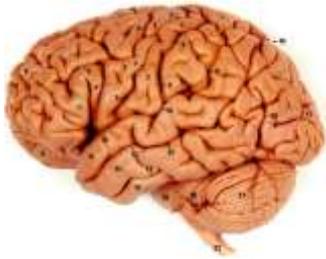
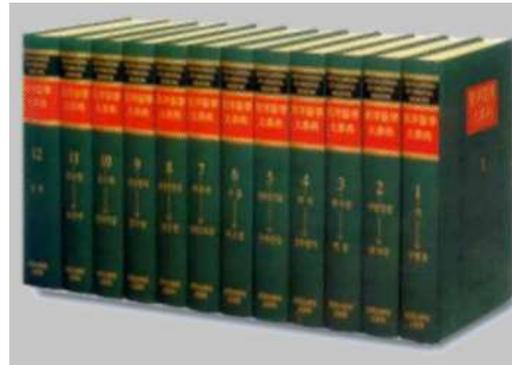
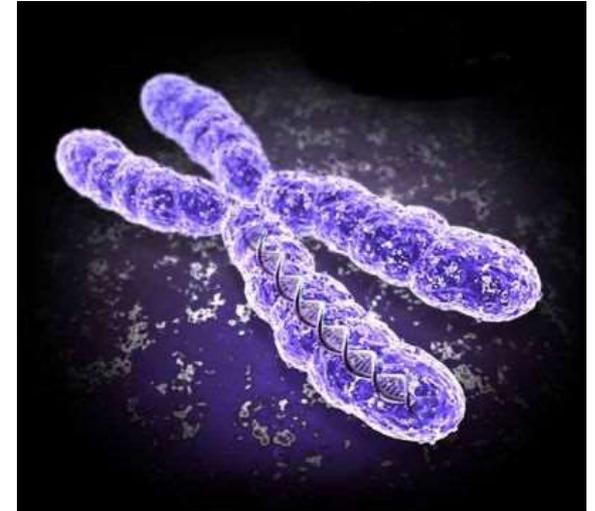


FIG. 159. Nervous System of Earthworm

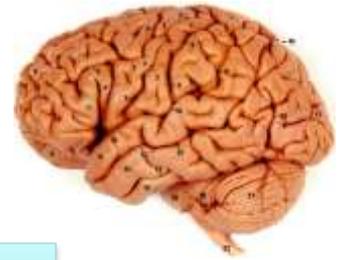


Aprendizaje: Corto plazo (no-genético) versus largo plazo (genético)

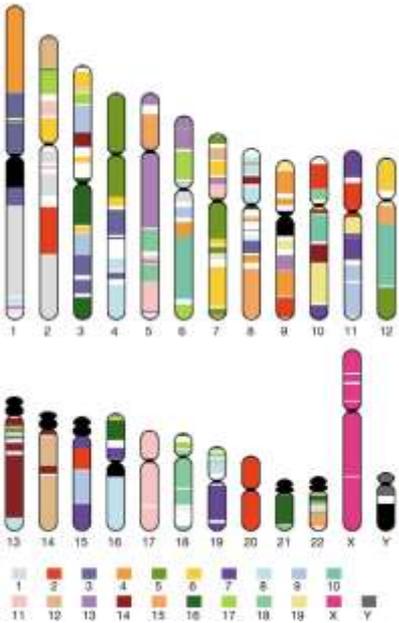
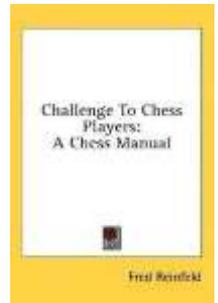


# El mapeo “genotipo-fenotipo”

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



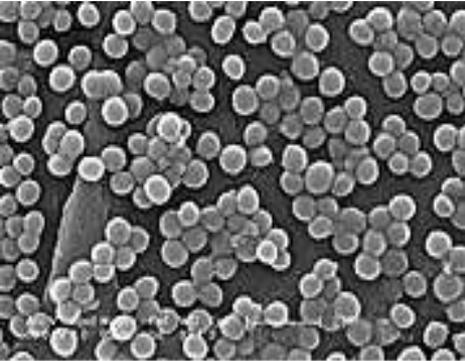
+



## Genotype and Phenotype

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

# ¿Quién esta más apto?



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

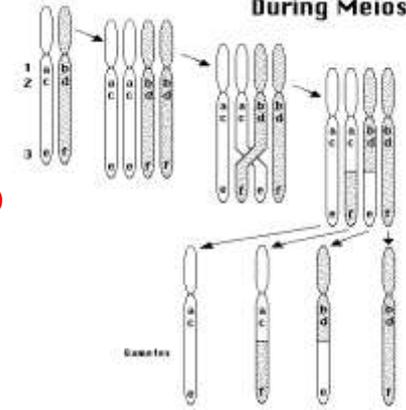


# ¿Qué hay de nuevo?

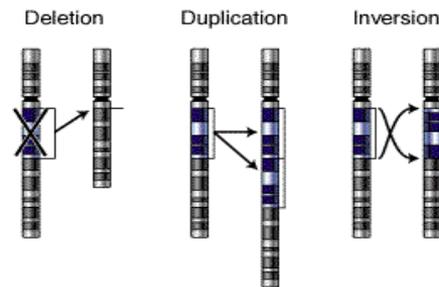
- Intercambio de información
  - Genética
    - Mutación
    - **Recombinación**
    - Otros operadores genéticos
      - Deleción, inserción, duplicación,...
  - No Genética
    - Aprendizaje - creatividad

Evolución como innovación

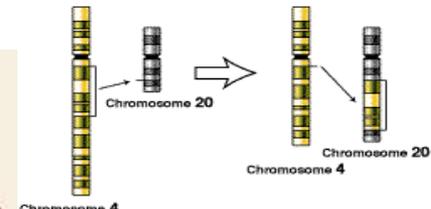
Crossing-over and Recombination During Meiosis



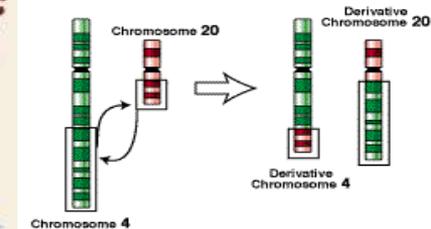
Types of mutation



Insertion

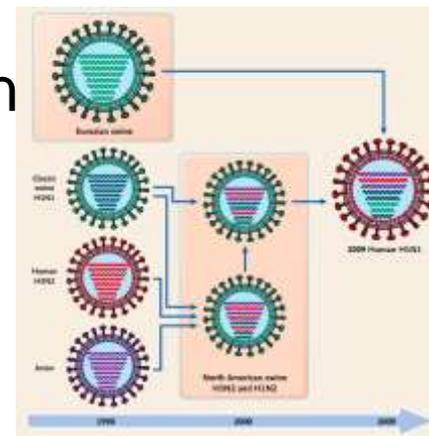
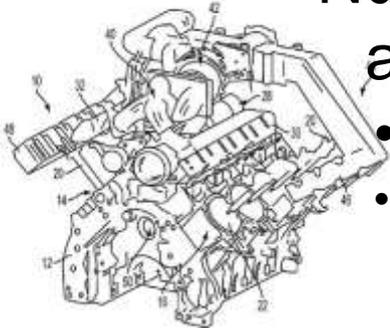


Translocation

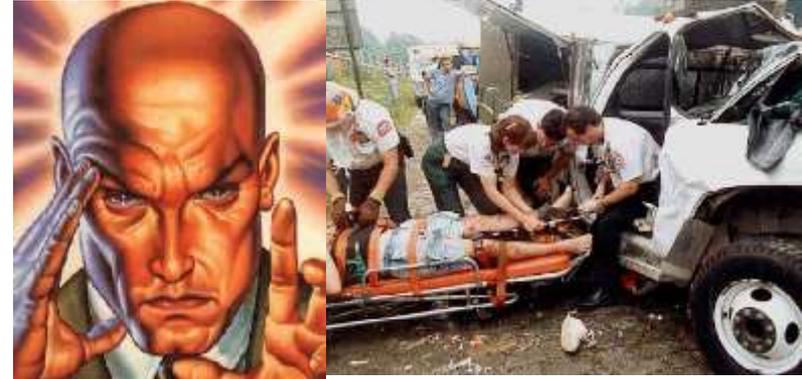
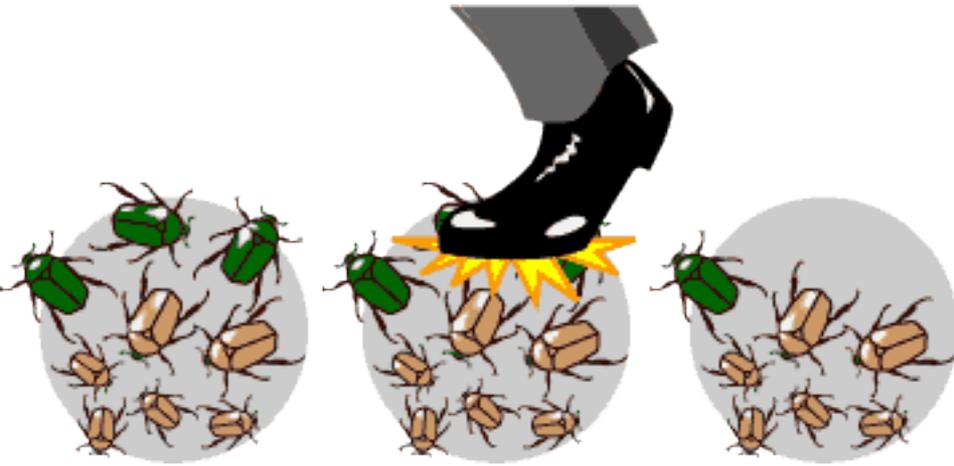


- Nuevos genotipos llevan a nuevos fenotipos

- Nuevas estructuras
- Nuevas estrategias



# ¿Quién tiene suerte?



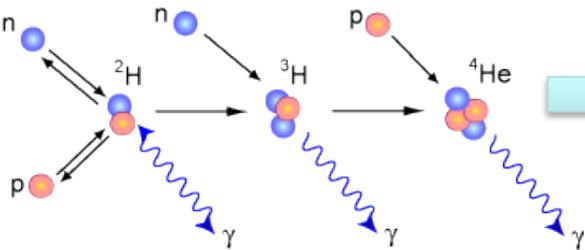
QWERTY KEYBOARD

~ `	! 1	@ 2	# 3	\$ 4	% 5	^ 6	& 7	* 8	( 9	) 0	- _	+ =	Delete
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

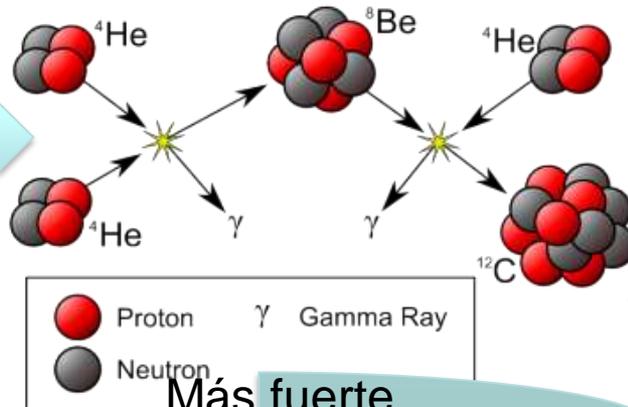
# **III Jerarquías de Bloques Constructores**

# La Construcción del Universo por Bloques Constructores

## Big Bang Nucleosynthesis



This shows one of the reactions sequences that produces a helium-4 nucleus from protons and neutrons. Other sequences are possible. The first stage is reversible due to photodisintegration by gamma photons.



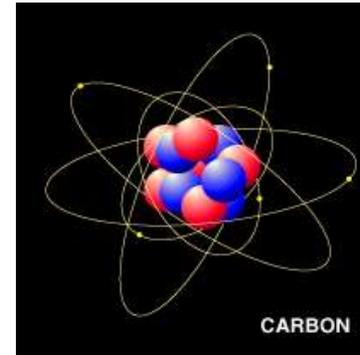
● Proton     $\gamma$  Gamma Ray  
● Neutron

Estos eventos son eventos de **recombinación** donde se crea algo nuevo de **bloques constructores** existentes

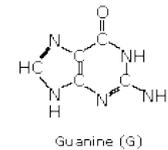
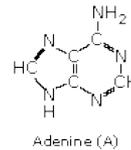
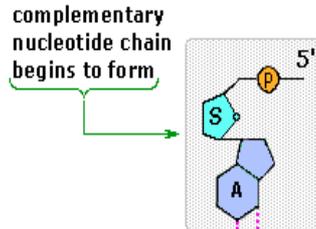
Más fuerte

Interacciones

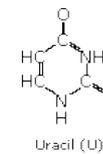
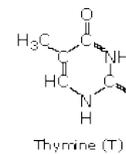
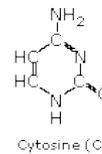
Más débil



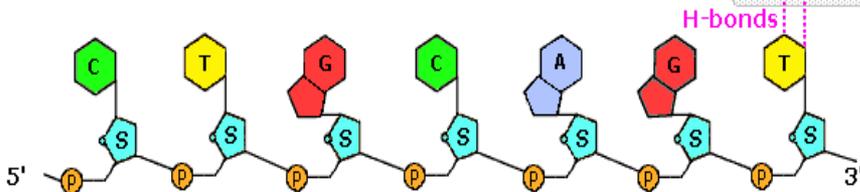
P = phosphate  
S = 2'-deoxyribose  
 bases = T thymine    C cytosine    G guanine    A adenine



Purine bases (two rings)



Pyrimidine bases (one rings)



unwound DNA strand

Botanía, Ecología, Biología

Biología de células, Genética

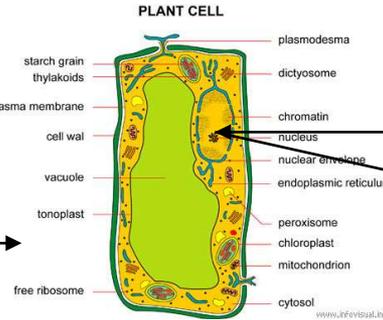
Bioquímica, biofísica, física molecular

$10^{-1}m$

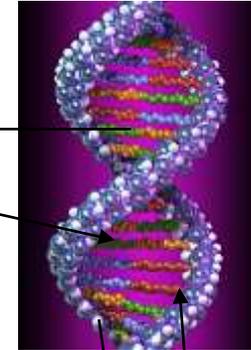


Color, tamaño, forma, hojas, raíces, frutas, número de pétalos, número de tipos de célula, número de genes, número y tipo de proteínas sintetizadas ...

**Ciencia**  
**“Reduccionista”**



$10^{-5}m$



Macromolécula compuesto de 4 bases C, G, T y U, H, C, N y O.

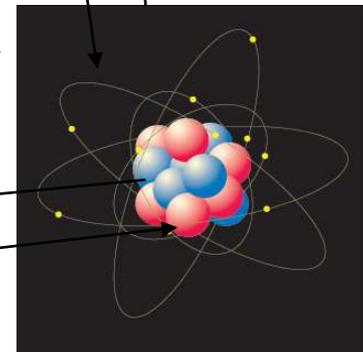
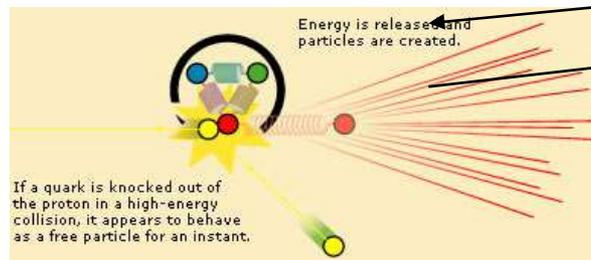
$10^{-9}m$

Química, Física atómica, Física nuclear

**“Agentes”**

Bloques Constructores

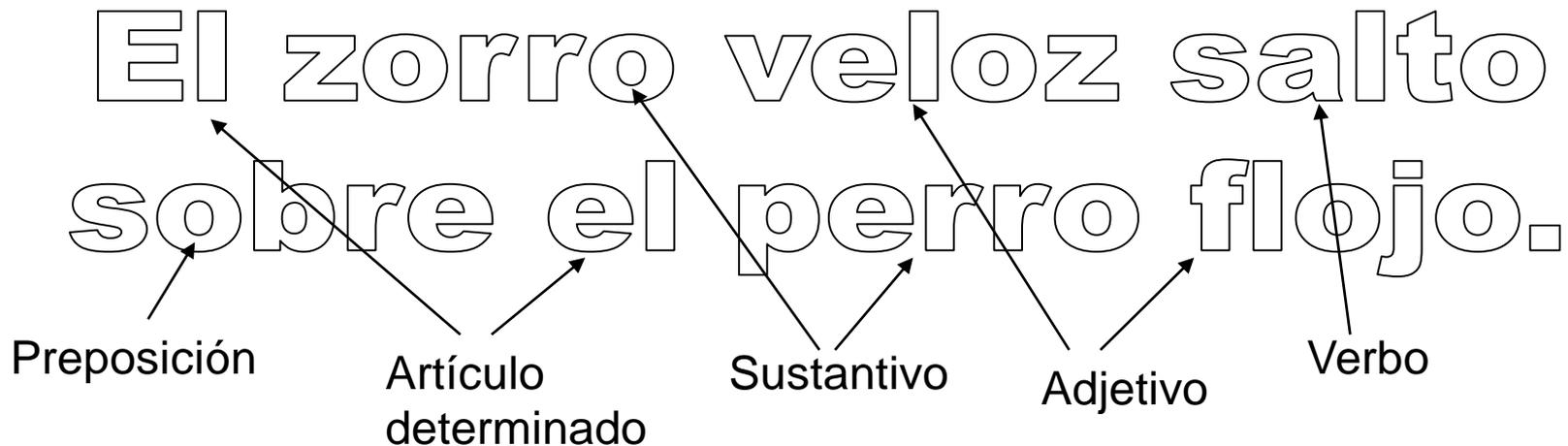
Física de partículas



$10^{-10}m$

Número de electrones, número de protones y neutrones, sus masas, cargas

# Los bloques constructores en los lenguajes



34 letras – 15 distintos tipos: clasificación a, b, c, ...

8 palabras – 7 distintos tipos: clasificación abacus, abrochar, ...

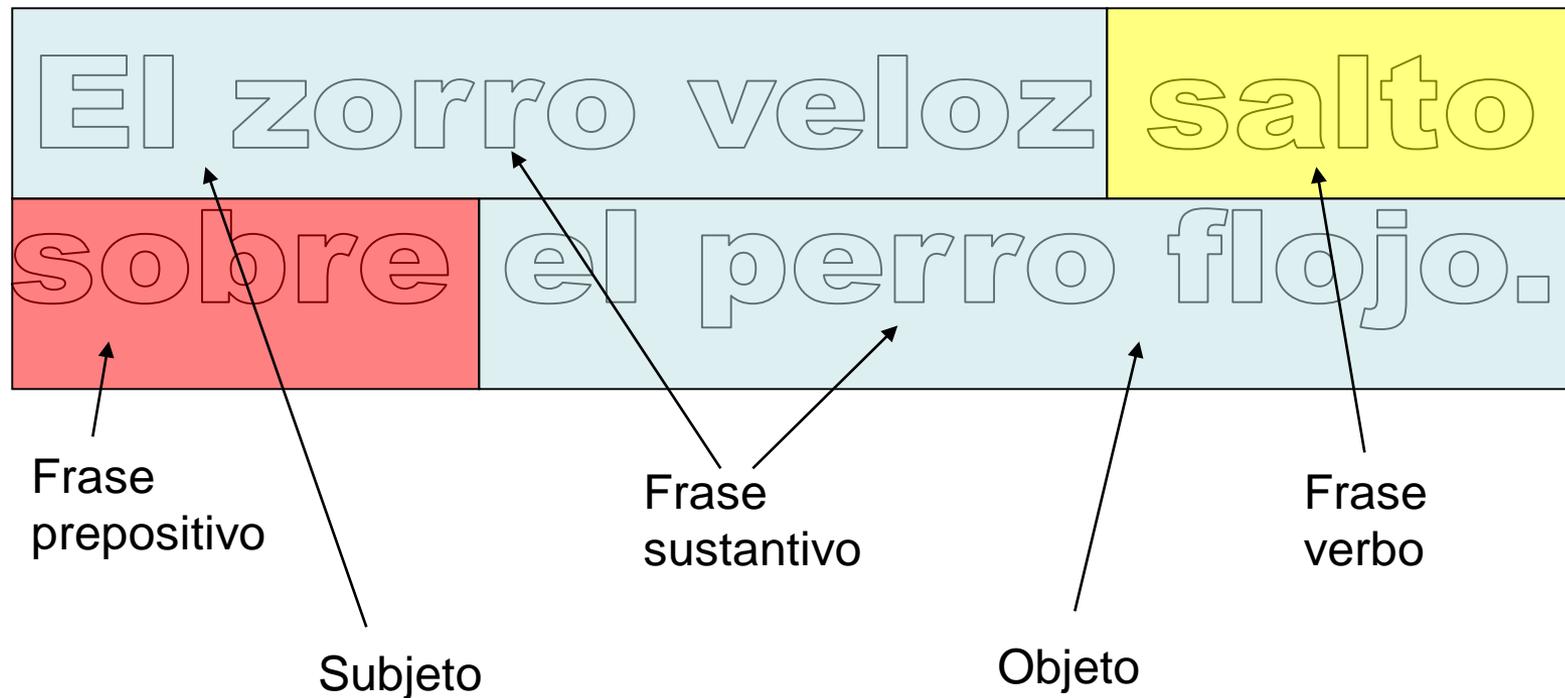
¿Qué otras clasificaciones hay?

Letras – consonantes versus vocales

Palabras – clasificación gramática

Por el momento, no hay interacciones mas allá que el nivel de letras dentro de una palabra

# Interacciones entre los bloques constructores en los lenguajes



Interacciones inducidas por la gramática

# Interacciones entre los bloques constructores en los lenguajes

El zorro veloz salto  
sobre el perro flojo.

Lima es el capital de Peru.

**No hay interacciones gramáticas entre estas dos oraciones. Además son lógicamente distintos.**

# Interacciones entre los bloques constructores en los lenguajes

El zorro veloz salto  
sobre el perro flojo.

El perro se despertó sorprendido.

**No hay interacciones gramáticas entre estas dos oraciones tampoco, pero si hay interacciones semánticas. Es la semántica que lleva a interacciones de larga distancia en los lenguajes.**

- ¿Porqué son tan ubicuos los bloques constructores?
- Es la **única** manera para construir algo complejo
  - Ejemplo: construcción de un núcleo de fierro
  - Ejemplo: construcción de una célula
- Permiten la especialización funcional

# La tiranía de las leyes físicas y la diferencia entre “ser” y “hacer”

## El mecánico

## El adaptativo

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



# Modelación de complejidad y los sistemas complejos

Considerar este modelo dinámico “simple”...

$$\mathbf{d}_i(t + \Delta t) = \sum_{j \neq i} \frac{\mathbf{c}_j(t) - \mathbf{c}_i(t)}{|(\mathbf{c}_j(t) - \mathbf{c}_i(t))|} + \sum_{j=1} \frac{\mathbf{v}_j(t)}{|\mathbf{v}_j(t)|}$$

Competencia entre una repulsión y atracción efectiva entre “partículas”

$$\hat{\mathbf{d}}_i(t + \Delta t) = \mathbf{d}_i(t + \Delta t) / |\mathbf{d}_i(t + \Delta t)|$$

$$\mathbf{d}_i'(t + \Delta t) = \frac{\hat{\mathbf{d}}_i(t + \Delta t) + \omega \mathbf{g}_i}{|\hat{\mathbf{d}}_i(t + \Delta t) + \omega \mathbf{g}_i|}$$

Ecuación para partículas “cargadas” siguiendo una fuerza externa  $\mathbf{g}_i$

**Couzin, I.D.**, Krause, J., Franks, N.R. & Levin, S.A.  
(2005) *Nature*, **433**, 513-516.

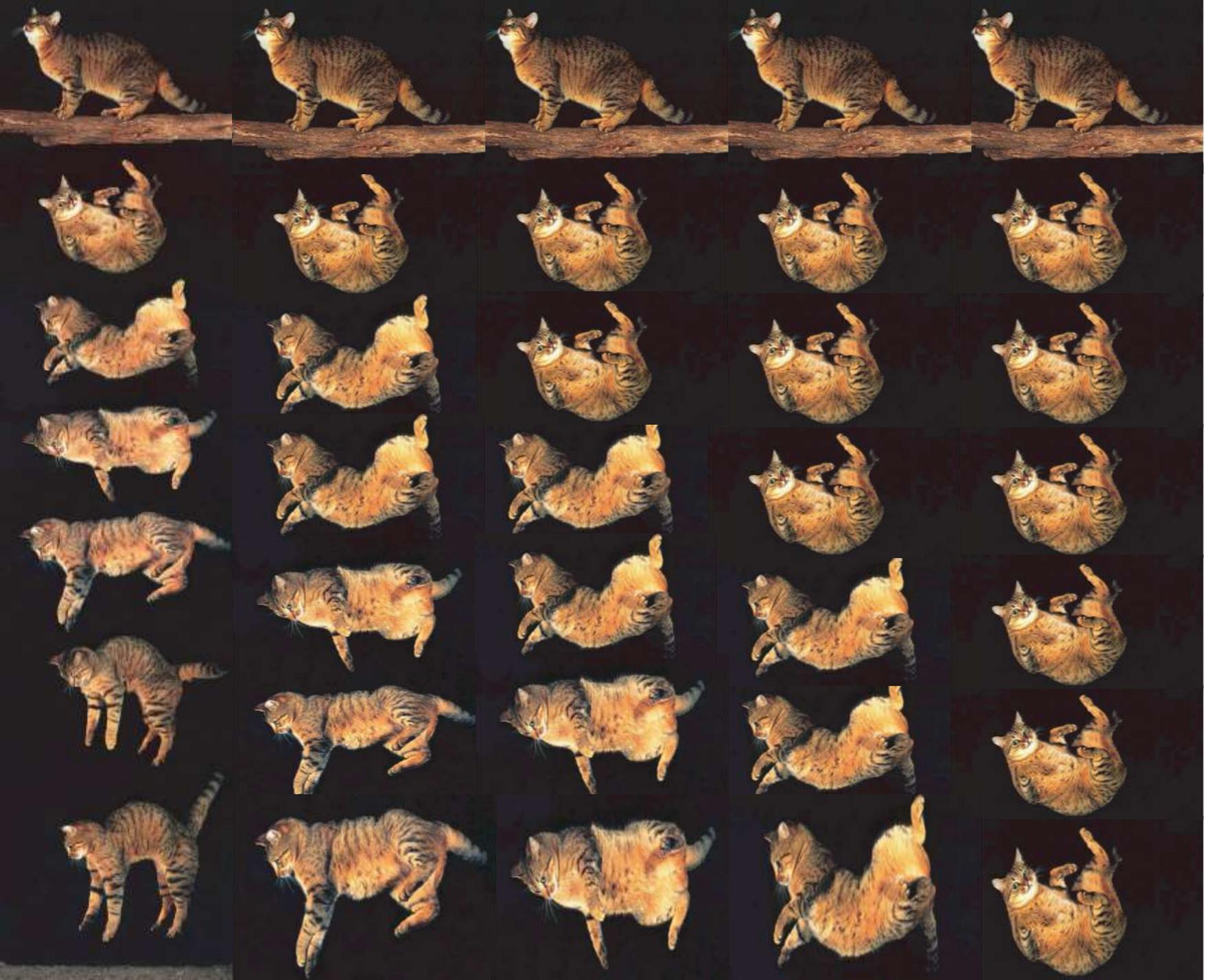
**¿Representa un sistema “complejo”?**



- En este modelo matemático hay nada más dos escalas :
  - El “micro-” asociada con peces individuales y sus distancias típicas
  - El “macro-” asociado con el banco de peces (recuerden la “pila de arena”)
- Decir que la colectividad es un fenómeno “emergente” es como decir que agua hirviendo igual es un fenómeno “emergente”

**Moralaje: Es importante distinguir entre una descripción de complejidad y una descripción no compleja de un fenómeno o comportamiento asociado con un sistema complejo.**

# Estrategias Evolutivas



# Evolved Virtual Creatures

Examples from  
work in progress

# La diferencia entre “ser” y “hacer”

En sistemas biológicos, económicos y sociales, i.e., los sistemas complejos adaptativos, organismos exhiben una alta diversidad de **ESTRATEGIAS** (reglas/modelos)

El estado dinámico de un individuo a  $t+1$  depende de no solamente el estado del individuo y de otros a tiempo  $t$  pero también de la estrategia (regla de actualización) seleccionada a tiempo  $t$ , que a su vez depende de las reglas de otros a  $t$

→ hay que trabajar en un espacio de estados  $Y$  estrategias/reglas/modelos – suena como teoría de juegos pero ...

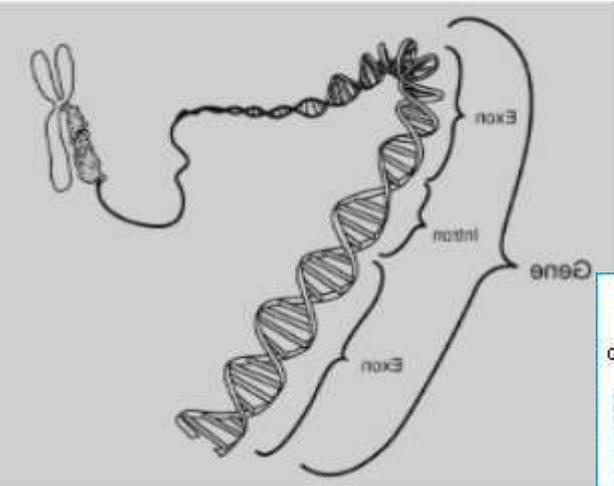
¡No sabemos como es este espacio!

Además, la ganancia para una estrategia es RELATIVA no absoluta. Ganancia debe ser una propiedad emergente. Imagínense al inicio de la evolución especificando a priori la aptitud de un león o una cucaracha!

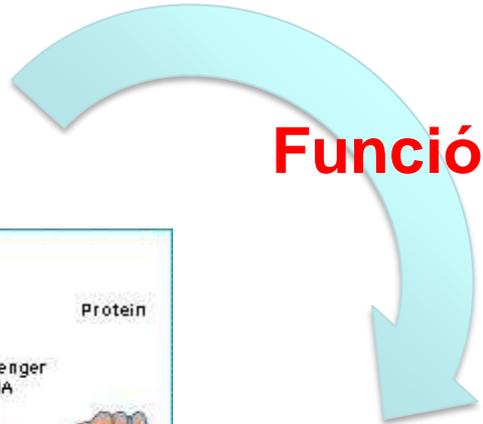
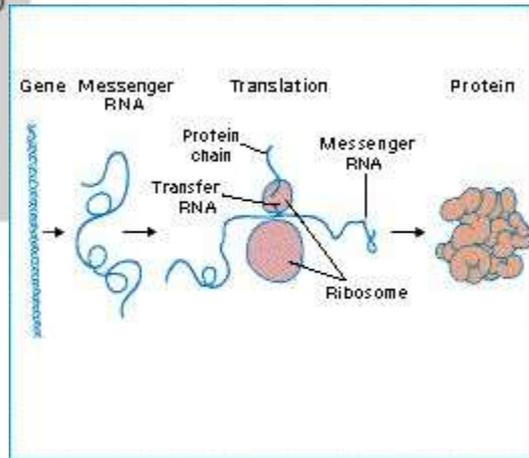
**Evolución y complejidad  
como el desarrollo de  
“multi-tasking” por  
especialización**

- No hay nada complejo que no es altamente modular
- Módulos estructurales – bloques constructores - (con integridad espacio-temporal - generalmente)
  - Genes, células, tejidos/órganos, equipos, departamentos, tribus, estructuras neuronales, letras, palabras, oraciones, libros, discos duros, DVDs,...

# Modularidad y Especialización



Modulo estructural genotípico



**Función**

Modulo estructural fenotípico



# Las ventajas de la especialización

PLANT CELL



Sitio para las reacciones dependientes de la luz de la fotosíntesis

starch grain  
thylakoids

plasma membrane

cell wal

Quitar "escombro";  
Aislar materiales peligrosas;  
Almacenamiento de materiales;  
Mantenamiento de presión o pH;

vacuole  
tonoplast

Construcción de proteínas

free ribosome

plasmodesma

Canales para transportación

dictyosome

Procesamiento y empaquetamiento de macromoléculas

chromatin

Empaquetamiento y Fortalecimiento de ADN

nucleus

nuclear envelope

Regulación de expresión de los genes

endoplasmic reticulum

peroxisome

chloroplast

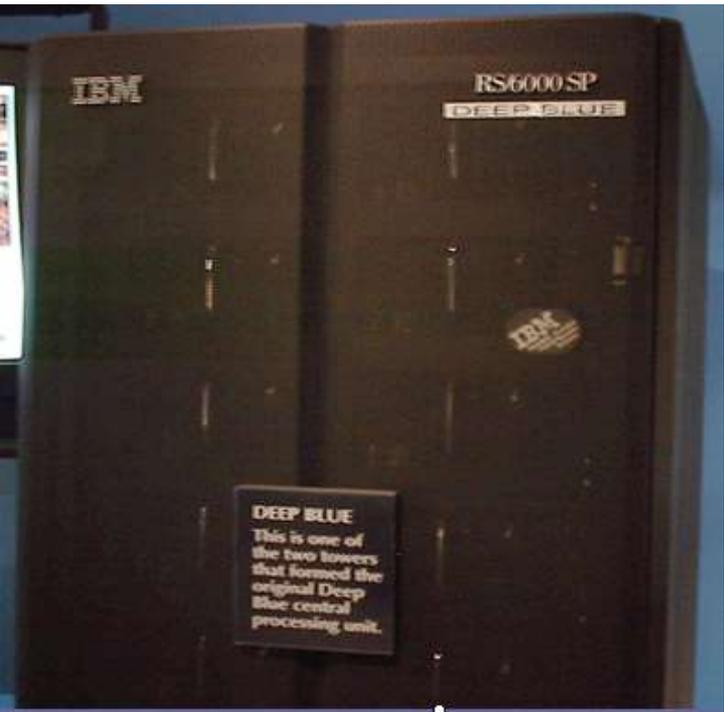
Fotosíntesis

mitochondrion

Generación de energía

cytosol

# La desventaja de la especialización



¿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?**

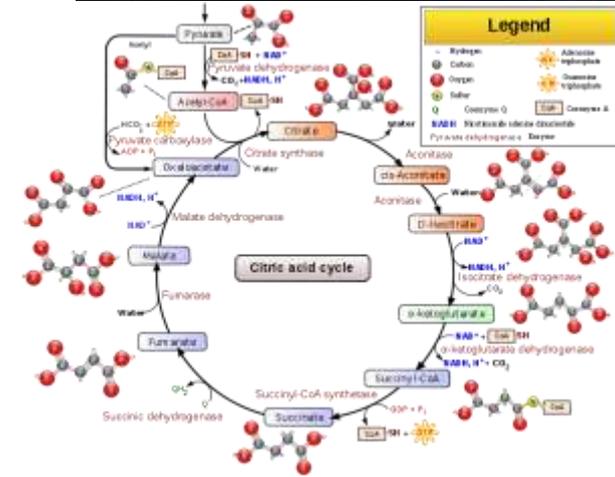
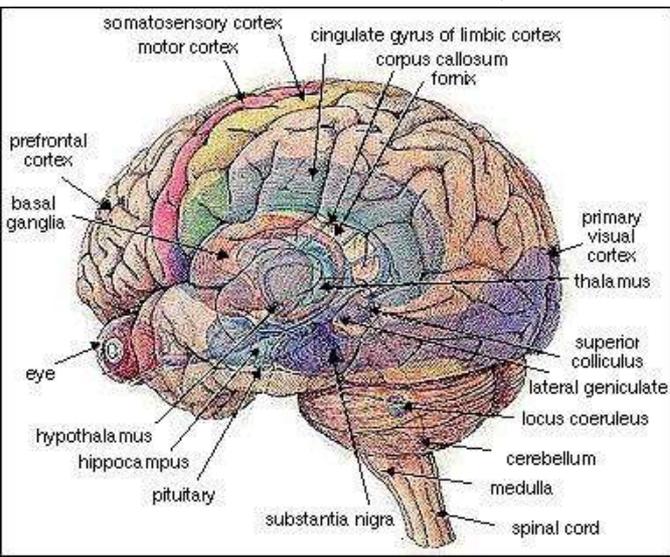
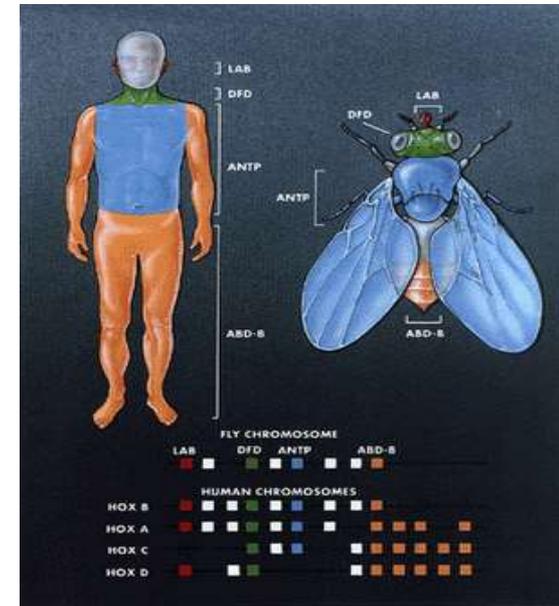
**¿Quién es mas “inteligente”?**

- Mitocondria y cloroplastos como proteobacteria y cyano-bacteria se incorporaron en células primitivas convirtiéndose a organelos (**evento de “recombinación”**)
- Evolución de herramientas como ejemplo de la especialización tecnológica
- Comparar sociedades de “cazadores-colectores” con sociedades agrícolas
  - Soldados, sacerdotes, mercaderes, obreros,...(**eventos de “recombinación”**)

# **V La Evolución Humana**

# La Evolución Humana

- Características (adaptaciones) comunes con otras especies
  - Hox genes
  - Metabolismo (genes antiguos)
  - Sistema inmune
  - Corazón, cerebro, pulmones,...



# La Evolución Humana

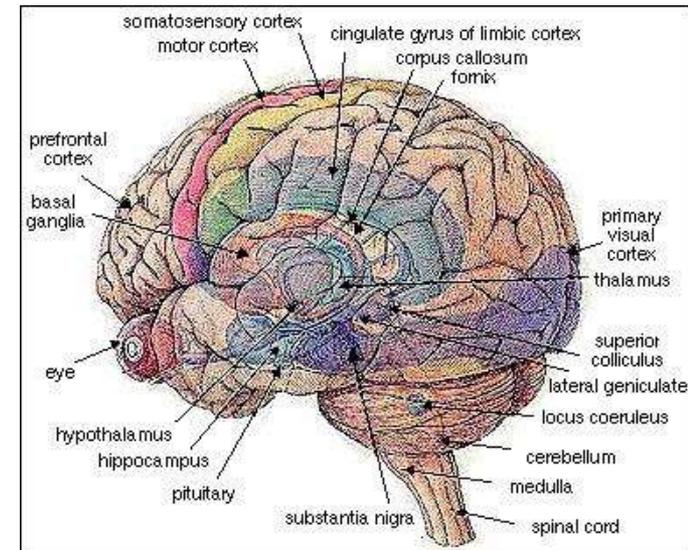
- Características (adaptaciones) especiales en los seres humanos (o primates)

- Estructurales

- Pulgares opuestas
- Caminar recto
- Sudar por todo el cuerpo

- Mentales

- Cerebros grandes
- Lenguaje
- Consciencia secundaria
- Libre albedrío



# La Evolución Humana

- Comportamientos (“estrategias”)
  - Toser
  - Buscar alimentos
  - Dolor
  - Inflamación
- La evolución da el “porque” de estos comportamientos. Y estos...
  - Comer grasas y azúcares
  - Sobre consumir, tanto alimentos como bienes
  - Ser sedentario
  - Fumar y otras adicciones

# ¿Podemos imaginar lo Complejo?

- Vivimos lo complejo cada día
  - Todos los procesos autonómicos
    - Involucran un sinnúmero de factores a múltiples escalas
    - Metabolismo, sistema inmune, respirar
  - Todos los procesos “semi-autonómicos”
    - Involucran un sinnúmero de factores a múltiples escalas
    - Manejar, caminar, sonreír
  - Todos los procesos conscientes
    - “No involucran tantos factores”
    - Hablar, calcular

# **VI La Evolución y la Toma de Decisiones**

# ¿Qué es una Decisión?

- Una selección entre alternativas implicando un cambio de estado
  - Asociada con una acción no con cosas
  - Asociada con una “estrategia”
  - ¿Cómo enumerar las alternativas?
  - ¿Cómo ponderar las alternativas?
    - ¿Qué factores se toma en cuenta?
    - Escalas de tiempo
  - “Racional” versus “irracional”
  - “Emocional” versus “lógico”
  - Explicito versus implícito
    - nivel individual versus grupal



# La Evolución y la Toma de Decisiones

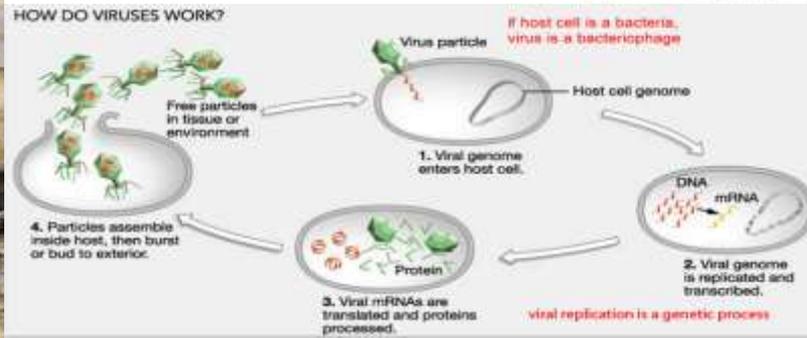
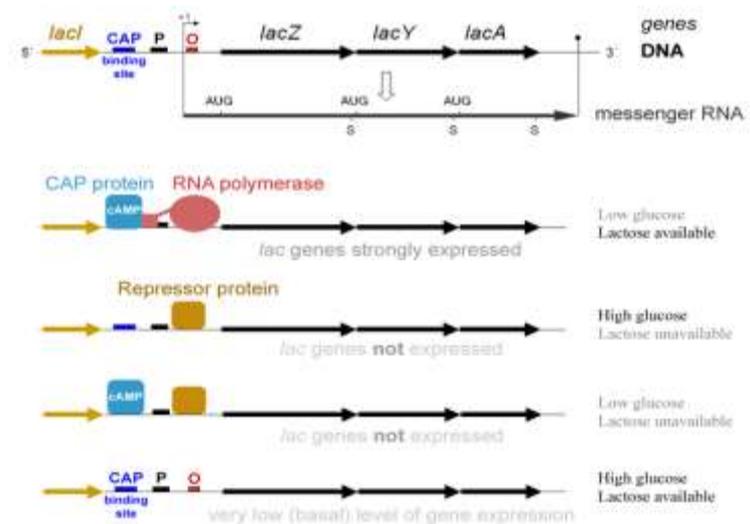
- “Decisiones”
  - Normalmente pensamos en las decisiones como algo más humano asociado con la voluntad libre
  - ¡Somos autómatas! En la mayoría...
    - Una bola en un campo gravitacional
    - Un gato en un campo gravitacional
    - Un ser humano en un campo gravitacional

# Ejemplos de “decisiones”

- Reproducción viral
- Bacteria o célula siguiendo un gradiente químico (Lac operon)
- Un gato cayendo
- Buscar pareja
- Comer



The *lac* Operon and its Control Elements



# Algunas Decisiones Humanas



ADAM

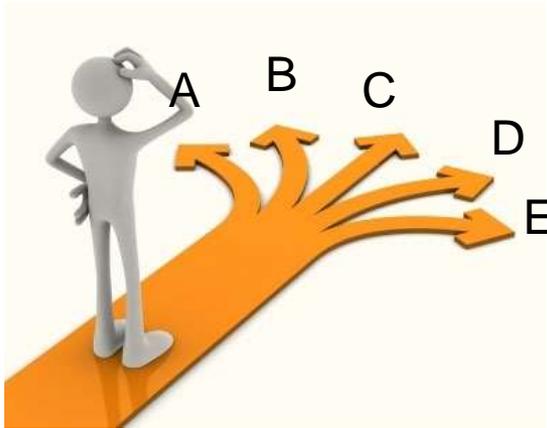


# Teoría Racional de Decisiones

Alternativas: A, B, C, D, E

Preferencias:  $P(A)$ ,  $P(B)$ ,  $P(C)$ ,  $P(D)$ ,  $P(E)$

Para tomar una decisión racional se ranquea las alternativas por sus preferencias y adopta la alternativa con mayor preferencia



Puede hacer la comparación  $P(i) > o < P(j)$  para todas las alternativas

Si  $P(i) > P(j)$  y  $P(j) > P(k)$  entonces  $P(i) > P(k)$

Ejemplo de la racionalidad: El dilema del prisionero

	Prisionero B se mantiene silencioso	Prisionero B traiciona
Prisionero A se mantiene silencioso	Cada uno recibe sentencia de 6 meses	Prisionero A: 10 años Prisionero B: se libera
Prisionero A traiciona	Prisionero A: se libera Prisionero B: 10 años	Cada uno recibe sentencia de 5 años

¿Se aplica únicamente a los seres humanos?

Lo racional es siempre traicionar – ¡piensa sobre manejar en el DF!

# Decisiones en Grupo

- ¿Quién toma decisiones?
  - Individuos, familias, empresas, gobiernos, muchas otras unidades organizacionales

	<i>P</i>	<i>if P then Q</i>	<i>Q</i>	
Individual 1	true	true	true	Si votamos por mayoría entonces la sociedad no es lógico/racional
Individual 2	false	true	false	
Individual 3	true	false	false	
Society	true	true	false	

# ¿Porqué tomamos “malas” decisiones?

## ¿Qué es racional?

- Comiendo azúcares y grasas y comiendo mucho
  - El “thrifty genotype”
- Sobre consumir o adquirir bienes
  - Ventaja reproductiva para los hombres
- Ser sedentario
  - Gasto innecesario de energía
- Fumar y otras adicciones
  - Dopaminas
- Debate intelectual

# ¿Podemos imaginar lo Complejo?

- Vivimos el complejo cada día
  - Todos los procesos autonómicos
    - Involucran un sinnúmero de factores a múltiples escalas
    - Metabolismo, sistema inmune, respirar
  - Todos los procesos “semi-autonómicos”
    - Involucran un sinnúmero de factores a múltiples escalas
    - Manejar, caminar, sonreír
  - Todos los procesos conscientes
    - “No involucran tantos factores”
    - Hablar, calcular
  - La relación entre el consciente y el inconsciente

# Retos para la modelación de la complejidad

## Fenomenología:

- Entender que son las propiedades “necesarios” y “suficientes” para la complejidad
- Adaptación – ¿qué es y cuando sale?
- Modularidad – entender como partes diferentes de un sistema logran fines distintos y luego se unen como “bloques constructores” para formar cosas más complejas – efecto de la multi-objetividad
- Aptitud como un fenómeno emergente
- El problema de la inferencia estadística en la observación de la complejidad

# Retos teóricos para la modelación de sistemas complejos

## Teoría

- ¿Qué paradigmas son útiles para la descripción de la complejidad? ¿De la física? ¿La biología? ... ¿Todos? ¿Ninguno?
- Desarrollo de marcos en que se puede trabajar en un espacio de “leyes” y estados
- Estar metido en un “juego” donde las reglas cambian y no sabemos las ganancias
- Entender como hacer un “coarse graining” (grupo de renormalización) para estudiar la emergencia de grados de libertad efectivos

# Bibliografía

- La Idea Peligrosa de Darwin, Dan Dennett,
- La Hipotesis de la Felicidad, Jonathan Haidt
- The Emotional Brain, Joseph Ledoux
- The Architecture of Complexity, Herb Simon
- Ernst Mayer
- The Remembered Present: A Biological Theory of Consciousness, [Gerald Edelman](#), Basic Books, EU, 1990
- Sugars and Fats: The Neurobiology of Preference, Allen S. Levine, Catherine M. Kotz and Blake A. Gosnell, J. Nutr. 133:831S-834S, 2003

# Bibliografía

- Relation of Obesity to Consummatory and Anticipatory Food Reward, Eric Stice, Sonja Spoor, Janet Ng, David H. Zald, *Physiol Behav.* 2009 July 14; 97(5): 551–560.
- Neel JV (1962). "Diabetes mellitus: a "thrifty" genotype rendered detrimental by "progress"?". *Am. J. Hum. Genet.* 14: 353–62.
- Fleurbaey, M. 2007. "Social Choice and Just Institutions: New Perspectives", *Economics and Philosophy* 23:15-43.
- Gerrard, B . 1993. *The Economics of Rationality*. London: Routledge.