

La Evolución de la Complejidad

Chris Stephens,

C₃ Centro de Ciencias de la Complejidad y
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM

Panel: Simplicidad, complejidad y sistemas adaptativos complejos en la naturaleza y en las sociedades humanas. ¿Puede la epistemología de la física y la biología avanzadas usarse para refundar las ciencias sociales

II. Jornada de Vanguardia Científica Nuevos paradigmas y temas emergentes en las Ciencias de la Vida

¿Qué es seguramente complejo?

Ciencias Sociales aquí

¿Esto...?



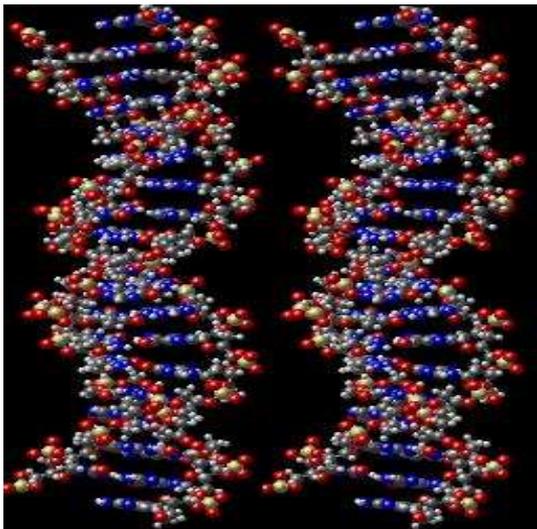
¿Qué tal esto...?



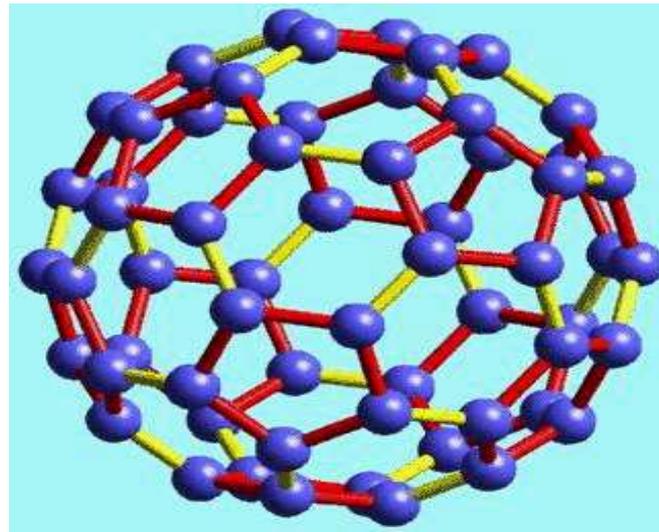
¿Y esto...?



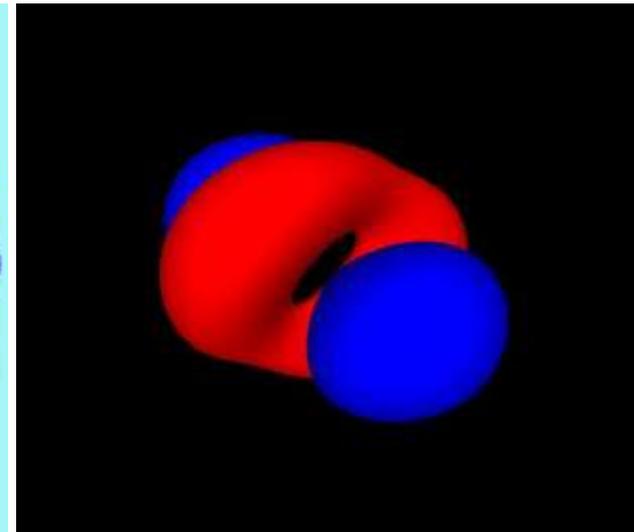
¿Y que tal estos?



Buckyball C_{60}



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



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.

Human nucleotide sequence

```

AAAAGAAAAGGTTAGAAAAGATGAGAGATGATAAAGGGTCCATTTGAGGTTAGGTAAT
ATGGTTTGGTATCCCTGTAGTTAAAAGTTTTTGTCTTATTTTAGAATACGTGACTA
TTTCTTTAGTATTAATTTTTCCTTCGTCTTCTCATCTAGGGAACCCCAAGAGCAT
CCAATAGAAGCTGTGCAATTTATGTAAAATTTTCAACTGCTTTCCTCAAAATAAAGAA
GTATGGTAATCTTTACTGTATACAGTGCAGAGCCTTCTCAGAAGCACAGAATATTT
TTATATTTTCTTTATGTGAATTTTTAAGCTGCAAATCTGATGGCCTTAATTTCTTTT
TTGACACTGAAAAGTTTTGTAAAAAATAATCATGTCCATACACTTTGTTGCAAGATGTG
AATTAATTGACACTGAACTTAATAACTGTGTACTGTTTCGGAAGGGGTTCC TCAAATTT
TTTGACTTTTTTTGTA TGTGTGTTTTTTCTTTTTTTTTAAGTTCTTATGAGGAGGGA
GGGTAATAAACCACCTGTGCGTCTTGGTGTAA TTTGAAGATTGCCCCATCTAGACTA
GCAATCTCTTCATTAATCTCTGCTATATA TAAAA CGGTGCTGTGAGGGAGGGGAAAA
GCATTTTTCAATATATTGAAC TTTTGTACTGAATTTTTTTGTAATAAGCAATCAAGG
TTATAATTTTTTTTTAAAA TAGAAATTTTTGTAA GAAGGCAATATTAACCTAATCACCA
TGTAAGCACTCTGGATGATGGATTCCACAAAACTTGGTTTTATGGTTACTTCTTCTC
TTAGATTCTTAATTCATGAGGAGGGTGGGGAGGGAGGTGGAGGGAGGGAAGGGTTT
CTCTATTAATAATGCATTCGTTGTGTTTTTTAAGATAGTGTAACTTGC TAAAATTTCTT
ATGTGACATTAACAAA TAAAAAAGCTCTTTTAATATTAGATAA
  
```

49

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 ...

“?”

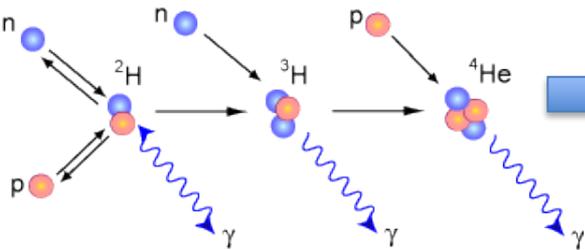
If you are married or are a man and woman living together as
 if you are married you must claim jointly ... “complejo”

¿Qué distingue los fenómenos complejos de los no complejos?

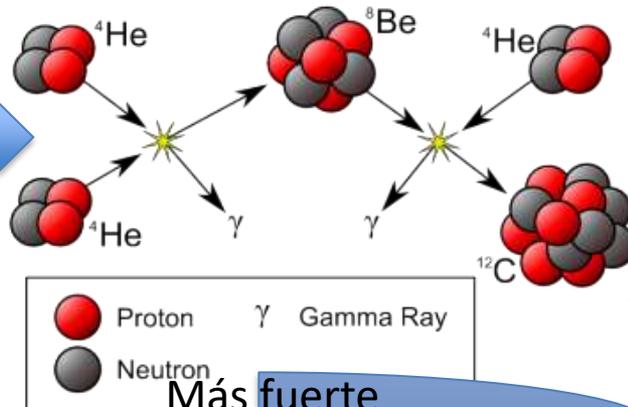
- Propiedades estructurales
 - Una “jerarquía” de muchas diferentes escalas
 - Grados de libertad efectivos (“colectividad”) cualitativamente diferentes a escalas diferentes
 - Jerarquía de **bloques constructores** (modularidad)
 - Interacciones “intra-bloque” más fuerte que “inter-bloque”
 - El micro 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

La Construcción del Universo por Bloques Constructores

Big Bang Nucleosynthesis



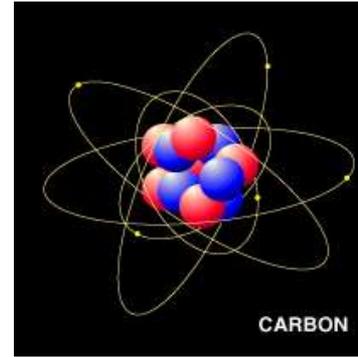
This shows one of the reactions sequences that produces a helium-4 nucleus from protons and neutrons. Other sequences are possible. The first stage is reversible due to photodisintegration by gamma photons.



● Proton γ Gamma Ray
● Neutron

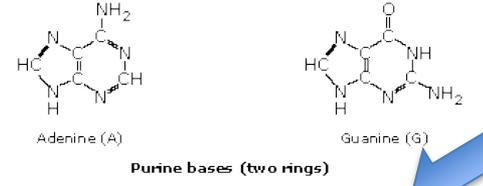
Estos eventos son eventos de **recombinación** donde se crea algo nuevo de **bloques constructores** existentes

Más fuerte
 Más débil
 Interacciones



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

complementary nucleotide chain begins to form



unwound DNA strand

H-bonds!

Interacciones entre los bloques constructores en los lenguajes

El zorro veloz salto sobre el perro flojo.

Lima es el capital de Peru.

El perro se despertó sorprendido

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

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”?**



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

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 ...

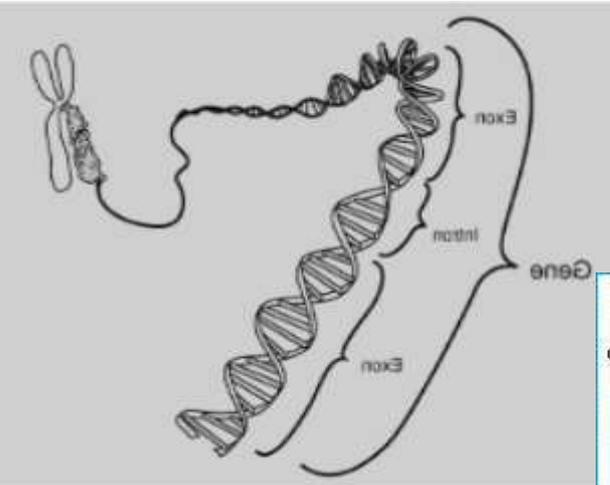
¡No sabemos como es este espacio!

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!

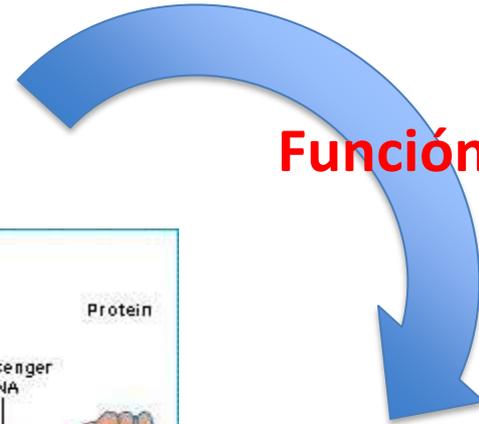
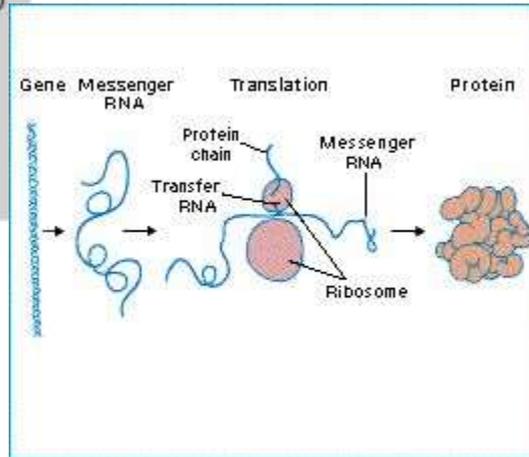
Evolución y complejidad como el desarrollo de “multi-tasking” por especialización

- 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



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”?

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