

# ¿Que es la complejidad?

**Chris Stephens,**

Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM

Seminario, Rectoría 17/05/2007

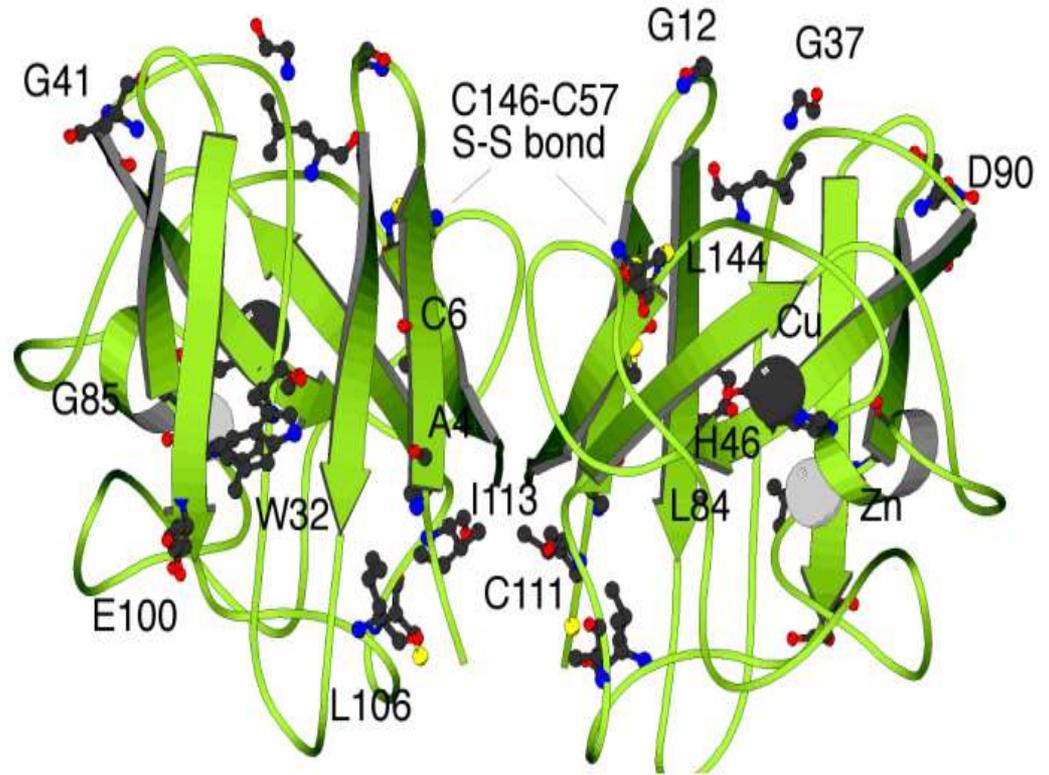
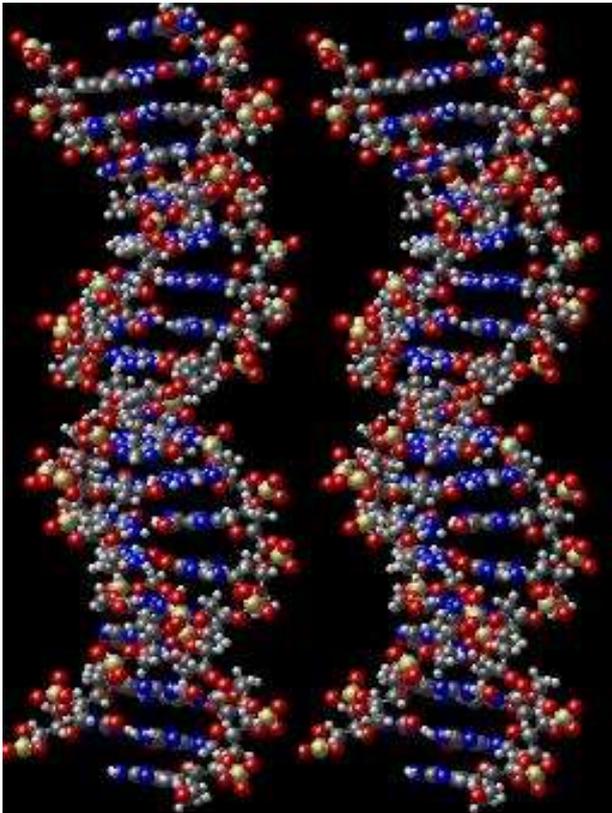
# **Fenomenología y taxonomía**

**“Complejidad “física”**

# ¿Complejo?

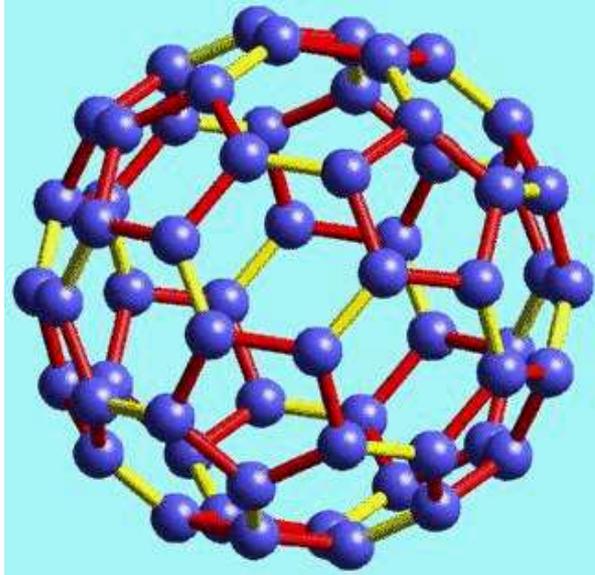


# ¿Y estas?

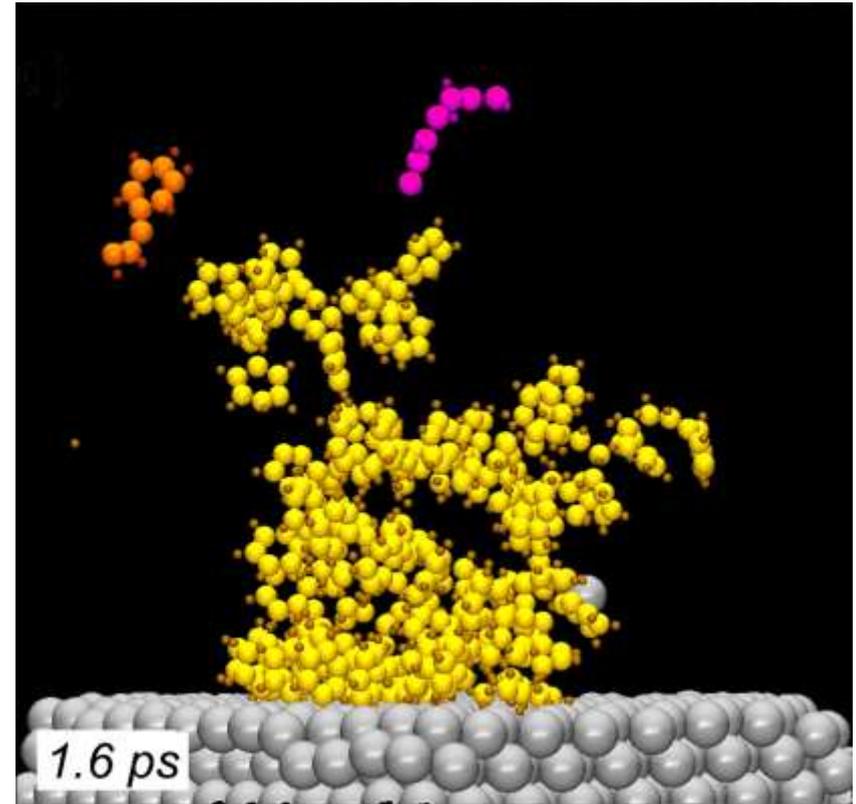


Model illustrating the formation of a misfolded species (M) from a folding intermediate (I). The region of the protein that misfolds is shown in red. The misfolded protein itself, or a self-assembled form, may be toxic to cells, leading to disease. The black arrows represent the relative rates of the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

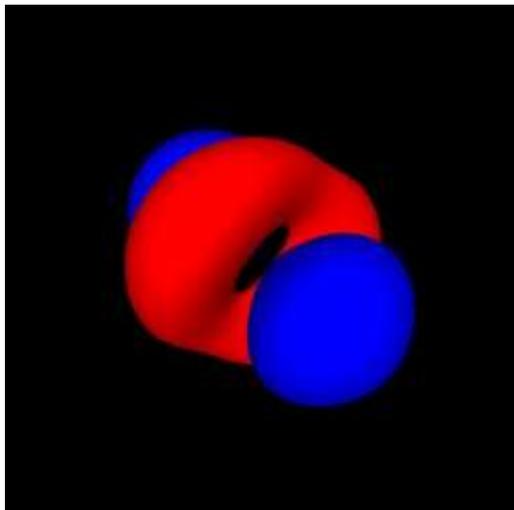
¿Y que tal estos?



Buckyball C<sub>60</sub>



Polystyrene on a silver surface



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

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

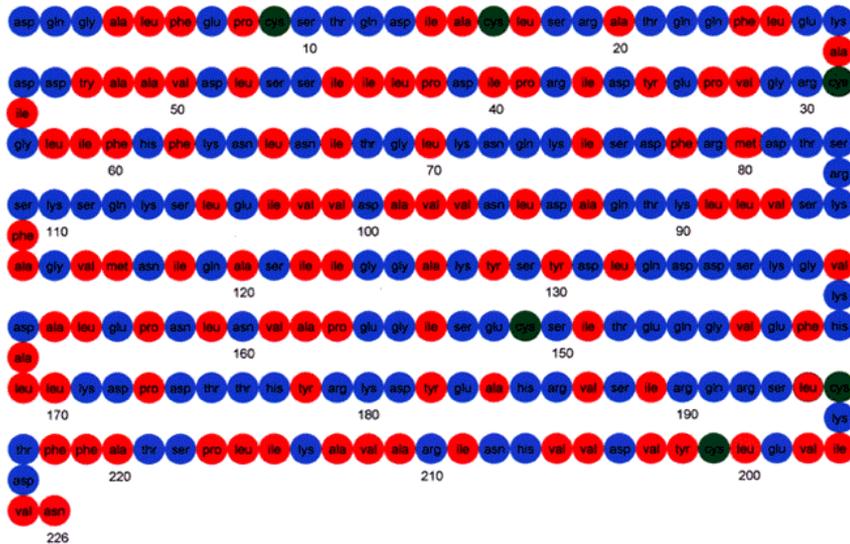
- Una “jerarquía” de muchas diferentes escalas
- Grados de libertad efectivos (“colectividad”) cualitativamente diferentes a escalas diferentes
- Sistemas que son adaptativos
- Una evolución dinámica que depende de muchas reglas/estrategias diferentes.
- Sistemas que “aprenden” (retroalimentación del ambiente al sistema que se usa para actualizar las reglas)
- Comportamiento más complejo (el “fenotipo”)

# **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 TGTGTTTTCCTCATCTAGGGAACCCCAAGGCAT
CCAATAGAAGCTGTGCAATTATGTAAAATTTTCAACTGCTTTCCTCAAATAAAGAA
GATGCGTAATCTTTACTGTATACAGTGCAGAGCCTTCAGAGAAGCACAGAATATTT
TTATAATTTCTTTATGTGAATTTTTAAGCTGCAAATCTGATGGCC TTAATTTCTTT
TTGACACTGAAAAGTTTTGTAAAAGAAATCATGTC CATA CACTTTGTTGCAAGATGTG
AATTAATTGACACTGAACTTAATAACTGTGTACTGTTGGAAGGGGTTCC TCAAATTT
TTTGACTTTTTTTGTA TGTGTGTTTTTTC TTTTTTTTTAAGTTCTTA TGAGGAGGGA
GGGTAAATAAACCACTGTGCGTCTTGGTGTAA TTTGAAGATTGCCCATCTAGACTA
GCAATCTCTTCATTAATCTCTGCTATATA TAAAA CGGTGCTGTGAGGAGGGGAAAA
GCAATTTTTCAATATATGAAC TTTTGTACTGAATTTTTTTGTAATAAGCAATCAAGG
TTATAATTTTTTTTTAAAA TAGAAATTTTGTAA GAAGGCAATATTAACCTAATCACCA
TGTAAGCACTCTGGATGATGGATTCCACAAA ACTTGGTTTTATGGTTACTTCTTCTC
TTAGATTCTTAAATTCATGAGGAGGGTGGGGAGGGAGGTGGAGGGAGGGAAGGGTTT
CTCTATTAATAATGCATTC GTTGTGTTTTTTAAGATA GTGTAAC TTGCTAAAATTTCTT
ATGTGACATTAACAAA TAAAAAGCTCTTTTTAATATTAGATAA
  
```

# ¿...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"?

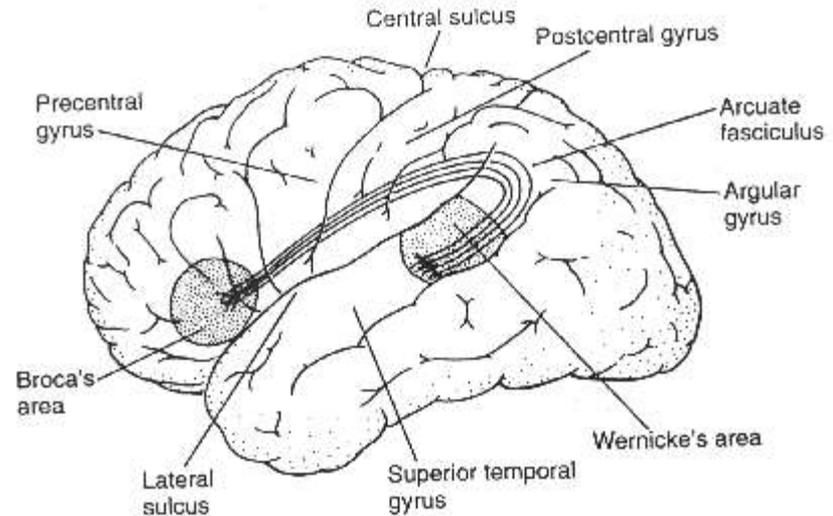
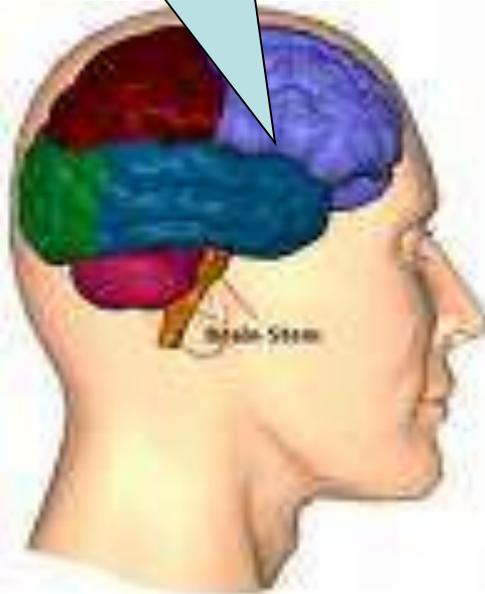
# El lenguaje del punto de vista de un físico estadístico martiano

- $\langle \alpha_i \rangle \quad i \in a, b, \dots, z$  t ocurre con más frecuencia que x
- $\langle \alpha_i \alpha_j \rangle \quad i, j \in a, b, \dots, z$  t y h mucho mas correlacionados que x y q;
- $\langle \alpha_i \alpha_j \alpha_k \rangle \quad i, j, k \in a, b, \dots, z$  t, h y e altamente correlacionadas en posiciones adyacentes; detección de la “palabra” como grado de libertad efectivo.
- .
- .

Hamlet muestra una estructura bien compleja. Las funciones de correlación son nuestra aparato de medición, pero son suficientes?

# ¿Qué es un mejor aparato de medición?

To be or not to be that is the question.



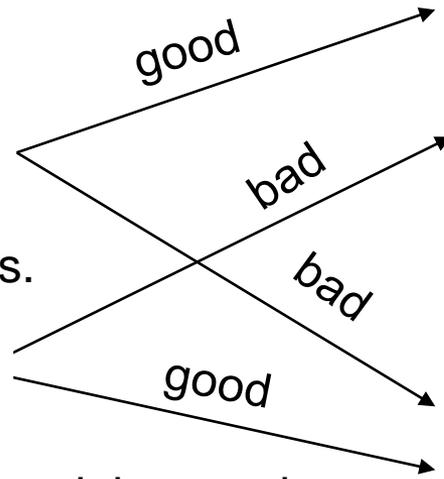
Este aparato seguramente es capaz de medir complejidad. ¿O quizás no...?

# ¿Como tan bueno es tu aparato?

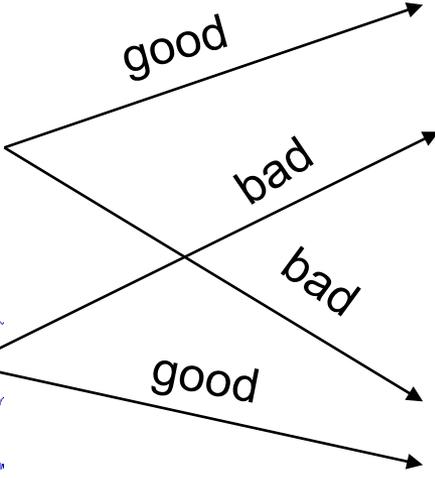
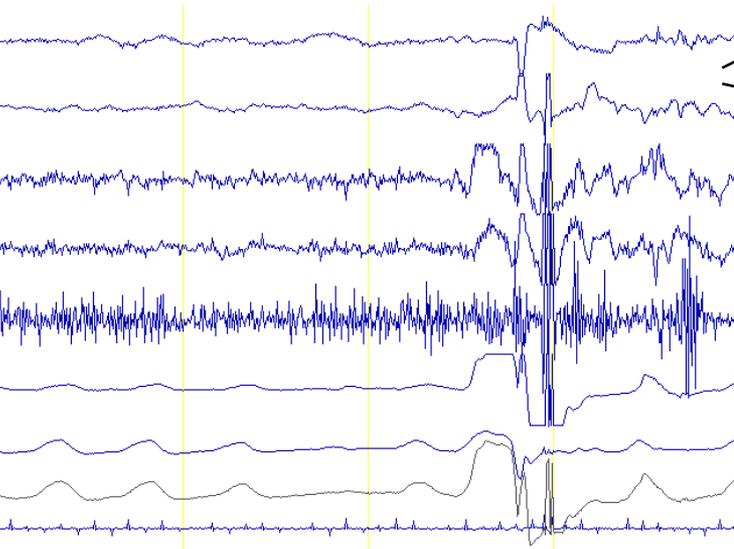
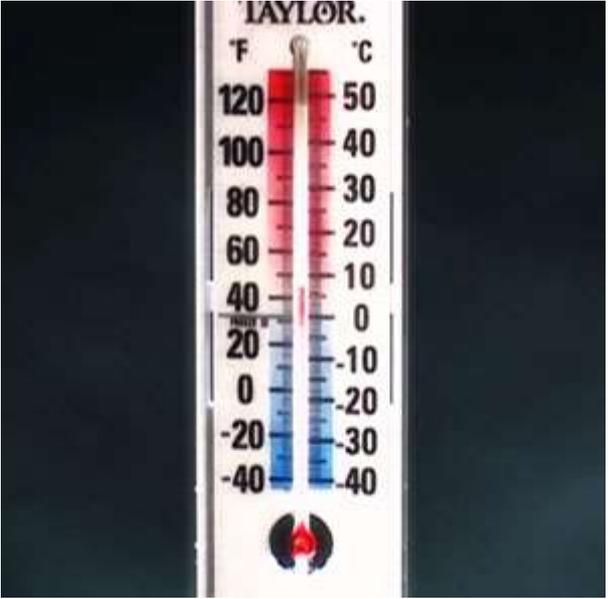
- To be or not to be that is the question.
- Para ser o no ser que es la pregunta.
- Om te zijn of te zijn niet dat de vraag is.

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?



# **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.**

# ¿Qué propiedades debe tener un modelo matemático para modelar la complejidad?

En sistemas biológicos, económicos y sociales, organismos exhiben una alta diversidad de **ESTRATEGIAS** (reglas/modelos)

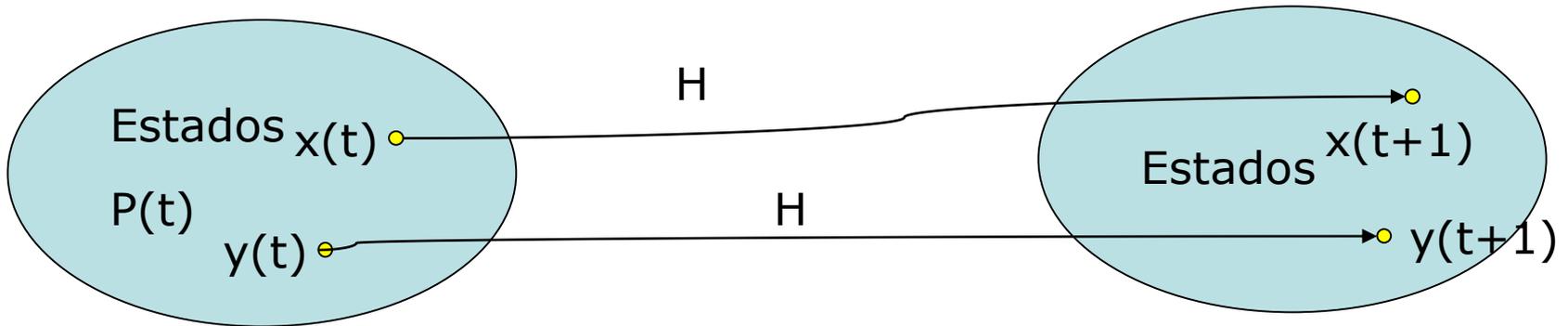
El estado dinámico de un individuo a  $t+1$  depende de no solamente el estado del individuo y de otros a tiempo  $t$  pero también de la estrategia (regla de actualización) seleccionada a tiempo  $t$ , que a su vez depende de las reglas de otros a  $t$

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

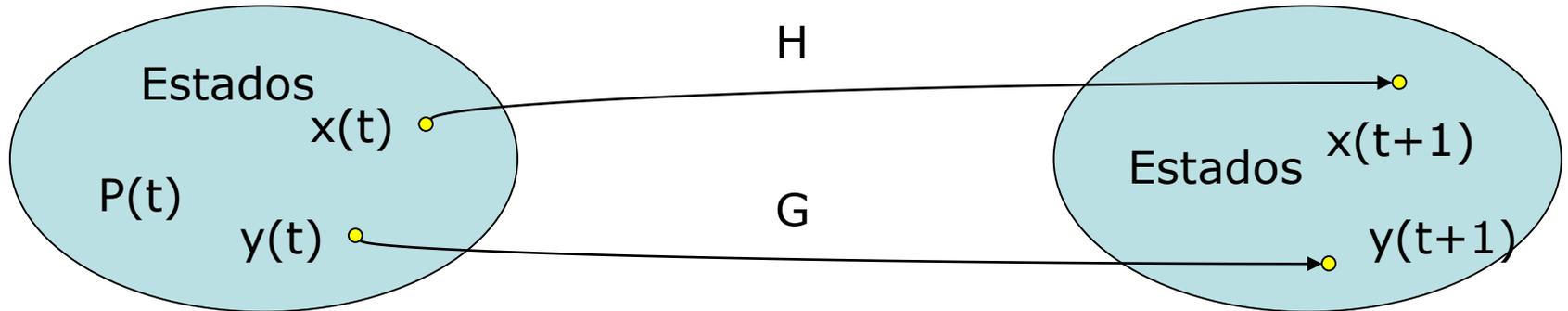
¿No sabemos como es este espacio?

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

La ciencia actual no cuenta con los elementos matemáticos y conceptuales para entender a fondo estos problemas...



**Evolución democrática – una ley para todos (Física)**  $x(t+1)=H(x(t))$   
 $y(t+1)=H(y(t))$



**No todos los estados son iguales (No física)**  $x(t+1)=H(x(t))$   
 $y(t+1)=G(y(t))$

G no igual a H  $\Rightarrow$  G( $y(t)$ ) no igual a H( $y(t)$ )

# Retos teóricos para la modelación de sistemas complejos

- Desarrollo de marcos en que se puede trabajar en un espacio de “leyes” y estados
- Entender que son condiciones “necesarios” y “suficientes” para la complejidad
- EL problema de la inferencia estadística en la observación de la complejidad
- Estar metido en un “juego” donde las reglas cambian y no sabemos las ganancias
- Aptitud como un fenómeno emergente
- Modularidad – entender como partes diferentes de un sistema logran fines distintos y luego se unen como “bloques constructores” para formar cosas más complejas
- Entender como hacer un “coarse graining” (grupo de renormalización) para estudiar la emergencia de grados de libertad efectivos