

¿Qué es la complejidad?

¡...o, si veo otra ley de potencia más voy por una arma!

Chris Stephens,

Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM

Mesa Redonda, UACM 10/03/2008

Muchos grados de libertad

Interacciones no lineales

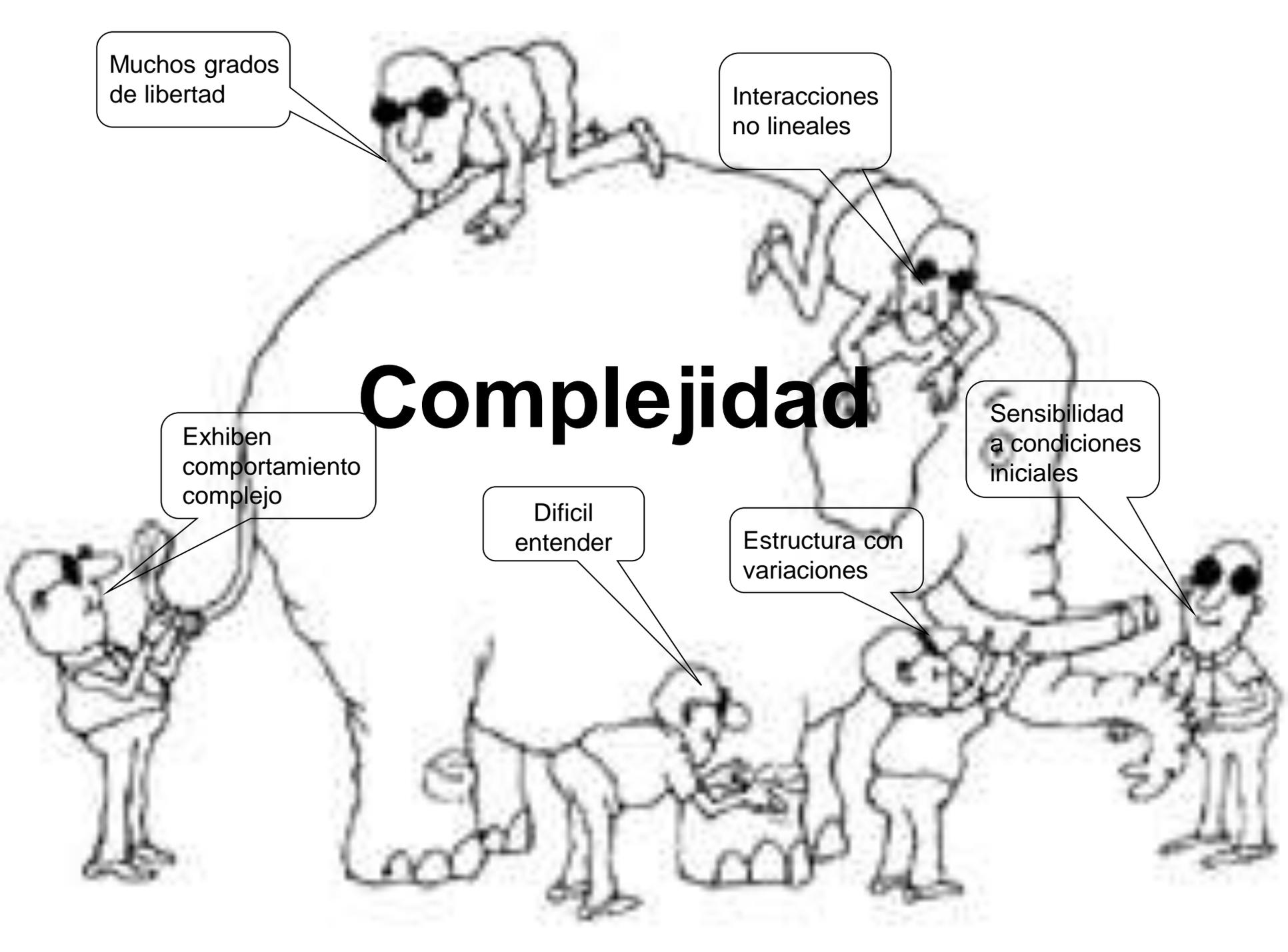
Complejidad

Exhiben comportamiento complejo

Difícil entender

Estructura con variaciones

Sensibilidad a condiciones iniciales



El problema es que las definiciones de complejidad no discriminan – ¡demasiado falsos positivos!

Quizá contienen algunas condiciones necesarias pero, indudablemente, no suficientes

Extinciones de especies

Velocidad de
Volar de insectos

Distribución de palabras

electromagnetismo

The Edge of Chaos

Precios en
Mercados
financieros

fluidos

Pilas de arena

$$f(x) \sim x^{-\beta}$$

gravedad

Poblaciones
de ciudades

ferromagnetos

temblores

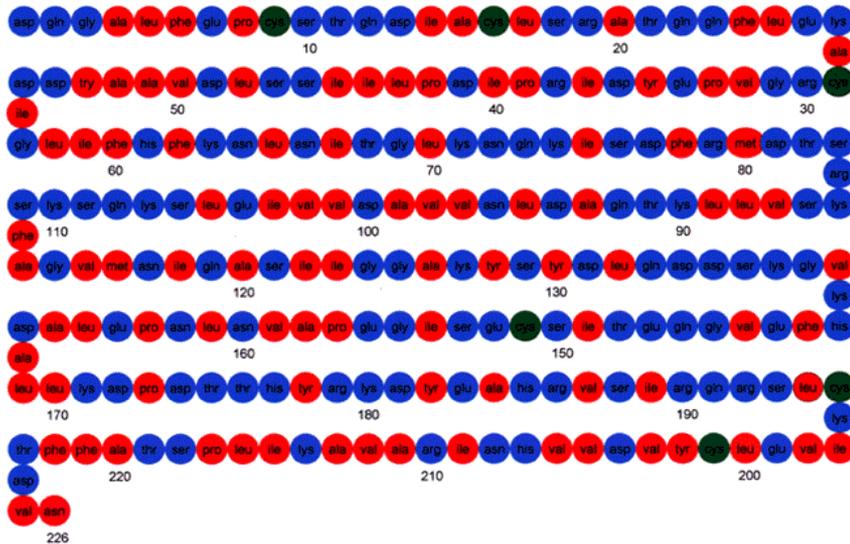
Taza metabólica

Distribuciones
de ingresos

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
ATGGTTTGGTATCCCTGTAGTTAAAAGTTTTTGTCTTATTTTAGAATACGTGACTA
TTTCTTTAGTATTAATTTTTCCTTCCTGTTTTCTCATCTAGGGAACCCCAAGACAT
CCAATAGAAGCTGTGCAATTATGTAAAATTTTCAACTGCTTTCCTCAAATAAAGAA
GATGCGTAATCTTTTACCTGTATACAGTGCAGAGCCTTCTCAGAAGCACAGAATATTT
TTATAATTTCTTTTATGTGAATTTTTAAGCTGCAAATCTGATGGCCTTAATTTCTTT
TTGACACTGAAAAGTTTTGTAAAAGAAATCATGTCATACACTTTGTTGCAAGATGTG
AATTAATTGACACTGAACTTAATAACTGTGTACTGTTGGAAGGGGTTCC TCAAATTT
TTTGACTTTTTTTGTATGTGTGTTTTTTCTTTTTTTTTTAAGTTCTTATGAGGAGGGA
GGGTAAATAAACCACTGTGCGTCTTGGTGTAAATTTGAAGATTGCCCATCTAGACTA
GCAATCTCTTCATTAATCTCTGCTATATAATAAACGGTGTGTGAGGAGGGGAAAA
GCAATTTTTCAATATATGAACTTTTGTACTGAATTTTTTTGTAATAAGCAATCAAGG
TTATAATTTTTTTTTAAATAGAAAATTTGTAAAGGCAATATTAACCTAATCACCA
TGTAAGCACTCTGGATGATGGATTCCACAAAACCTTGGTTTTATGGTTACTTCTTCTC
TTAGATTCTTAAATTCATGAGGAGGGTGGGGAGGGAGGTGGAGGGAGGGAAGGGTTT
CTCTATTAATAATGCATTCGTTGTGTTTTTTAAGATAGTGTAACTTGC TAAAATTTCTT
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"?

¿Qué tal un Borde de Caos “simbólico”?

el

ordenado

cuadro ridículo artillería parado bofetada inconsciente que...

desordenado

Parametro para distinguir entre los estados ordenados y desordenados...

s – donde:

Zipf's law may be stated mathematically as:

$$f(k; s, N) = \frac{1/k^s}{\sum_{n=1}^N 1/n^s}$$

where N is the number of elements, k is their rank, and s is the exponent characterizing the distribution. In the example of the frequency of words in the English language, N is the number of words in the English language and, if we use the classic version of Zipf's law, the exponent s will be equal to unity. $f(k; s, N)$ will then be the fraction of the time the k th most common word occurs.

En Hamlet (y en lo general en lenguajes naturales
s es aproximadamente 1

¡Así, el lenguaje esta al “Borde del Caos”!

¿Da una descripción adecuada de Hamlet? ¿Qué la
distribución de frecuencias de las palabras es invariante
de escala con exponente s?

¡NO!

Entonces, ¿Qué hay en Hamlet que no esta
en la “pila de arena”?

El lenguaje del punto de vista de un físico estadístico martiano

$$\langle \alpha_i \rangle \quad i \in a, b, \dots, z$$

$$\langle \alpha_i \alpha_j \rangle \quad i, j \in a, b, \dots, z$$

$$\langle \alpha_i \alpha_j \alpha_k \rangle \quad i, j, k \in a, b, \dots, z$$

t es de mas alta frecuencia que x

t y h estan mucho mas correlacionados que x and q; pico en posiciones adyacentes

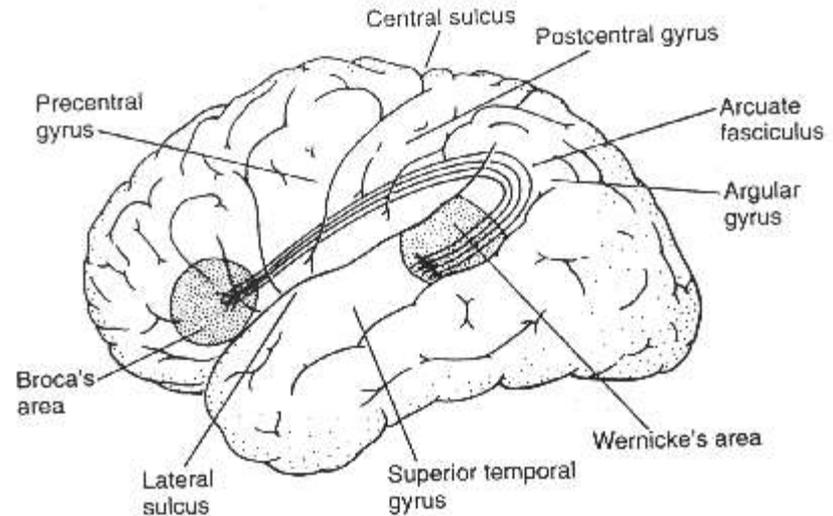
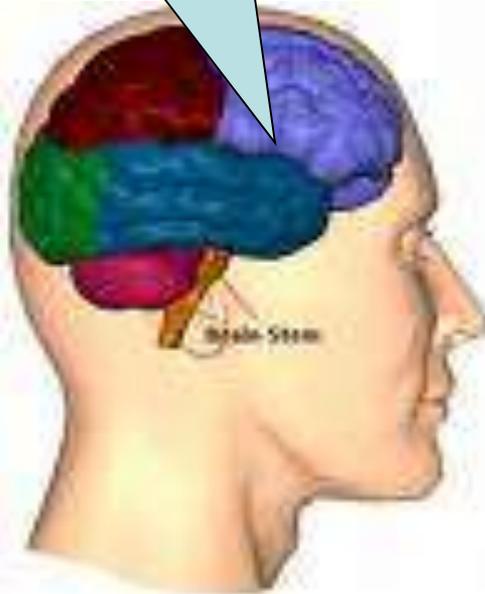
t, h y e estan muy correlacionados en posiciones adyacentes; detección de la “palabra” como grado de

libertad efectivo. Podemos estudiar funciones de correlación entre estos nuevos grados de libertad

- Así Hamlet mostrará funciones de correlación altamente no triviales que muestran ni orden ni desorden, pero mucho más estructura que el Borde del Caos. Las funciones de correlación son nuestra “detector de estructura/dispositivo de medición”. Pero, ¿son adecuadas?

¿Qué es un mejor aparato de medición?

To be or not to be that is the question.



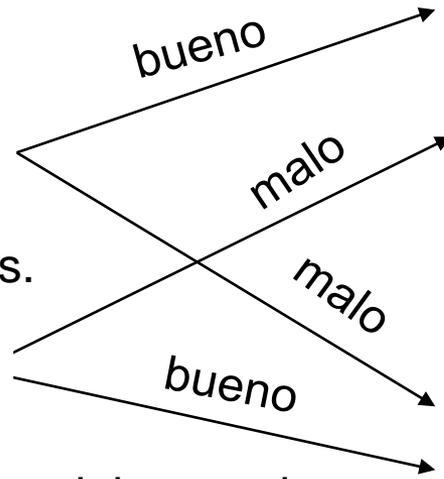
Este aparato seguramente es capaz de medir complejidad. ¿O quizás no...?

¿Como tan bueno es tu aparato?

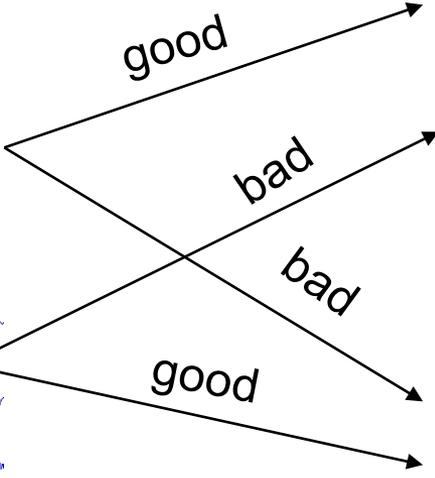
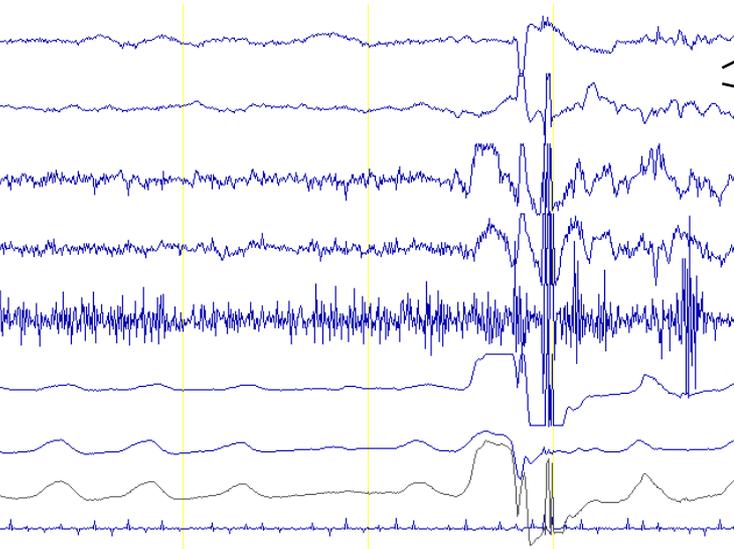
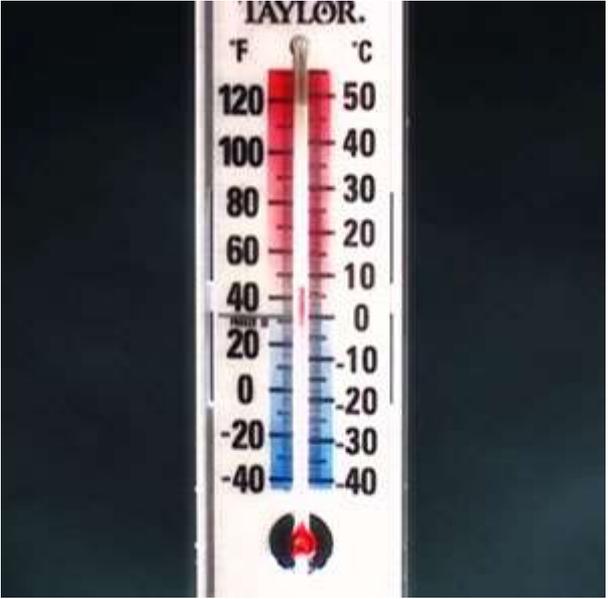
- To be or not to be that is the question.
- Para ser o no ser que es la pregunta.
- Om te zijn of te zijn niet dat de vraag is.

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?



Entonces, ¿Qué podemos concluir de esto?

- **Es útil distinguir entre complejidad intríntrica (solamente el sistema) versus extríntrica (sistema y dispositivo de medición)?**
- **Pienso que si – podemos hablar de correlaciones intríntricas al sistema y correlaciones entre el sistema y un dispositivo de medición**

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.