

La noción de Información.
Convergencias entre la física y la biología

Eugenio Andrade

Bogotá. 2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

- (1). La metáfora del demonio de Maxwell (DM) como una idea precursora de la noción de información.

Mecanicismo: Descartes

- “Si conociéramos todas las partes de la semilla de un animal cualquiera, podríamos DEDUCIR por medio de un RAZONAMIENTO MATEMÁTICO la FORMA y CONFORMACIÓN de cada uno de sus miembros”

Pero: ¿La vida es computable?



Eugenio Andrade

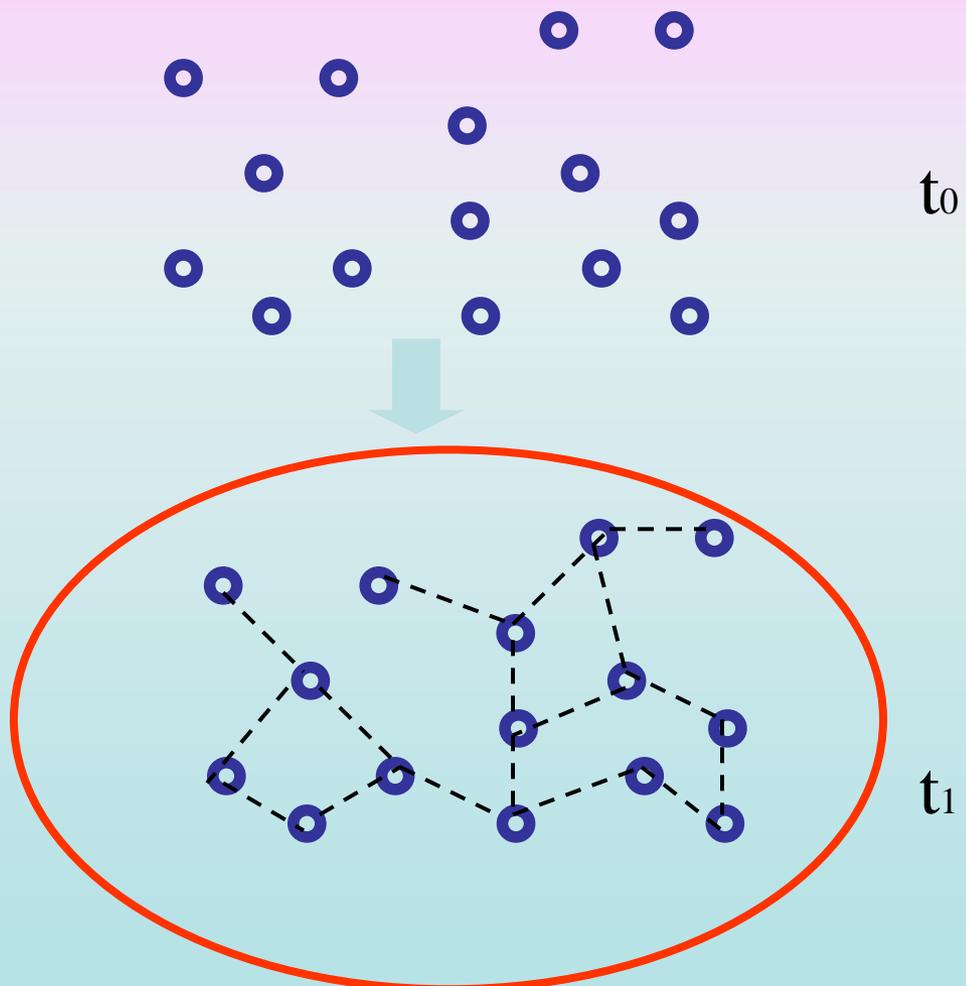
El “demonio” de Laplace, (1812)

- “Un ser inteligente que en un instante dado, pudiera conocer todas las fuerzas que animan la Naturaleza, y la respectiva situación de los seres que la componen, si, además, fuera suficientemente inmenso para someter esos datos al análisis, podría condensar en una única fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del U. así como los del átomo más liviano, nada sería incierto para dicho ser, y tanto el futuro como el pasado, estarían presente ante sus ojos”.

El “demonio” de Laplace, (1812)



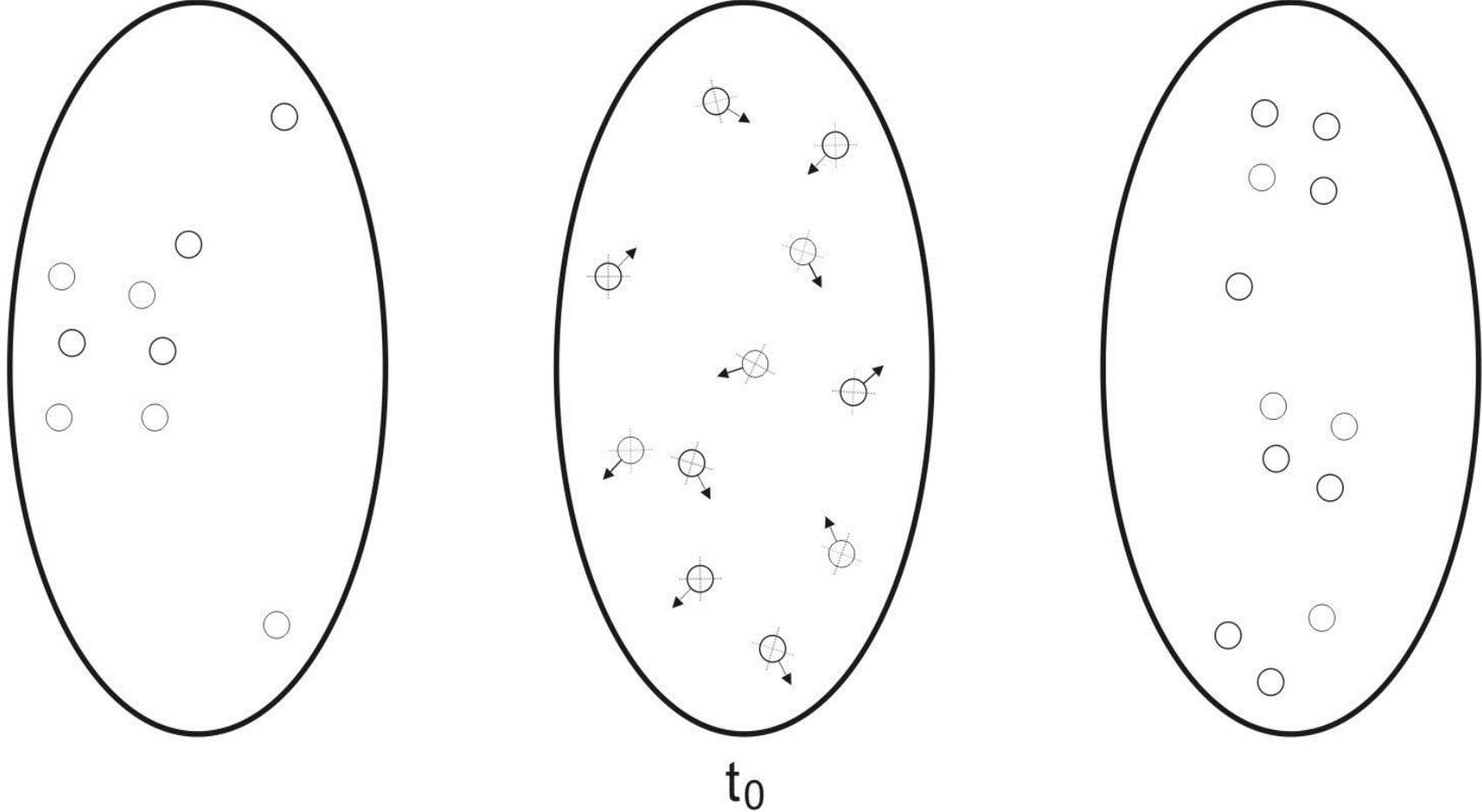
Eugenio Andrade



Obs. t_0 = Obs. t_1

REGISTRO:

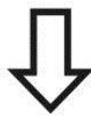
1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

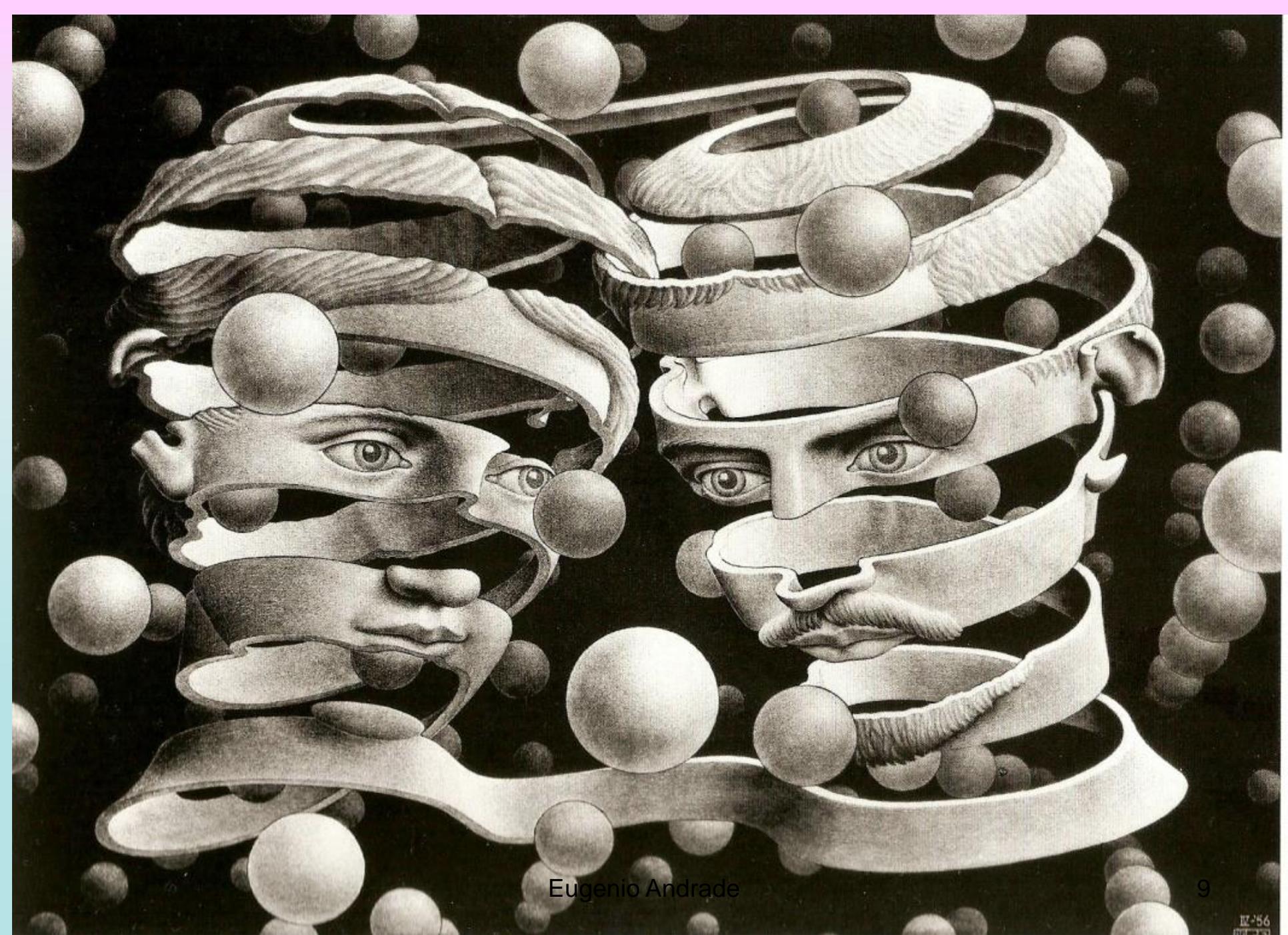


Pasado

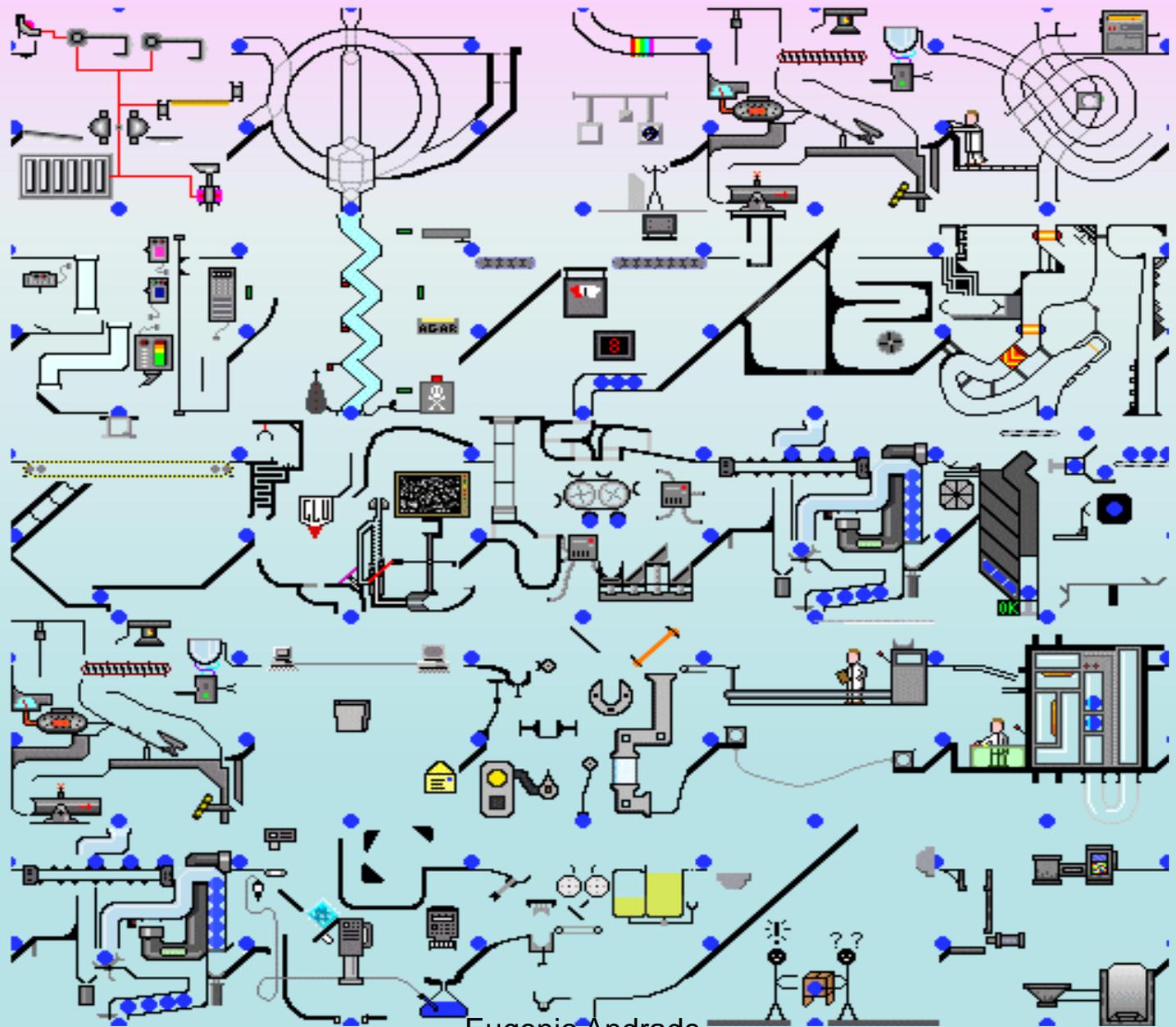
Instante presente

Futuro





Eugenio Andrade



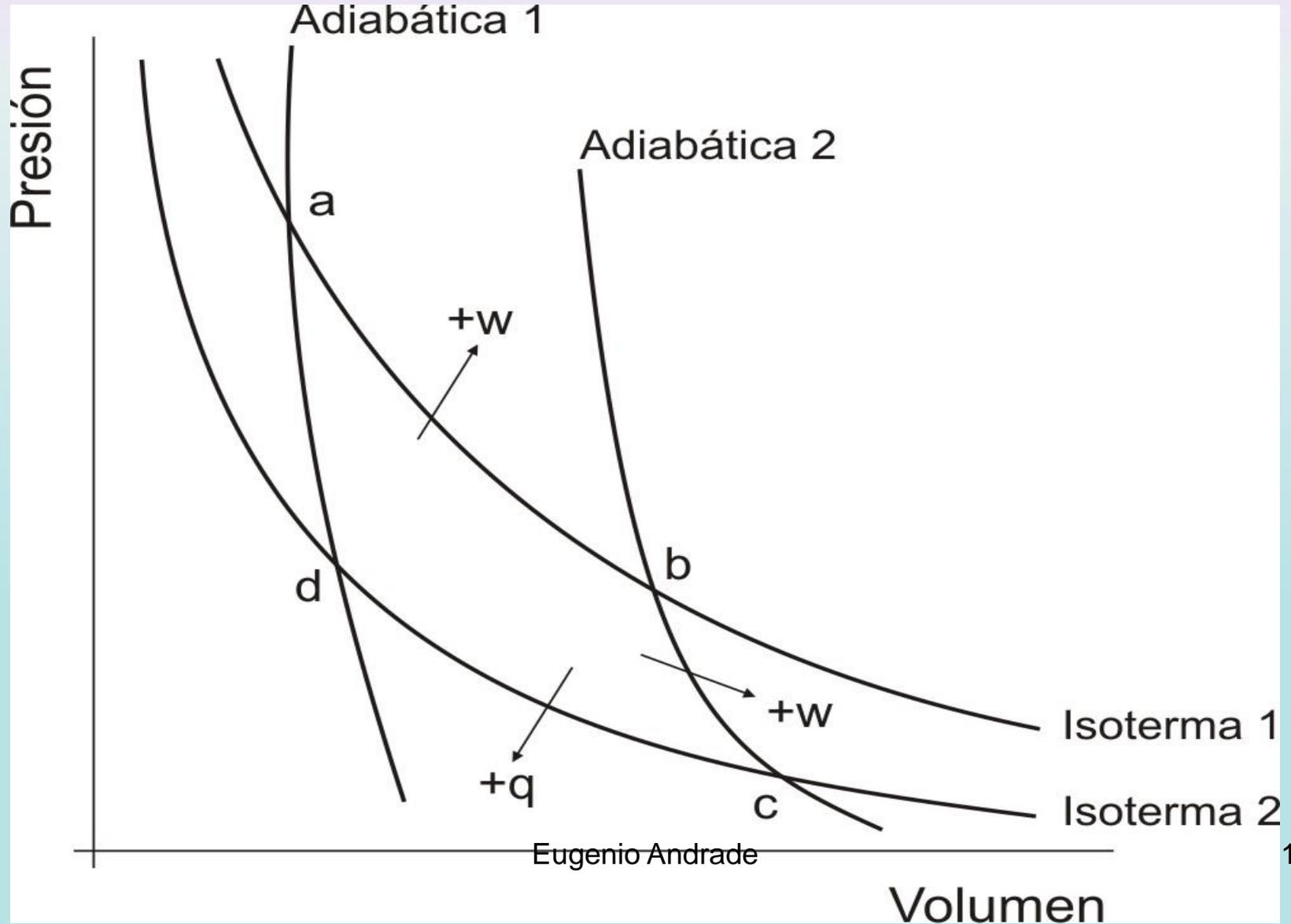
Eugenio Andrade

Máquina térmica

Gradiente térmico \Rightarrow trabajo

- “Donde quiera que exista una diferencia de temperatura, donde quiera que pueda restablecerse el equilibrio calórico, puede producirse también potencia motriz. El vapor de agua es un medio de realizar esta potencia, pero no el único; todos son susceptibles de cambios de volumen, de contracciones y dilataciones sucesivas por las alternaciones de calor y frío; todos son capaces de vencer, en sus cambios de volumen, cierta resistencias y desarrollar así su potencia motriz”
- (Carnot citado por Césarman, 1997, p.43).

Máquina de Carnot



R. Clausius 1865

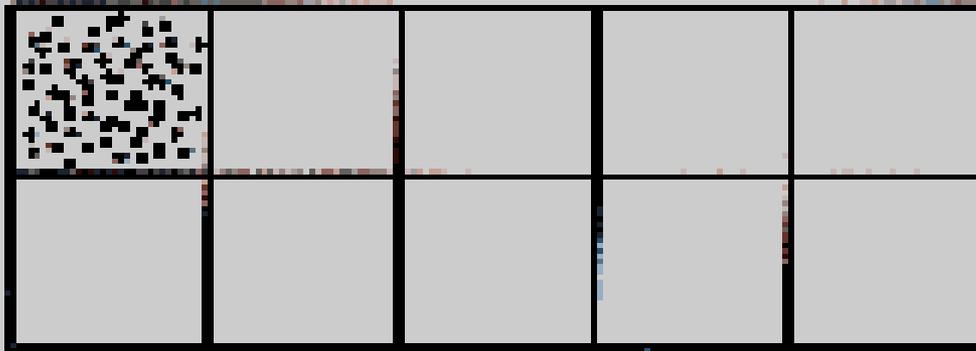
“La entropía del universo tiende hacia un valor máximo”

- Todos los procesos naturales generan entropía,
 $dS \geq dQ/T$,
- **Q** = cantidad de calor transferido
- **S** = entropía o cantidad de energía disipada, no aprovechable
- **T** = temperatura absoluta.

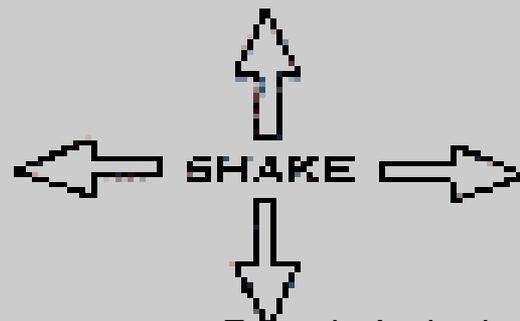
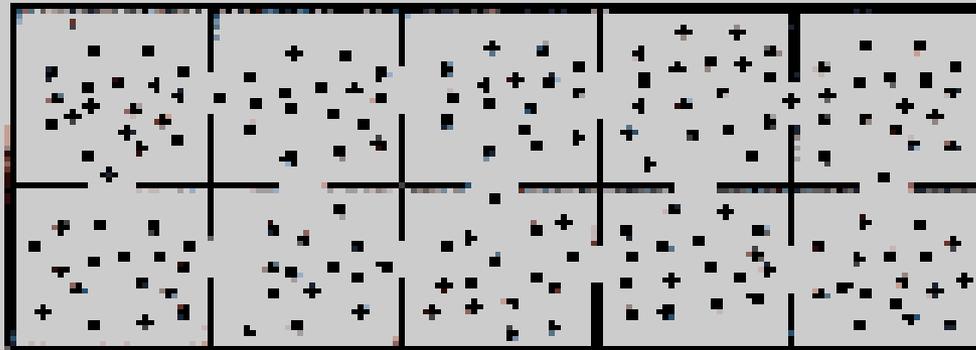
- **$\Delta S_{total} = \Delta S_{exterior} + \Delta S_{interior} > 0$;**
- Si, **$\Delta S_{interior} > 0$,**
- Entonces **$\Delta S_{interior} > \Delta S_{exterior}$**

Ludwig Boltzmann (1844-1906)

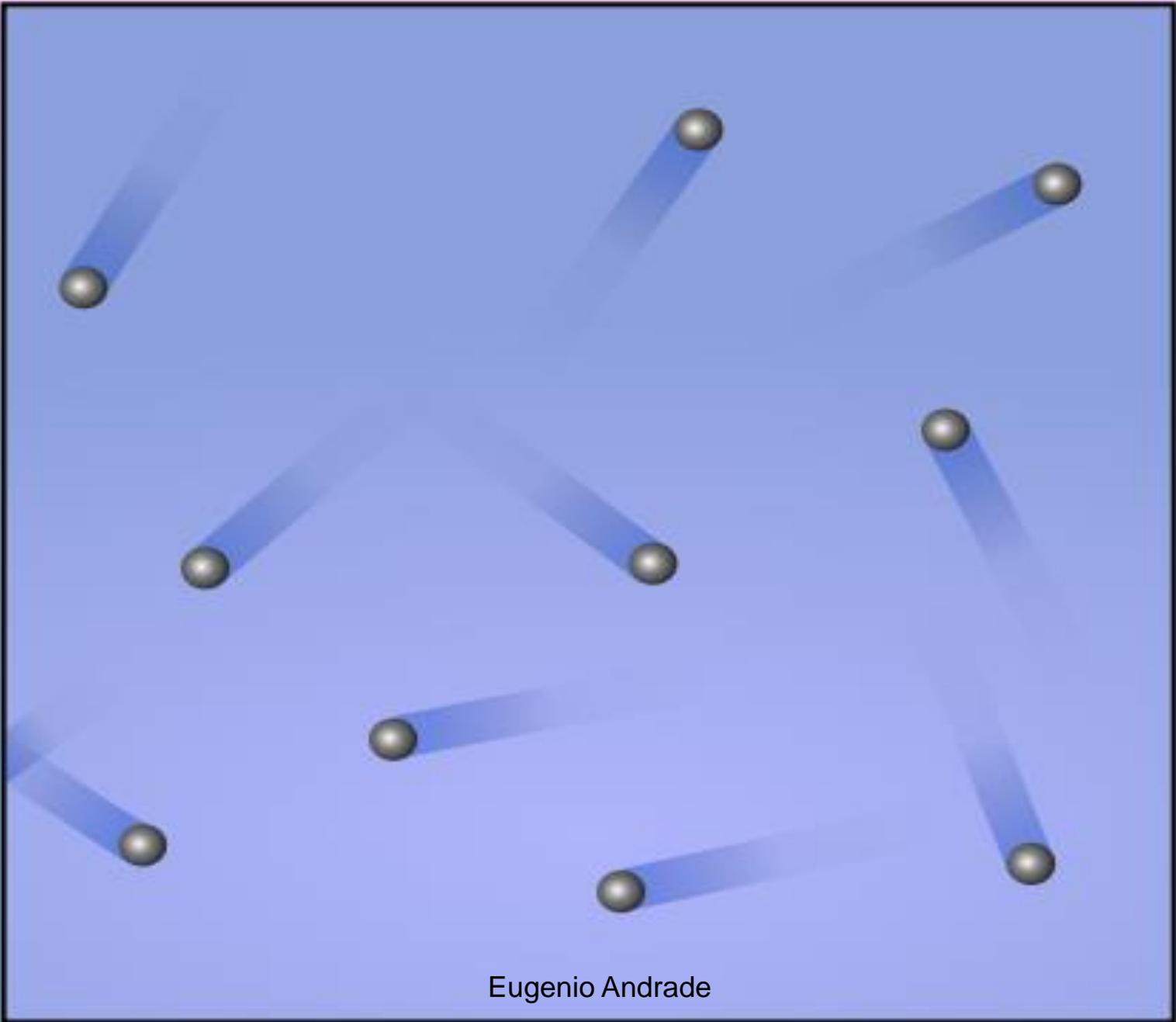
- 1. Restringe las transformaciones entre calor (Q) y trabajo (W).
- 2. Incremento de desorden en el universo (tendencia a adoptar los estados más probables).
- Transformaciones:
 - A) Irreversibles (entropía aumenta)
 - B) Reversibles (entropía constante)



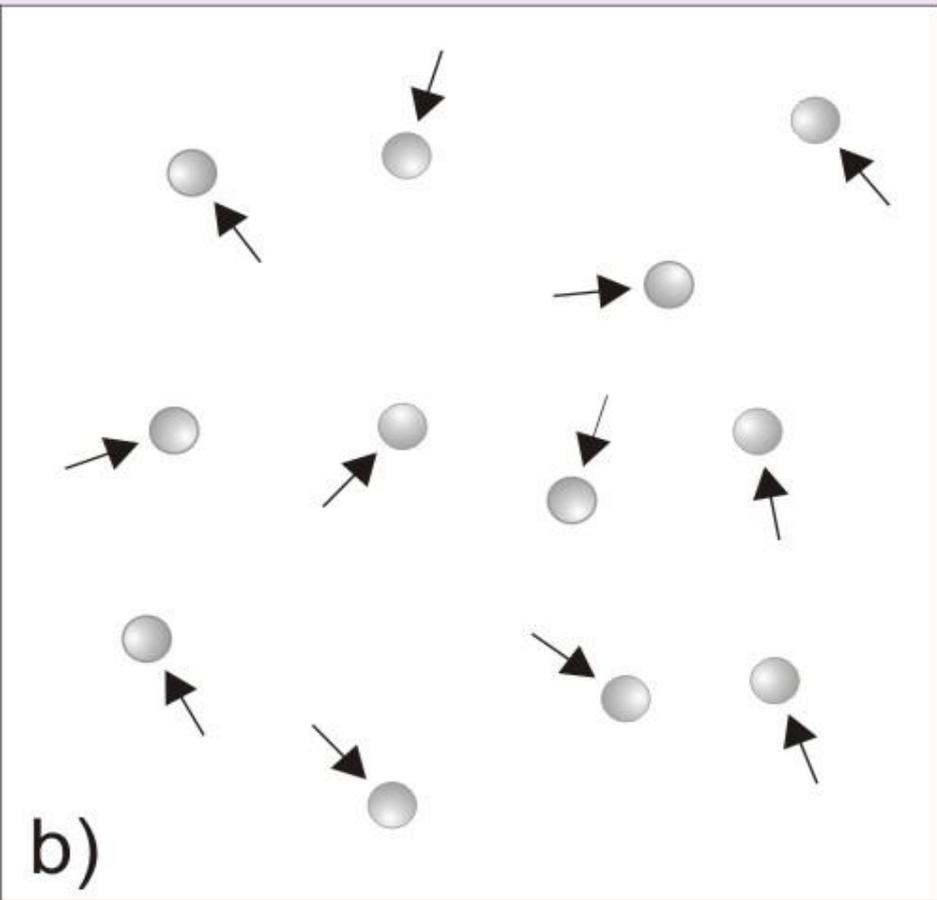
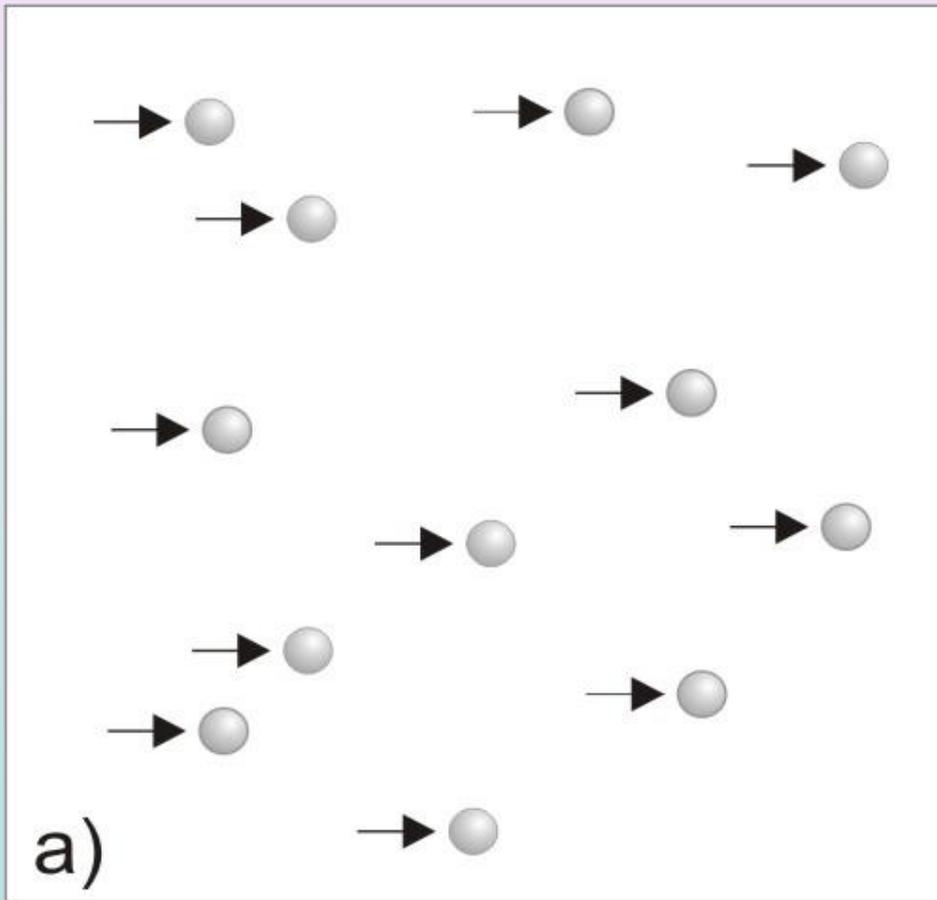
STATIC



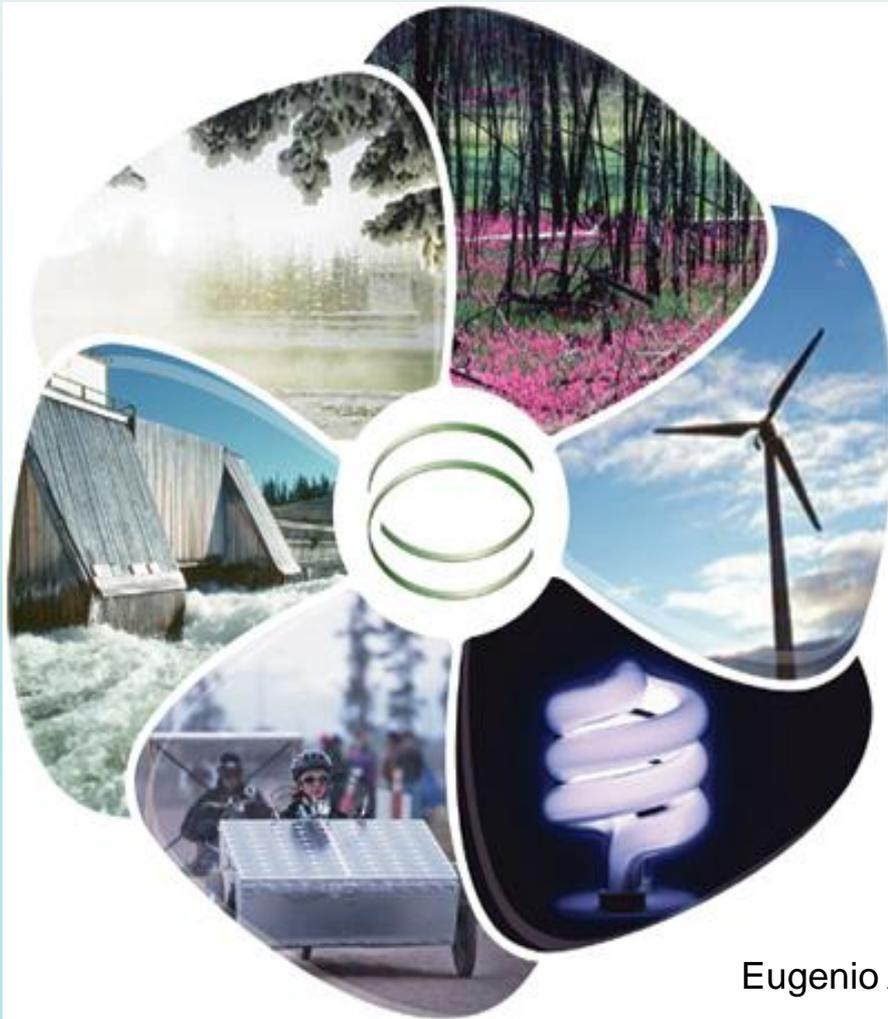
Eugenio Andrade



Eugenio Andrade



Aprovechamiento de la energía



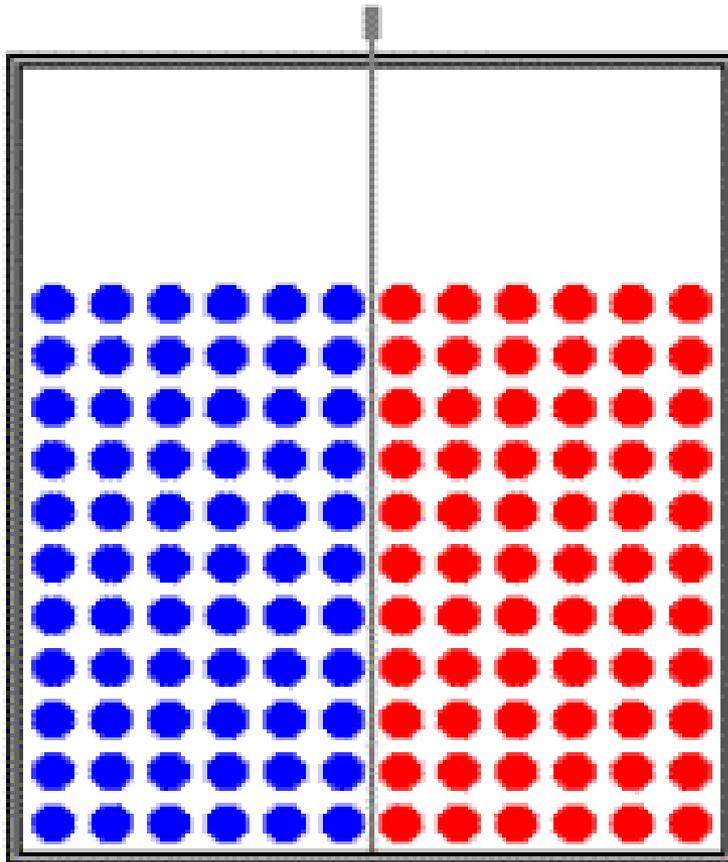
Ludwig Boltzmann

El movimiento azaroso de los átomos (microscópico) explica la regularidad estadística macroscópica y el tiempo.

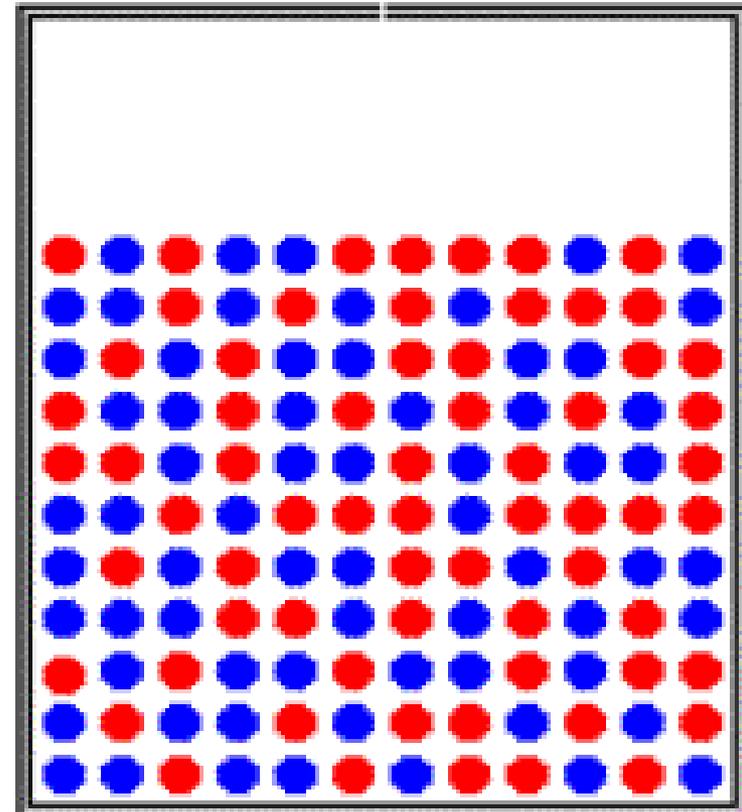
Reconcilia la mecánica (simetría temporal, **reversibilidad**), con el flujo temporal, **irreversibilidad**.

El tiempo es ir de los estados menos probables (pasado) a los más probables (futuro).

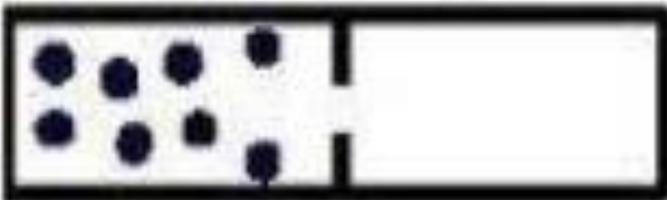
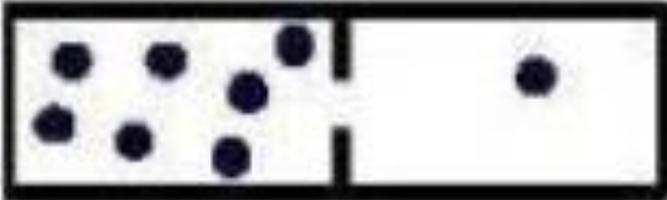
ENTROPY

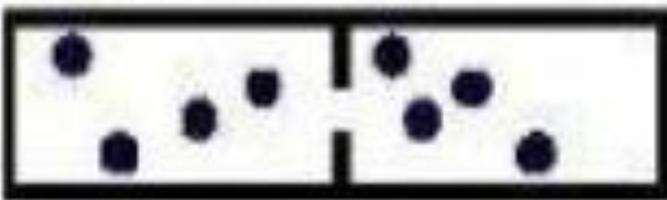


box with colored balls &
removeable partition



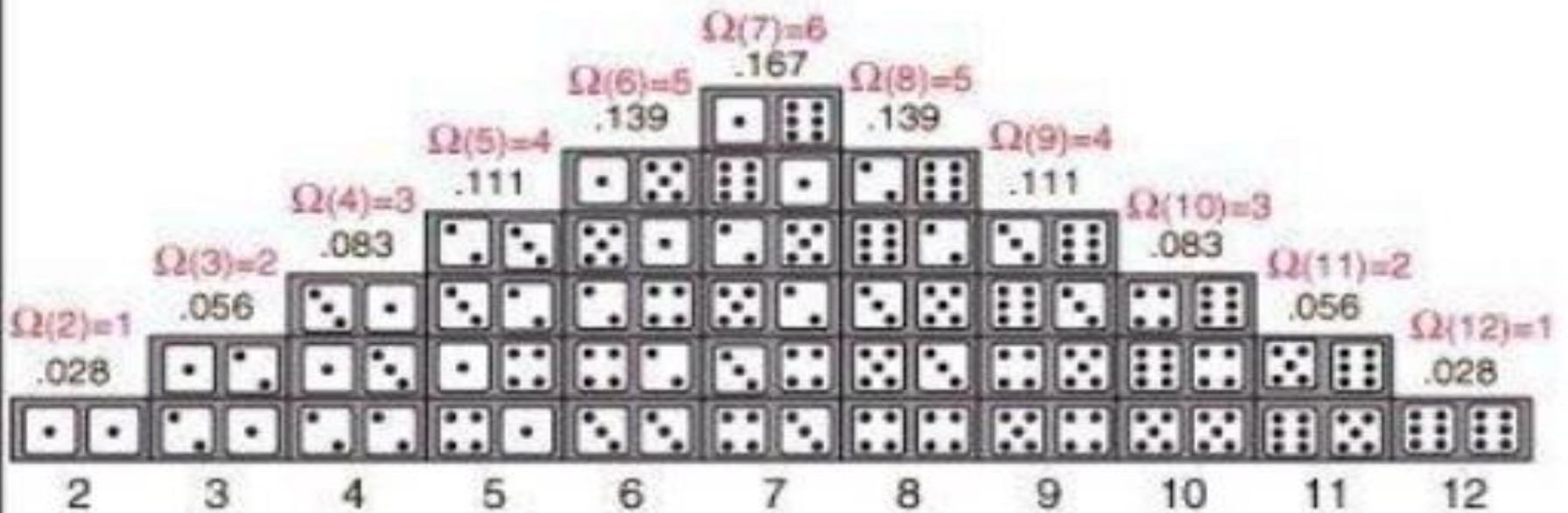
partition is removed
& box shaken

n	8-n	Arrangements = $8!/n!(8-n)! = \Omega$
		One Arrangement only (highest order)
		8 Different Arrangements
		28 Different Arrangements

		70 Different Arrangements (maximum disorder)

a. Arrangements of 8 Particles in 2 Boxes

Eugenio Andrade



Total number of microstates: 36

Total number of macrostates: 11

Probability = $\Omega / \#$ of microstates

Multiplicity (Arrangements) = Ω , Entropy = $k \ln \Omega$

b. Multiplicity of a Pair of Dice

La constante de Boltzmann

$$K_B = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg/}^\circ\text{K}$$

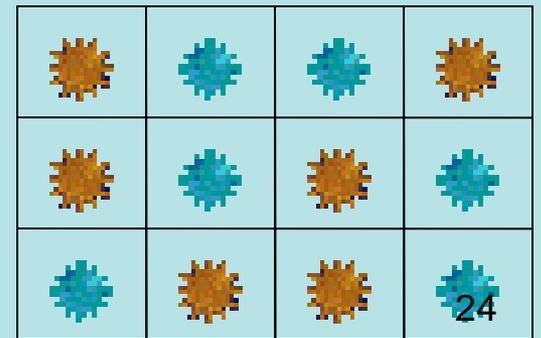
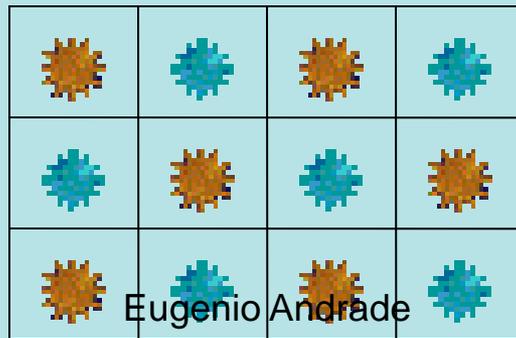
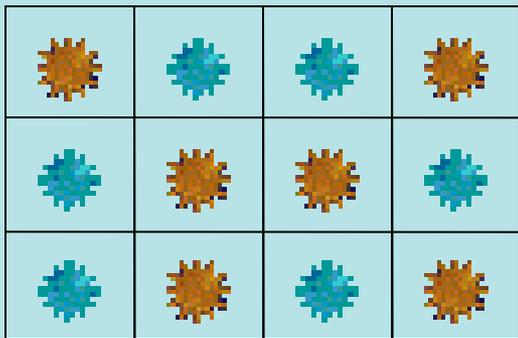
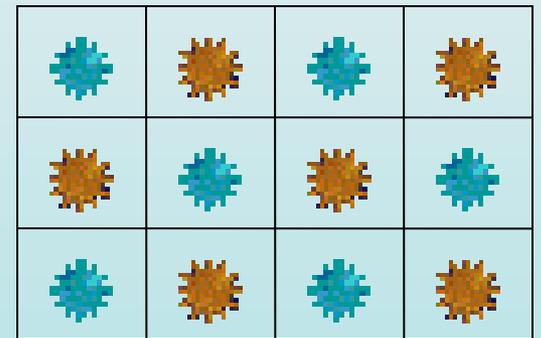
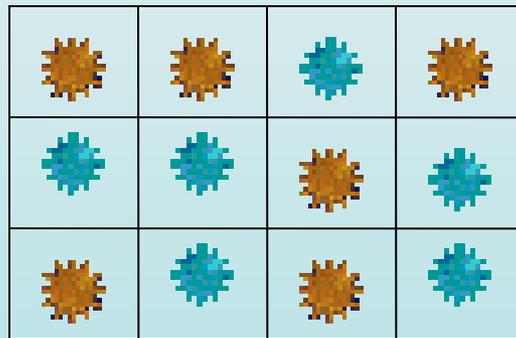
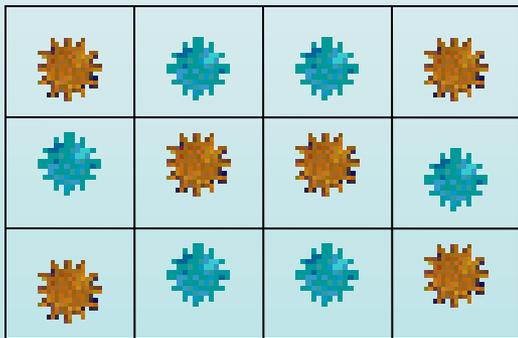
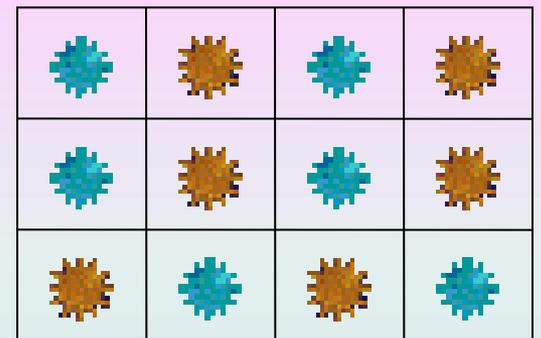
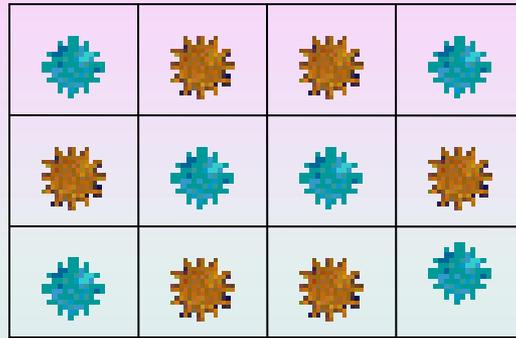
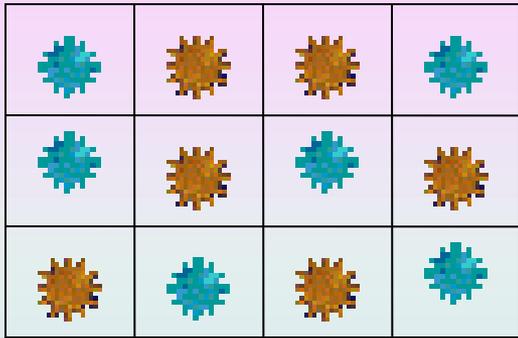
Entropía: $S = k \ln P$

Correlaciona la energía cinética promedio con su temperatura y permite asignar a la entropía dimensiones de energía.

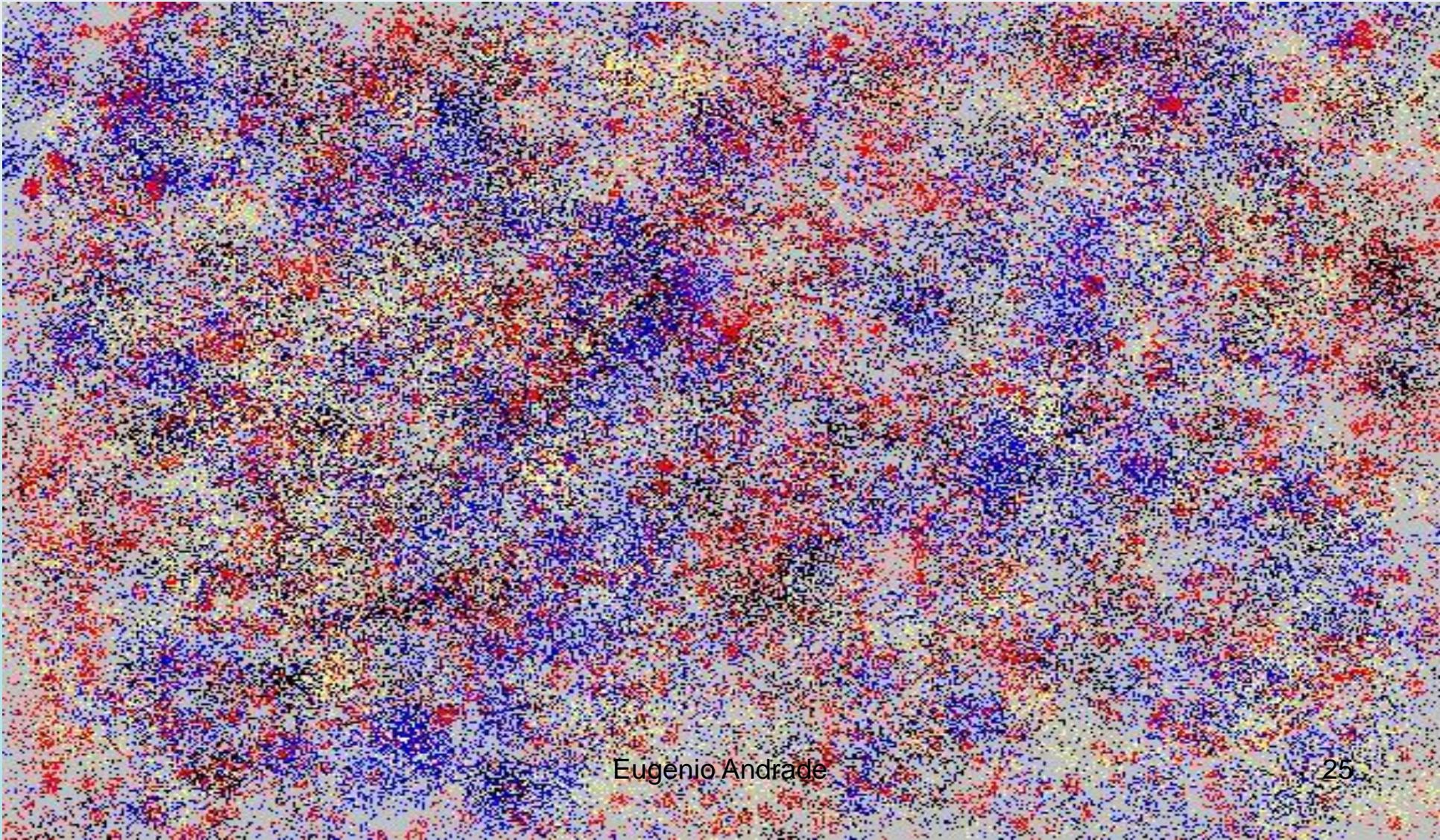
Si hay n moléculas de gas, hay $2n$ maneras de distribuirse en las 2 cámaras.

\ln es el logaritmo natural ($= 2.303 \text{Log}10$).

P es el número de microestados.

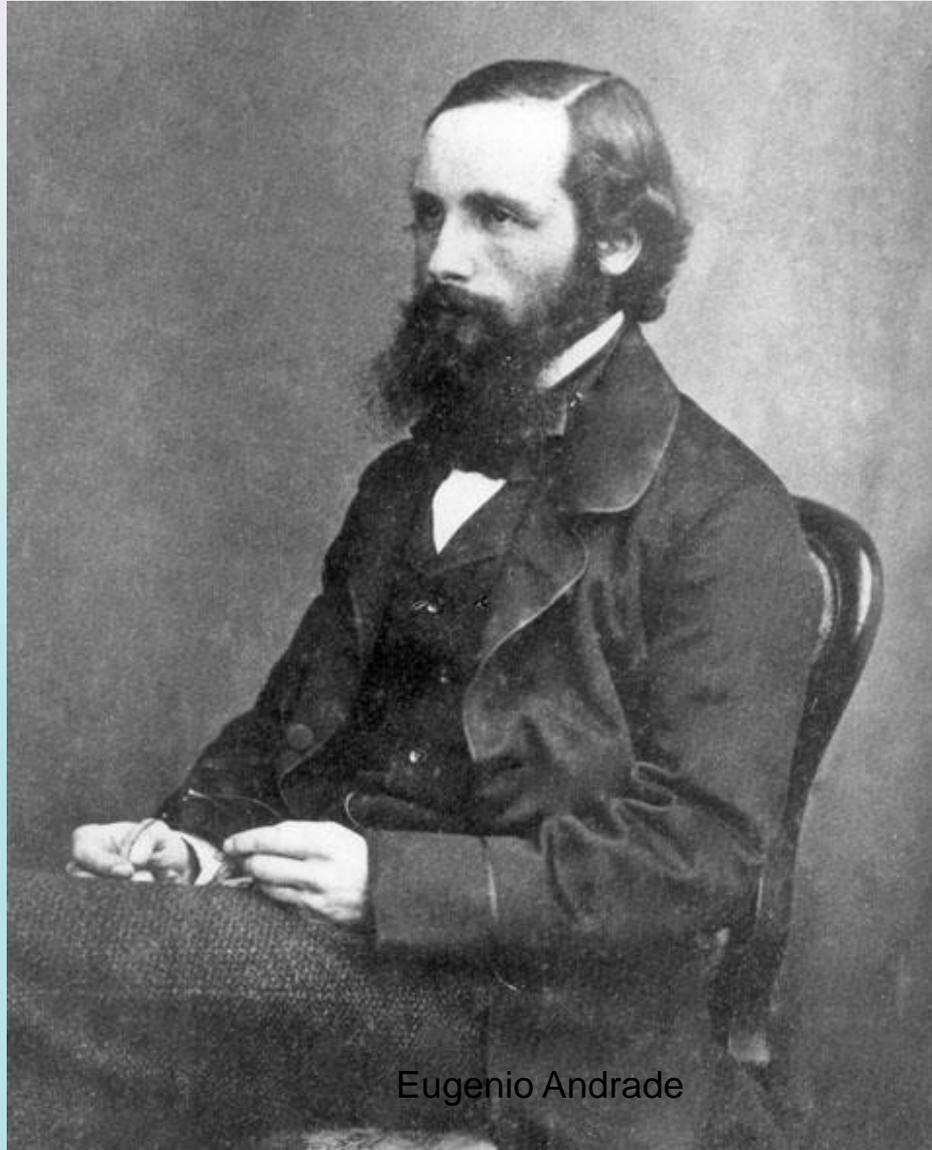


John Rants » Entropy and Life. johnrants.com - 579 × 417 - An example of Entropy (Chaos): Same colors, but mixed up randomly. It is disordered.



- “The general struggle for existence of animate beings is ... a struggle for entropy, which becomes available through the transitions of energy from the hot sun to the cold earth. In order to exploit this transition as much as possible, plants spread their immense surface of leaves and force the sun’s energy, before it falls to the earth’s temperature, to perform in ways yet unexplored certain chemical synthesis of which no one in our laboratories has so far the least idea. The products of this chemical kitchen constitute the object of struggle of the animal world”.
- (Boltzmann, 1886, en Schneider & Sagan 2005, p. 60).

James Clerk Maxwell (1831-1879)



Eugenio Andrade

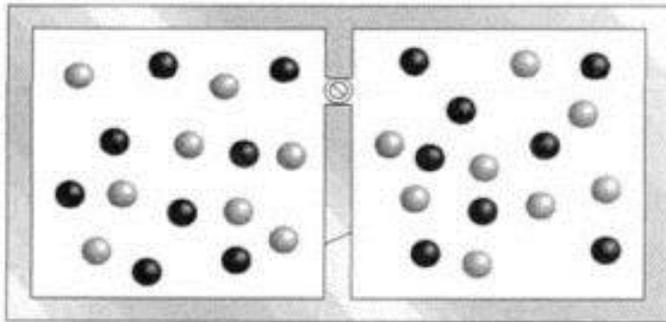
El “demonio” de Maxwell

1. Distinción entre MICRO (comportamientos estables de las moléculas individuales) y MACRO (comportamiento inestable de los agregados de moléculas).
2. Carácter estadístico de la segunda ley. Si fuera posible trabajar con sistemas de una o muy pocas moléculas, la segunda ley podría fallar.

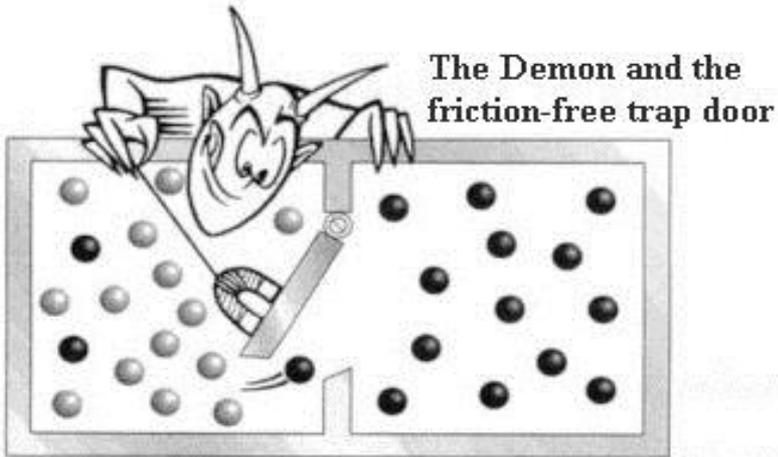
Carta a Peter Tait 1867

J.C. Maxwell (Theory of Heat 1871)

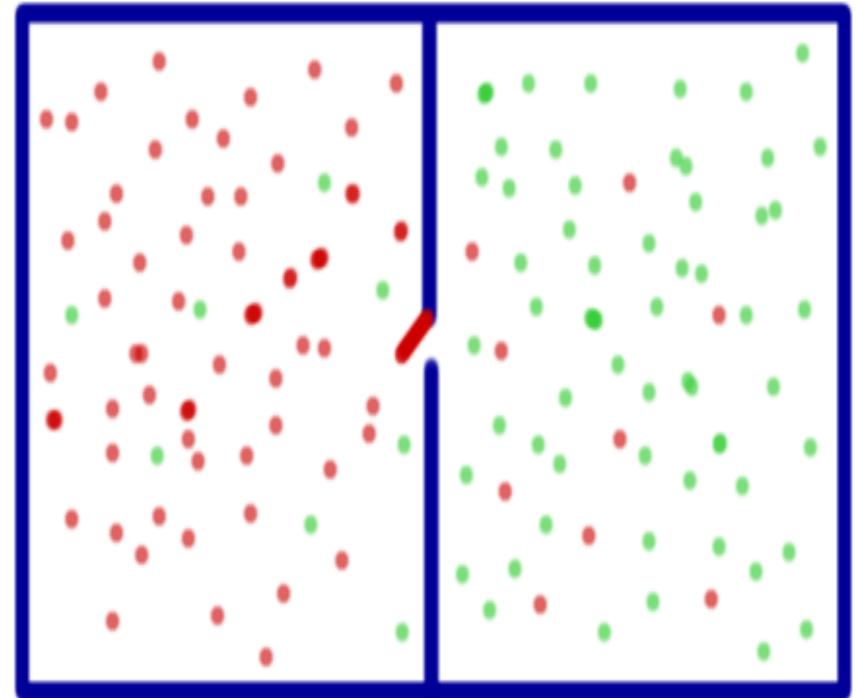
Propuesta de experimento pensado para mostrar que la segunda ley de la termodinámica tiene una certeza estadística.

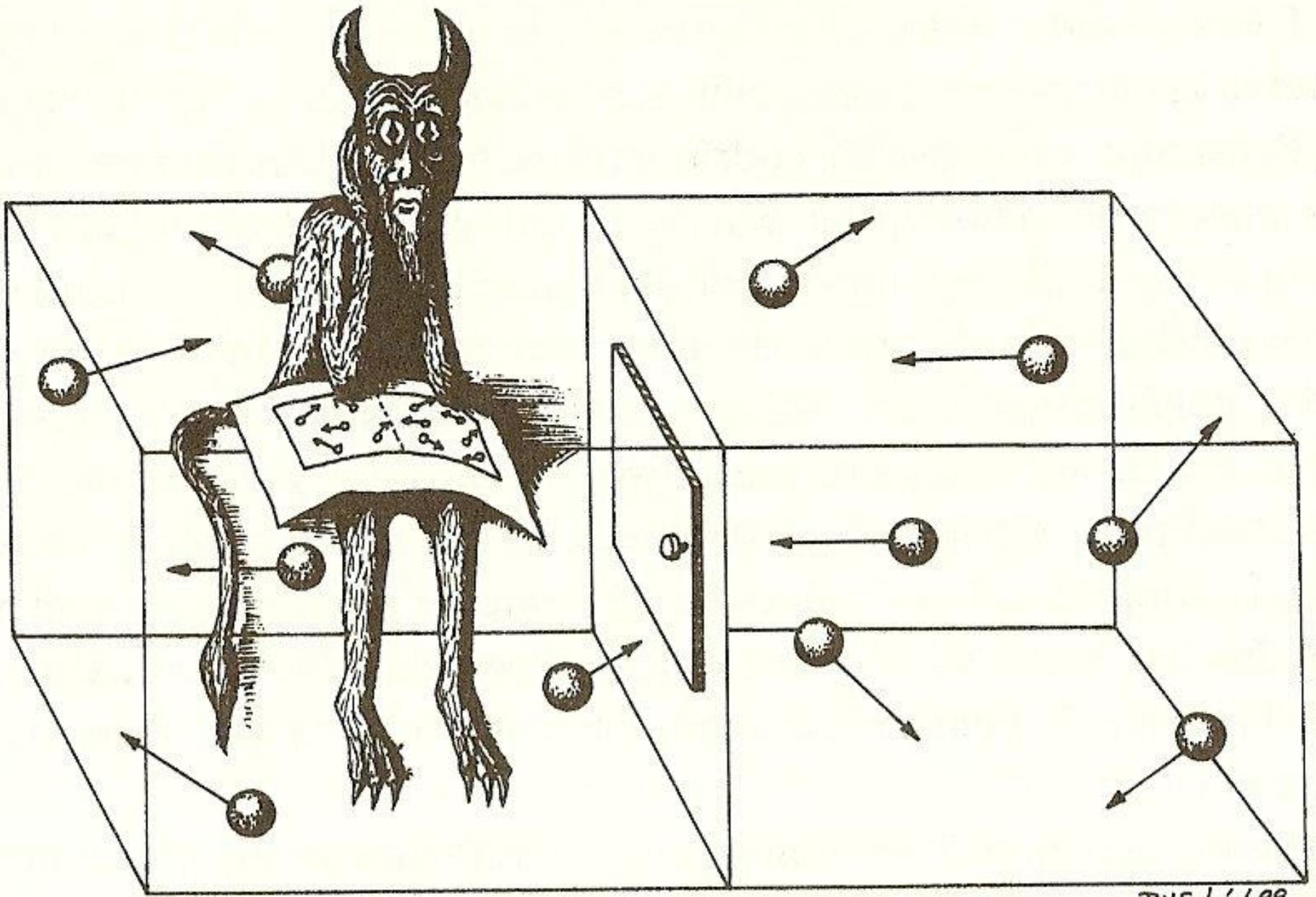


System at Equilibrium

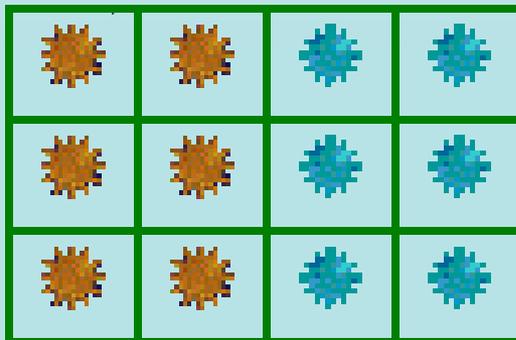
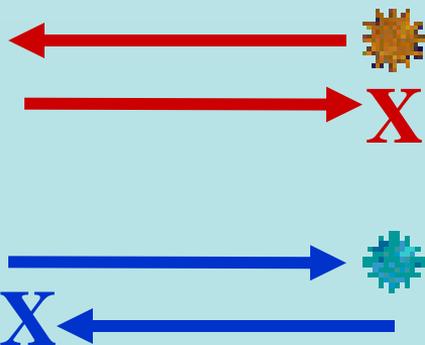
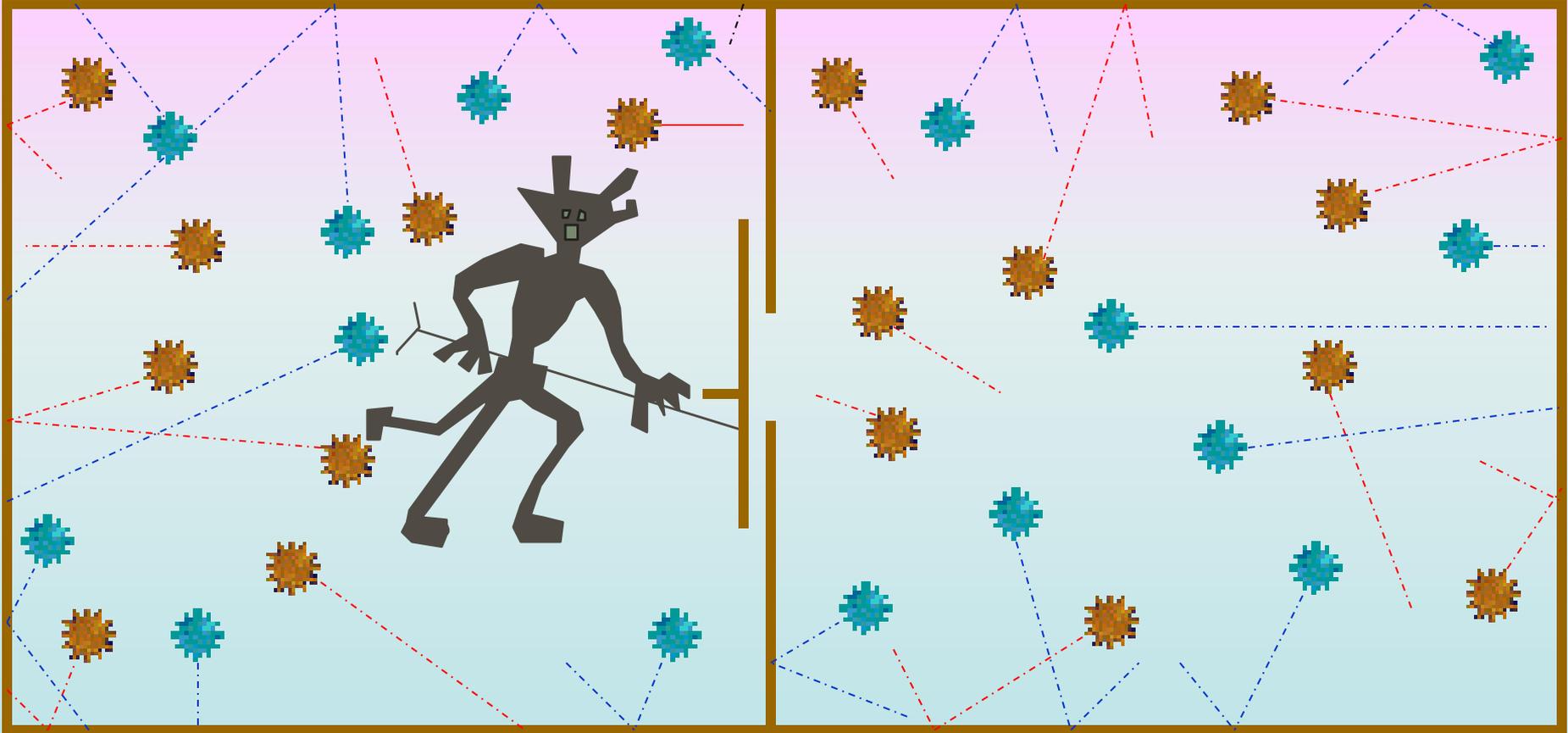


**System with Lower Entropy
(in violation of the Second Law)**





Eugenio Andrade



CERRADO

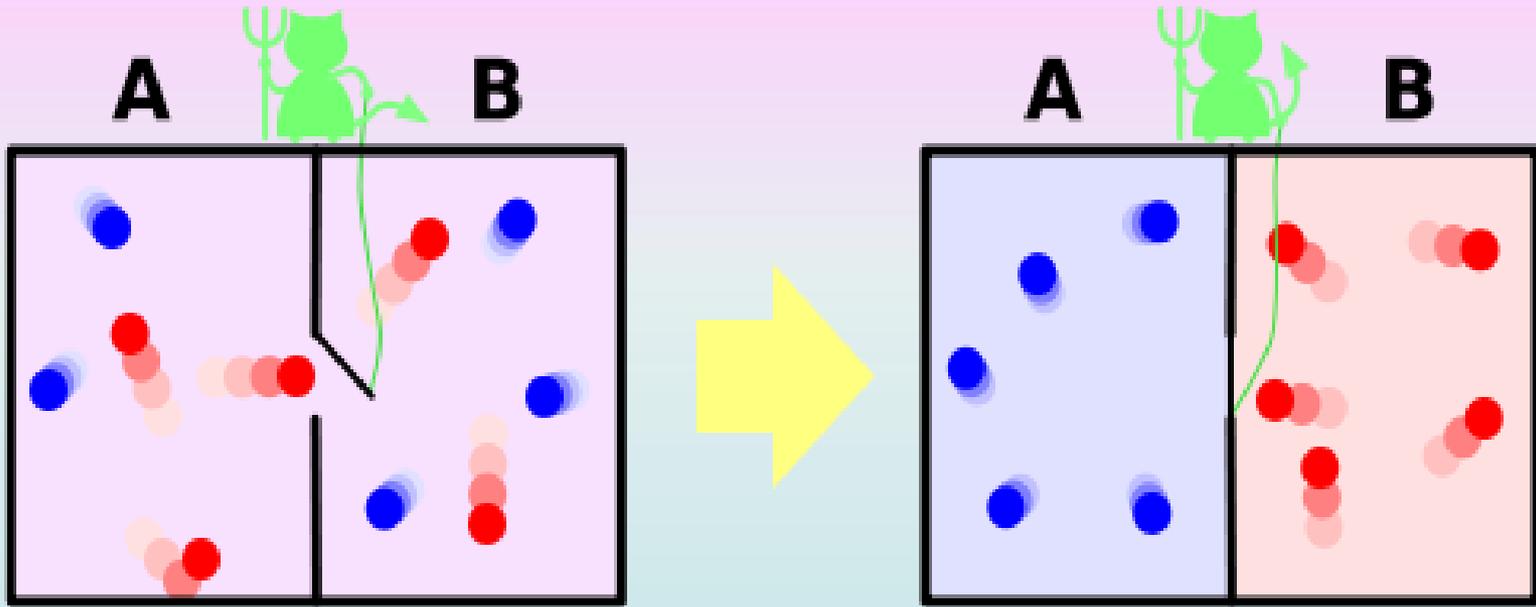
“demonio” No gasta **ENERGIA**

“demonio” {
 Ni para medir las
 partículas
 Ni para controlar el paso

Eugenio Andrade

Información

ENTROPIA



Cada vez que el “DM” escoge entre una molécula “caliente” y “fría”, extrae 1 bit de información.

El “DM” transforma entropía (ignorancia) en información.

Boltzmann y Maxwell

- Temperatura = magnitud que mide energía necesaria para registrar 1 bit de información.
- A mayor temperatura, mayor será la energía necesaria para registrar 1 bit de información; a menor temperatura menor la energía para registrar 1 bit.

Boltzmann y **Maxwell** (Lloyd 2006)

1) Entropía = información desconocida o ignorancia.

2) Información = información conocida o registrada.

“Demonio de Maxwell”: transforma **(1)** en **(2)**

¿El demonio de Maxwell viola la segunda ley?

“On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of an Intelligent Being”

Leo Szilard (1929)

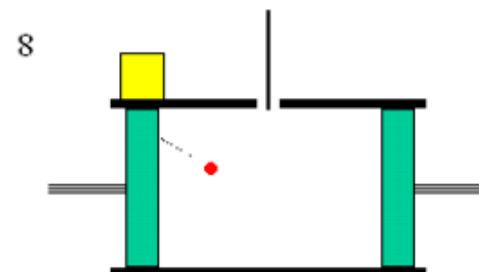
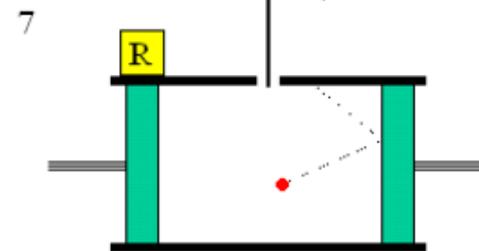
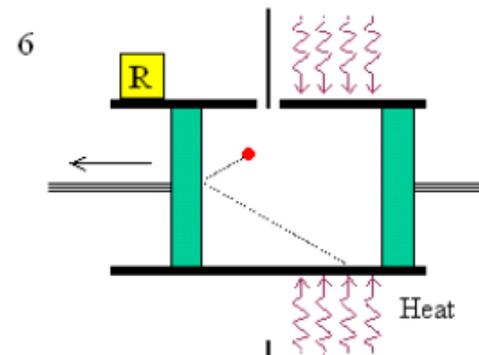
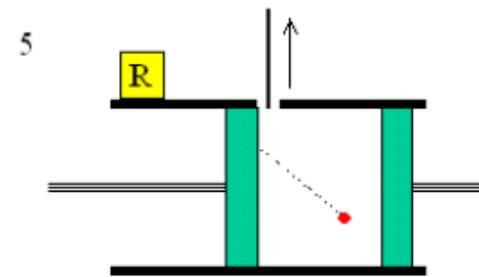
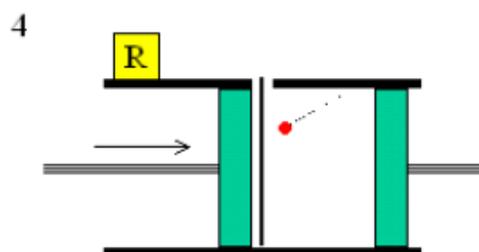
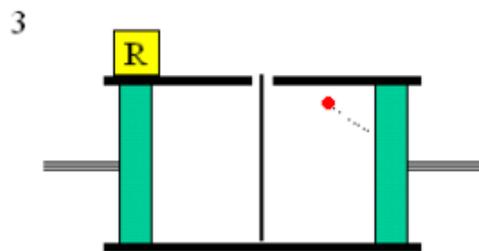
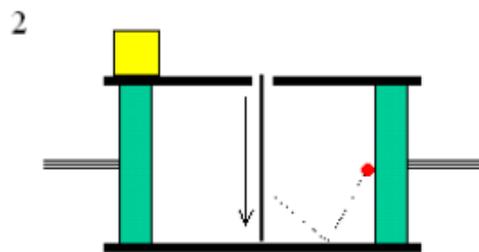
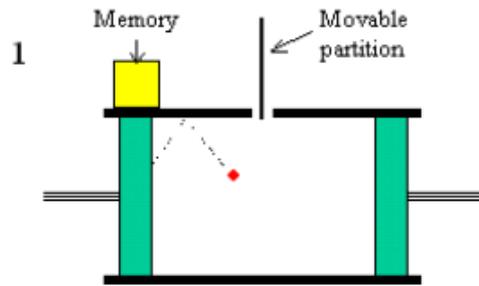
Información = Energía

- La cantidad de energía aprovechable que se puede obtener a partir de 1 bit de información.

$$\mathbf{W = KT \ln 2 = K_B T}$$

- El **W** realizado por el sistema durante la expansión debe ser pagado por un aumento de entropía equivalente, de lo contrario se violaría la segunda ley.

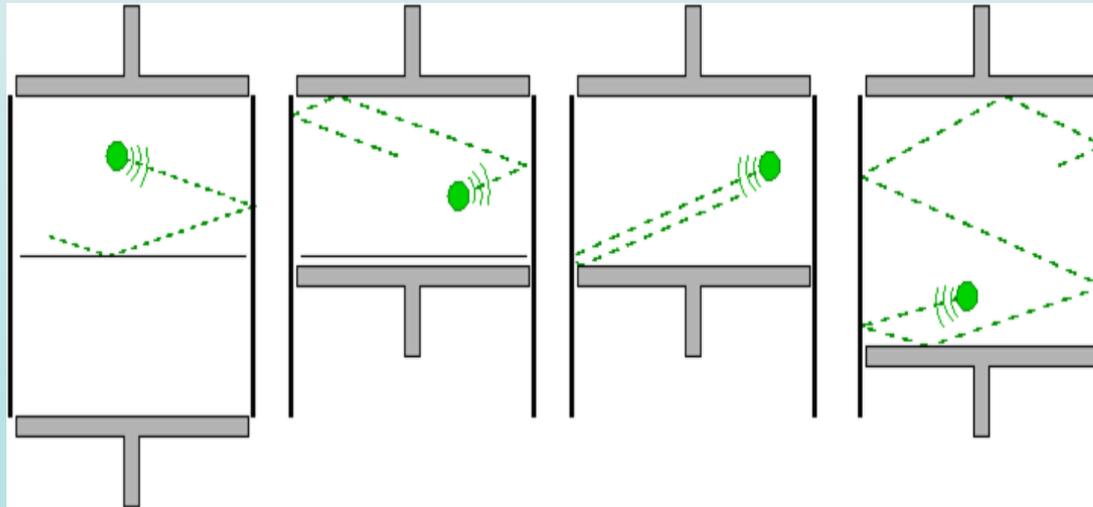
Szilard Engine (1929)



Eugenio Andrade

C.H. Bennet: Termodinámica de la Información

- **Relación profunda:**
- E térmica: $\Delta S = Q/T$
- E informacional : $S = -k_B \sum r \log r$



Extraer $k_B T$ de cada bit (si se conoce posición partícula)

C.H. Bennet: Termodinámica de la Información

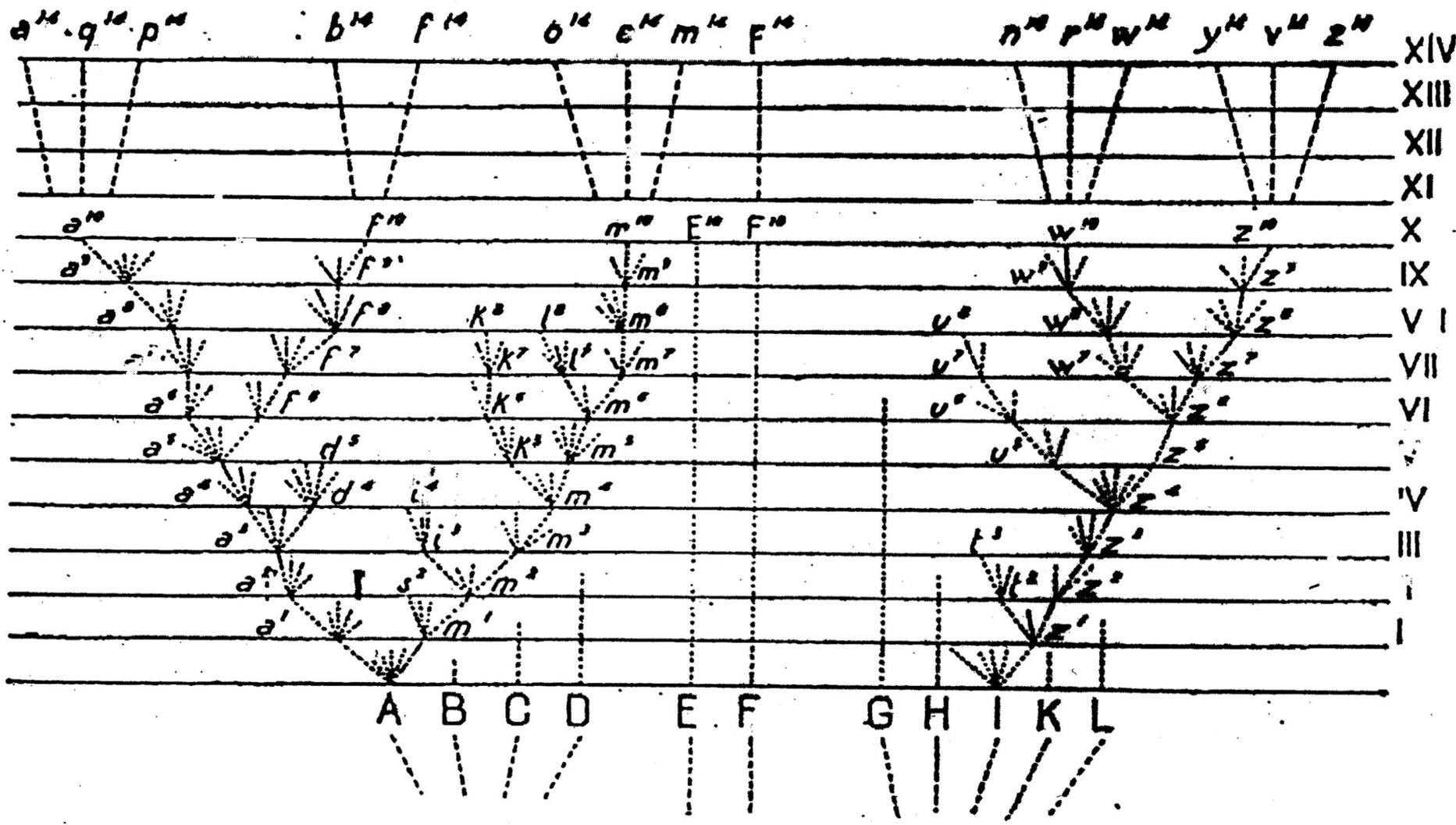
El DM no viola la segunda ley

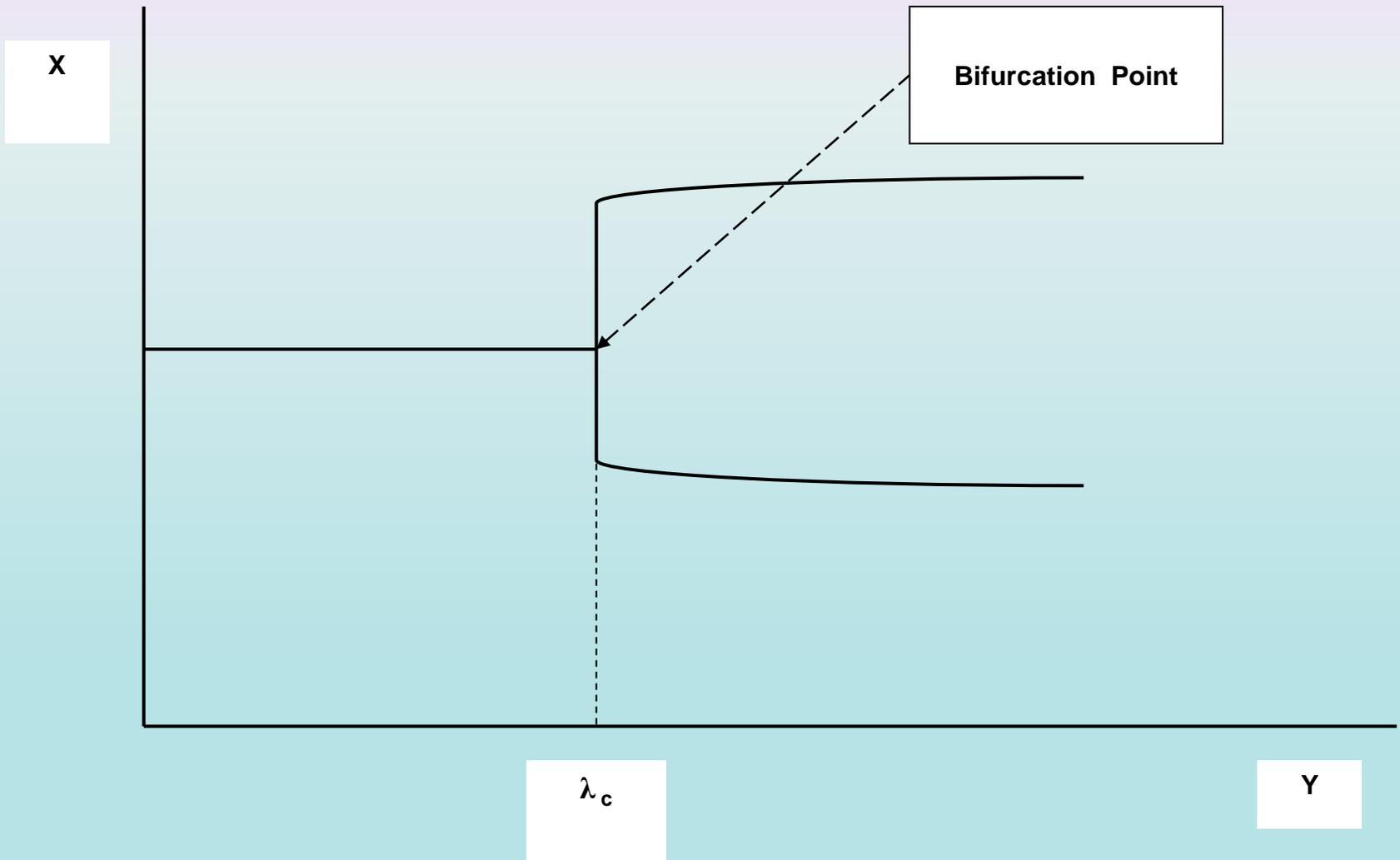
- La medición no tiene costo.
- El *resetting* (borrado) de la memoria sí tiene costo.
- El costo de borrar 1 bit es $k T \ln 2$

Indeterminismo y bifurcaciones

- “There are certain cases in which a material system, when it comes to a phase in which the particular path which it is describing coincides with the envelope of all such paths may either continue in the particular path or take to the envelope (which in these cases is also a possible path) and which course it takes is not determined by the forces of the system (which are the same for both cases) but when the bifurcation of path occurs, the system, *ipso facto*, invokes some determining principle which is extra physical (but not extra natural) to determine which of the two paths it is to follow. When it is on the enveloping path it may at any instant, at its own sweet will, without exerting any force or spending any energy, go off along that one of the particular paths which happens to coincide with the actual condition of the system at that instant” (Maxwell, [1870] 1990, p. 731).







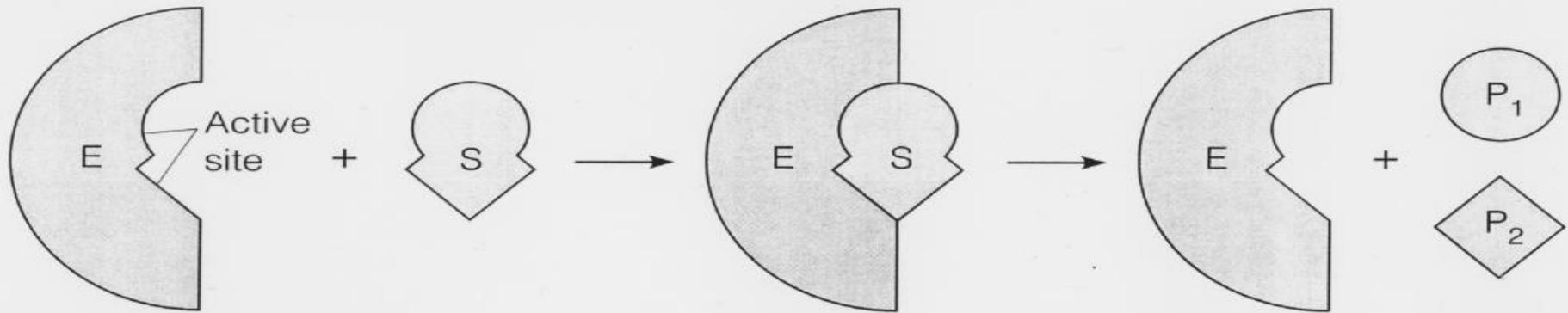
Enzimas = demonios de Maxwell

“Estos fenómenos, prodigiosos por su complejidad y su eficacia en la realización de un programa fijado de antemano, imponen evidentemente la hipótesis de que son guiados por el ejercicio de funciones de algún modo *cognitivas*. Es una función así la que Maxwell atribuyó a su demonio microscópico. ... Las enzimas, en definitiva, funcionan exactamente a la manera de un demonio de Maxwell, drenando el potencial químico en las vías escogidas por el programa del que ellos son ejecutantes”, (Monod, 1970, p. 64-65).

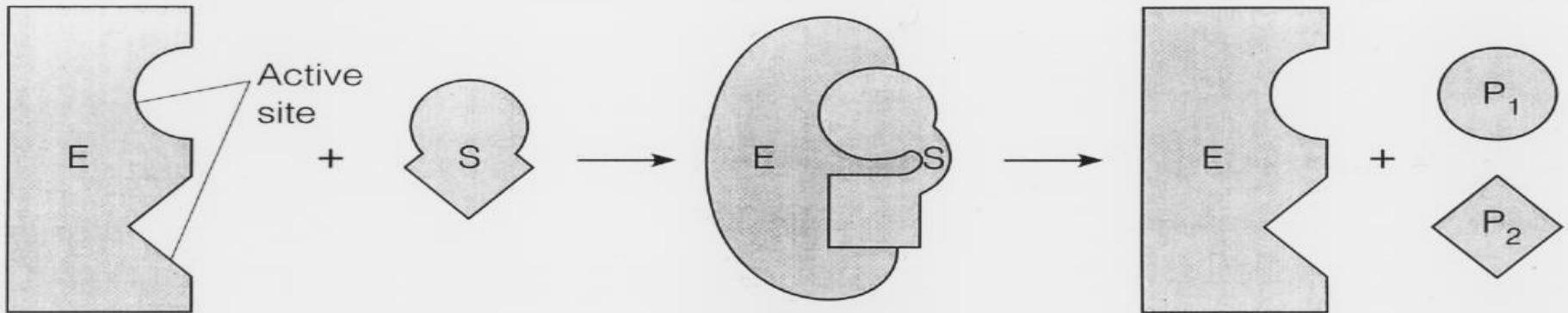


Enzimas = demonios de Maxwell (Monod 1970)

Figure 11.7 Two models for enzyme-substrate interaction



(a) Lock-and-key model

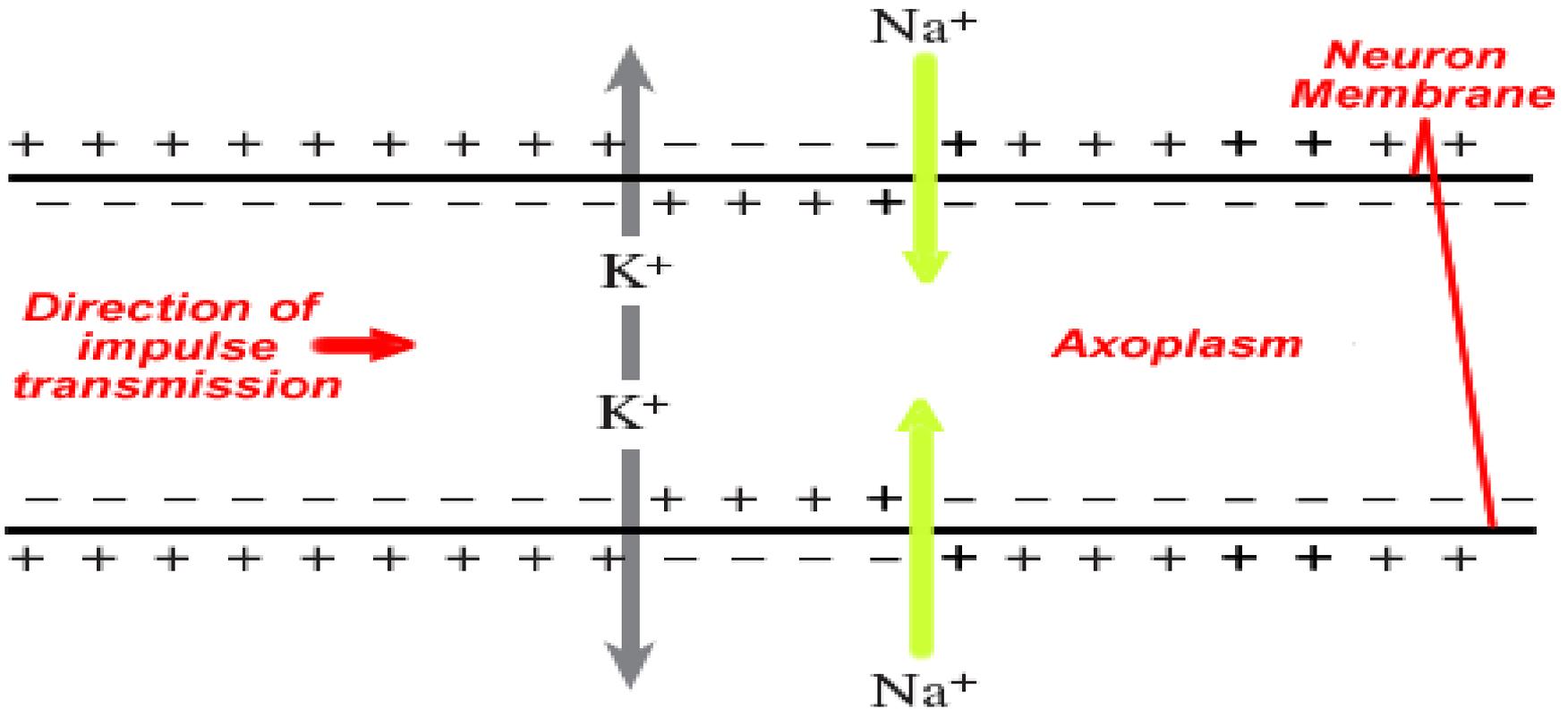


(b) Induced fit model

Transition state
conformation

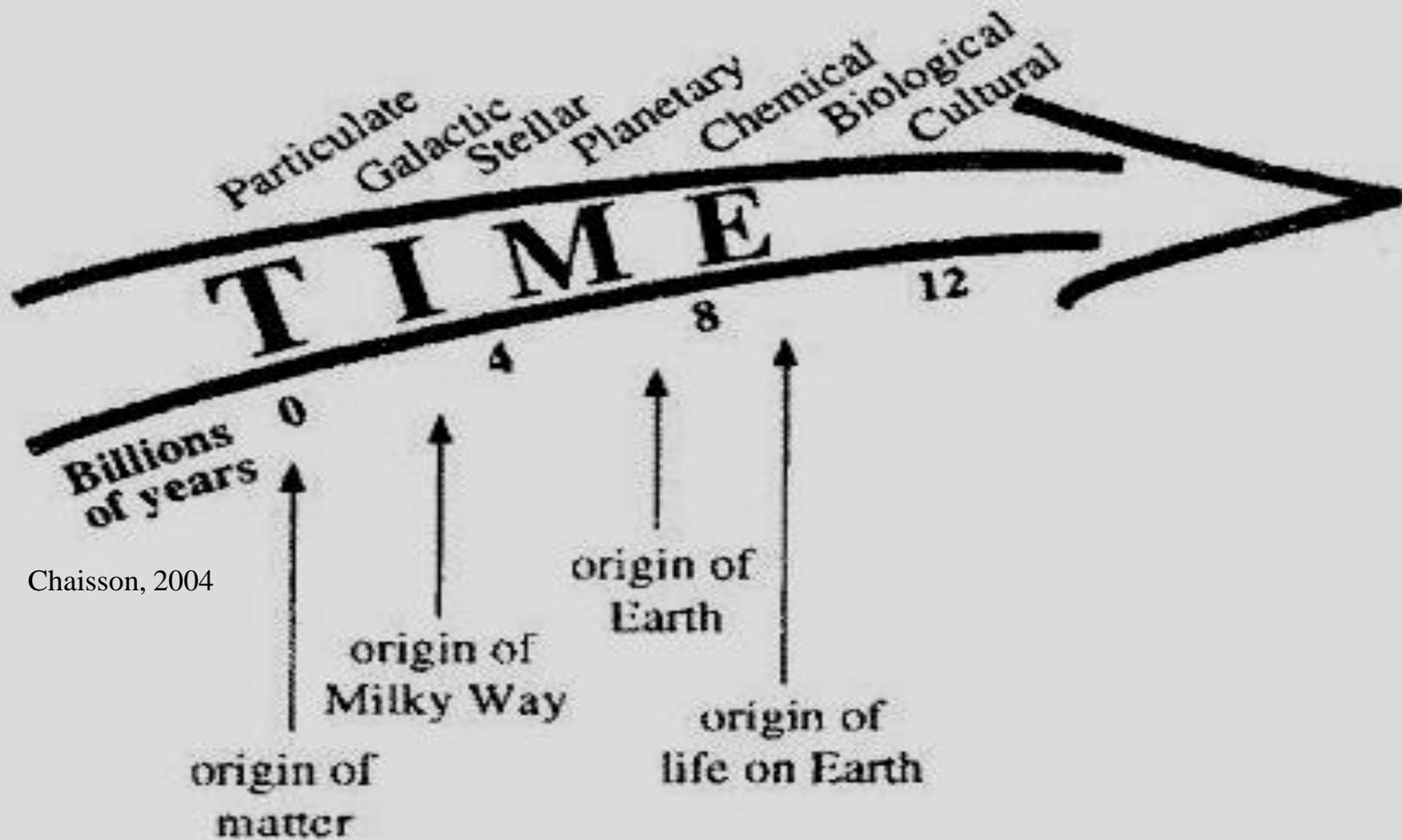
Eugenio Andrade

Transmisión impulso nervioso



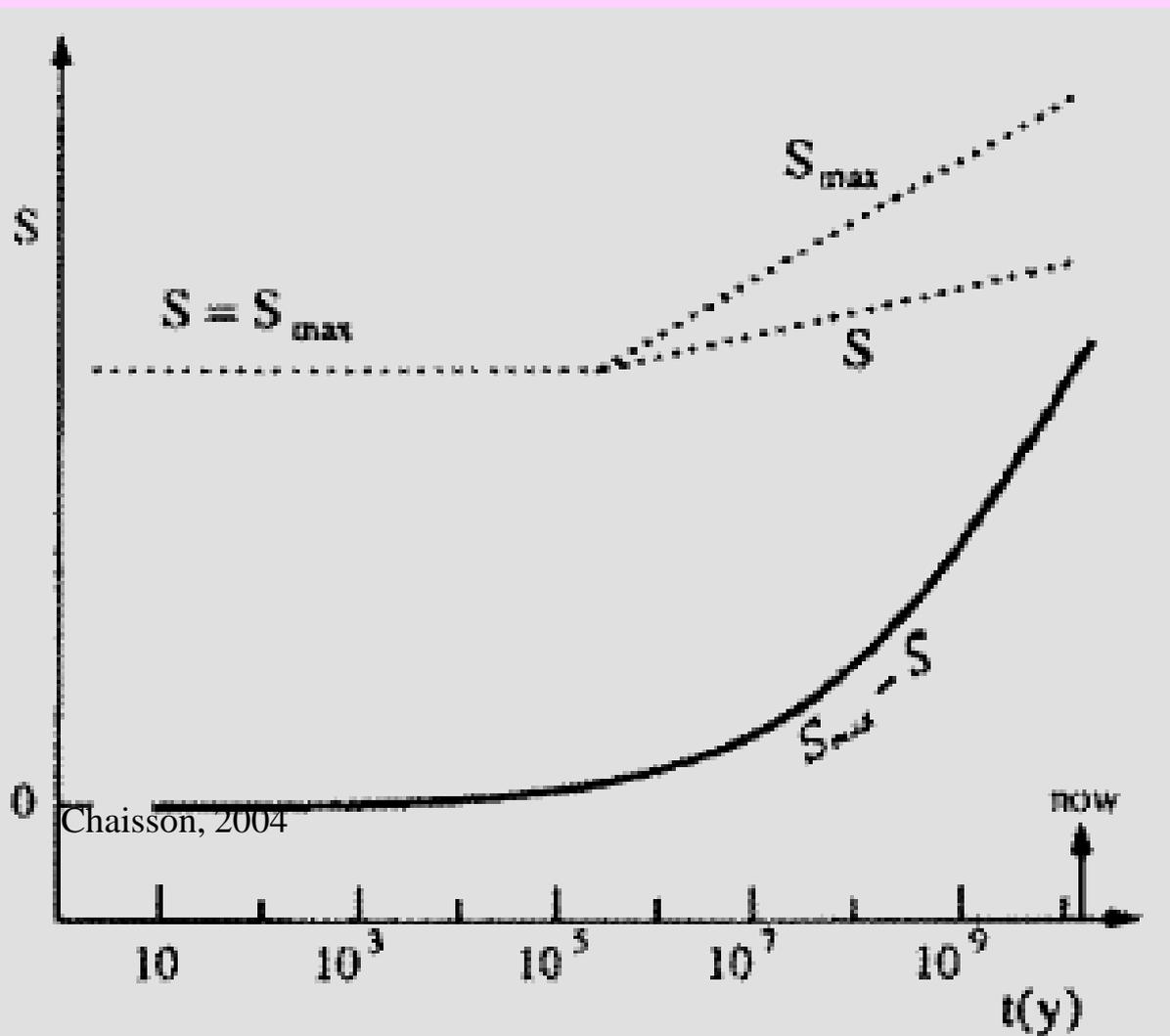
Evolución como entropía (Brooks 1980)

- La flecha del tiempo cósmico y la de la evolución biológica son una y la misma, y se manifiestan en incrementos de entropía, **información** y complejidad



Chaisson, 2004

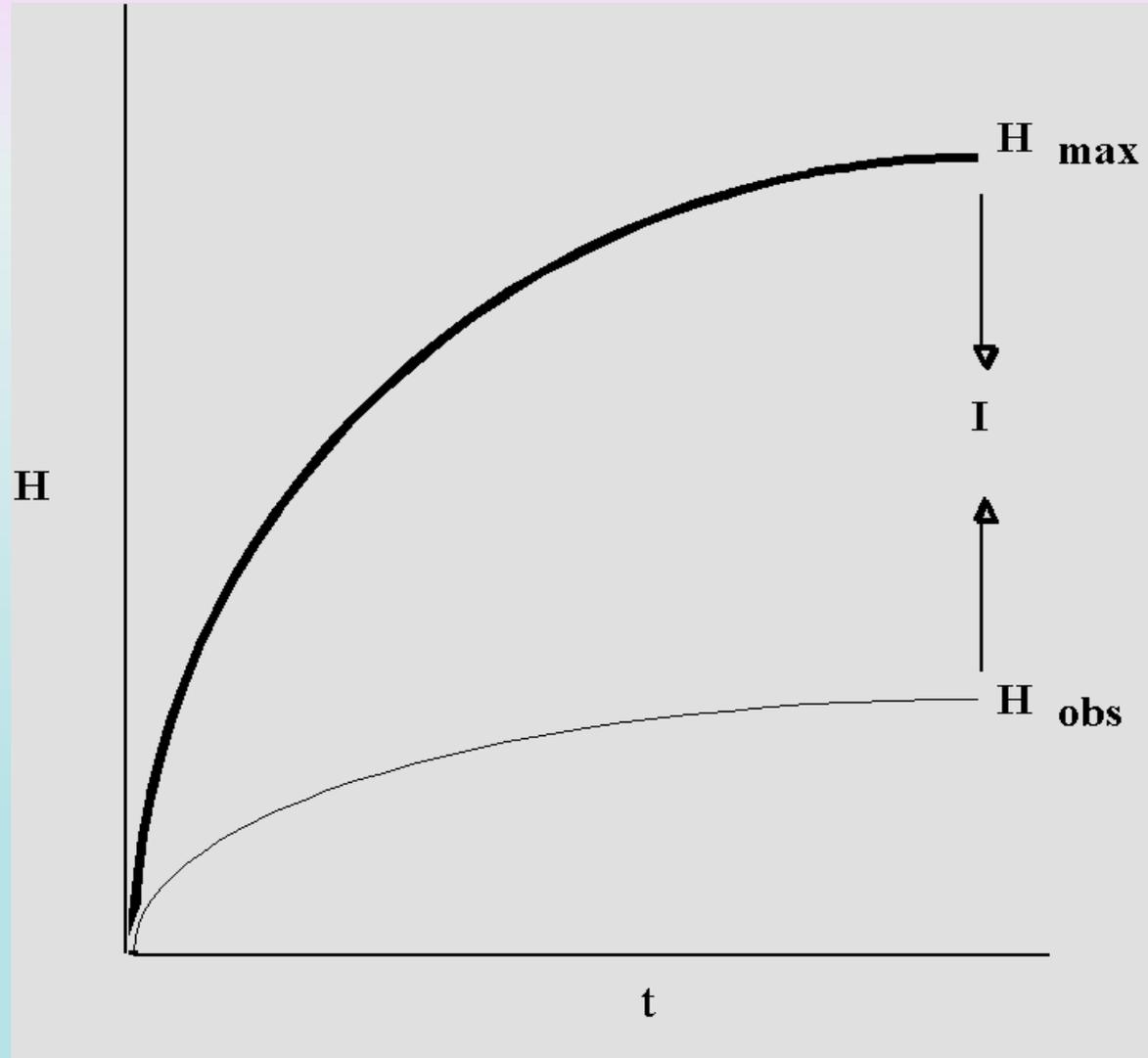
“Flecha del tiempo cósmico en el coexisten una multiplicidad de tiempos vividos”. Fases de la evolución de acuerdo al aumento de orden y complejidad. El tiempo fluye lineal e irreversiblemente.



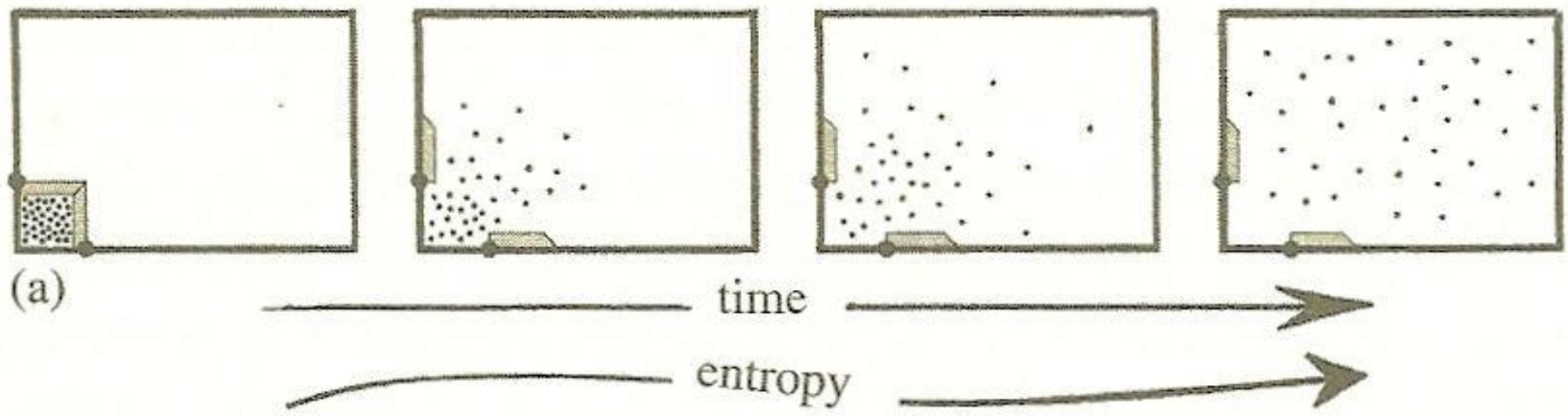
En un U. en expansión, la entropía actual (S), aumenta menos rápidamente que la entropía máxima posible (S_{max}). La simetría del equilibrio se rompió cuando la materia y la radiación se desacoplaron aprox. cien mil años después del big bang.

El potencial para el crecimiento de orden ($S_{max}-S$), ha aumentado desde el inicio de la Era de la Materia. Asimismo, la expansión del Universo es la fuente última de energía libre que promueve la evolución y aparición de orden en el cosmos.

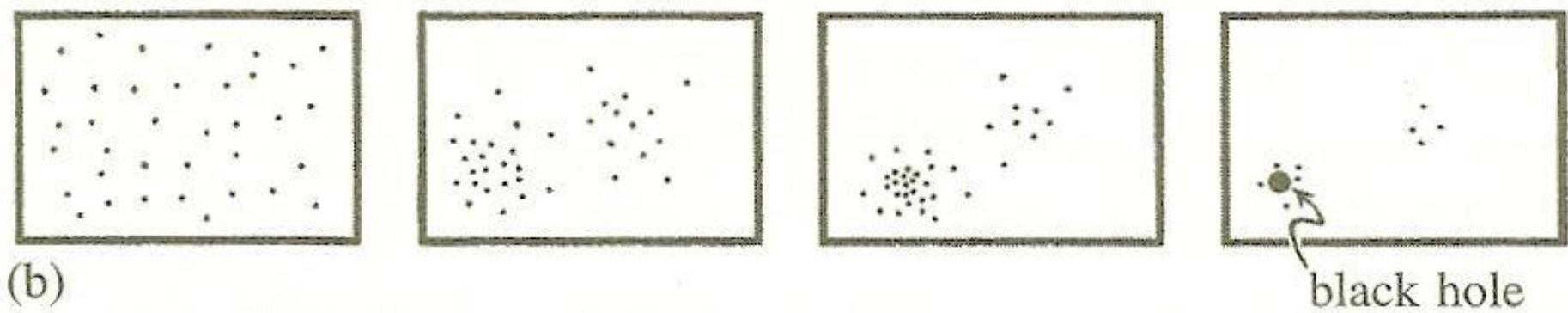
El aumento de entropía en el tiempo para un sistema en expansión alejado del equilibrio. Desde la perspectiva de un observador interno, los aumentos en entropía (H_{obs}) están rezagados con respecto a la entropía máxima alcanzable (H_{max}), o la entropía cuando todos los componentes constitutivos están aleatorizados. La diferencia ($H_{max} - H_{obs}$) es una medida de información (I)

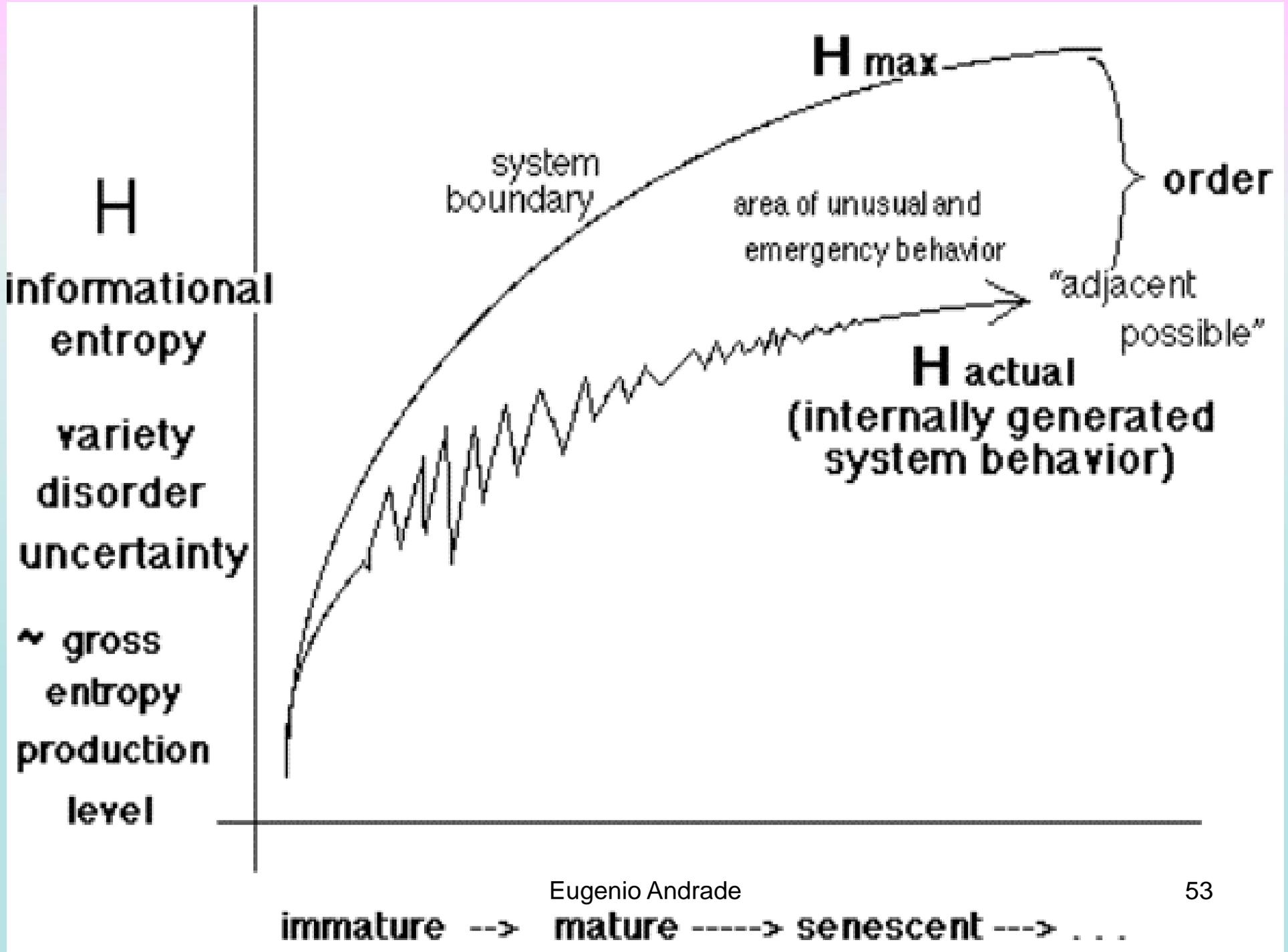


Gas in a box

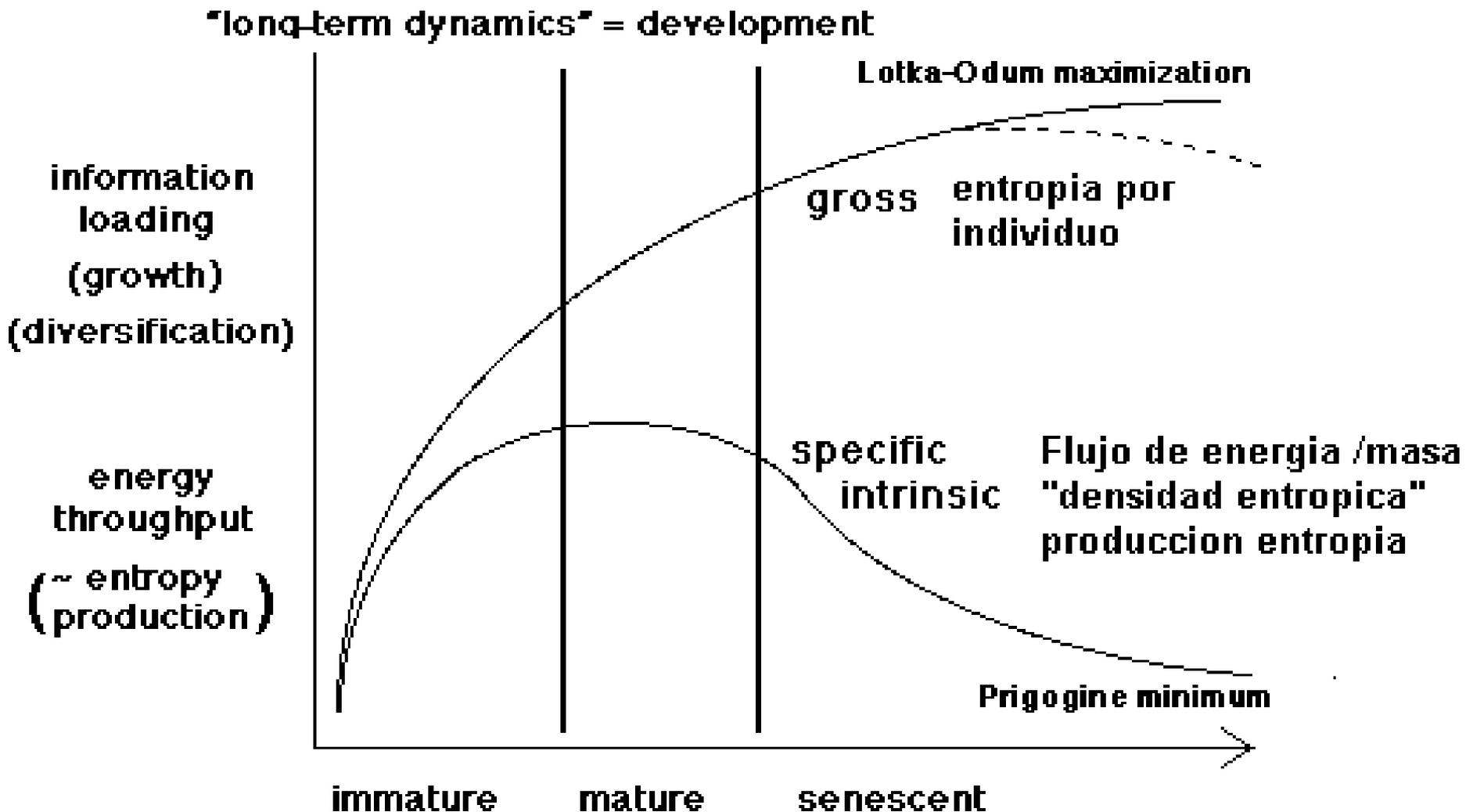


Gravitating bodies



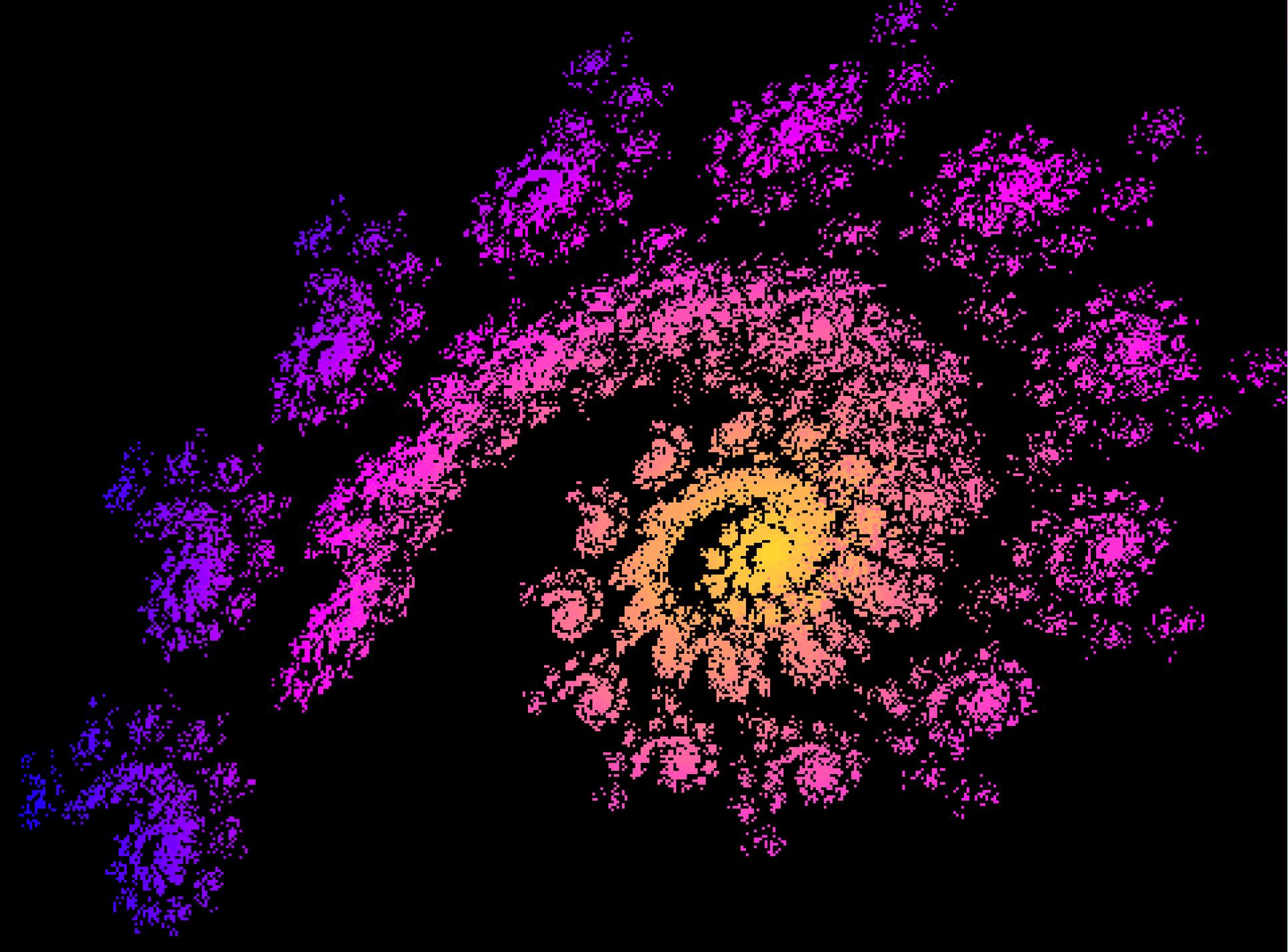


Fases de un sistema en desarrollo



Stan Salthe, *Entropy* 2004, 6, 327-343

“Se piensa que la producción de entropía es algo que exclusivamente contribuye al equilibrio global del Universo como un todo, visto como un sistema aislado. (...) el incremento en la producción de entropía, en situaciones alejadas del equilibrio puede explicar el origen de complejidad a nivel local, encontrando así que la 2ª ley es la causa final del origen de la información porque provee la motivación para toda la dinámica en sistemas aislados pero no equilibrados.”





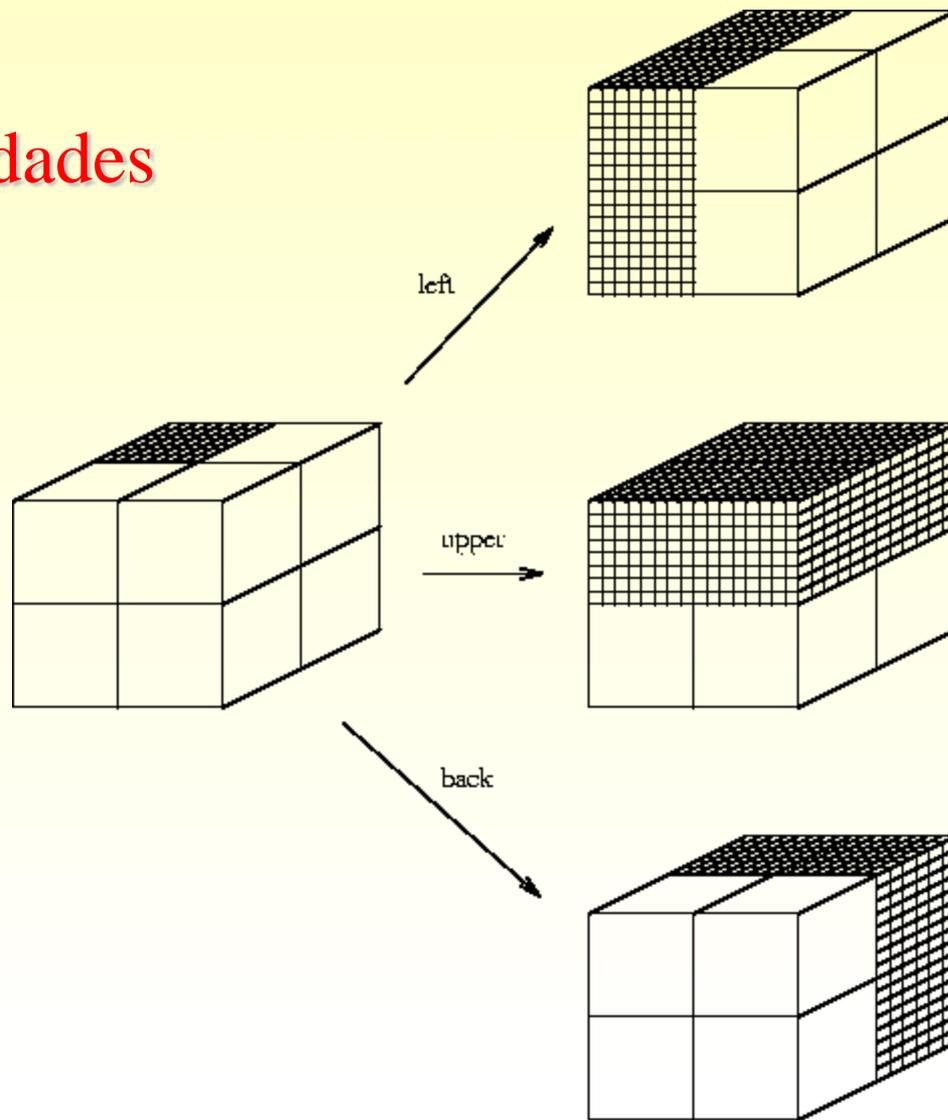
Eugenio Andrade

(2). El demonio de Maxwell se concibe mejor como agentes colectores y usuarios de información (IGUS) propuesta por Zurek, los cuales por medio de mediciones generan correlaciones informativas entre micro-estados y macro-estados, y entre macro-estados y el entorno.

Información de Shannon = Entropía

- Incertidumbre del observador externo referida al # de mensajes posibles que pueden ser emitidos por una fuente. El # total de microestados que son compatibles con un macroestado.
- $H = \log_2 P$ para un # P de eventos con probabilidad igual, y $H = - \sum p_k \log_2 p_k$ para un # k de elementos con probabilidades diferentes e iguales a p_k .

8 Possibilidades



3 Bits

Medida de la incertidumbre del observador externo

Polímero longitud $L = 3$.

N estados.

Tamaño del alfabeto $D = 2$

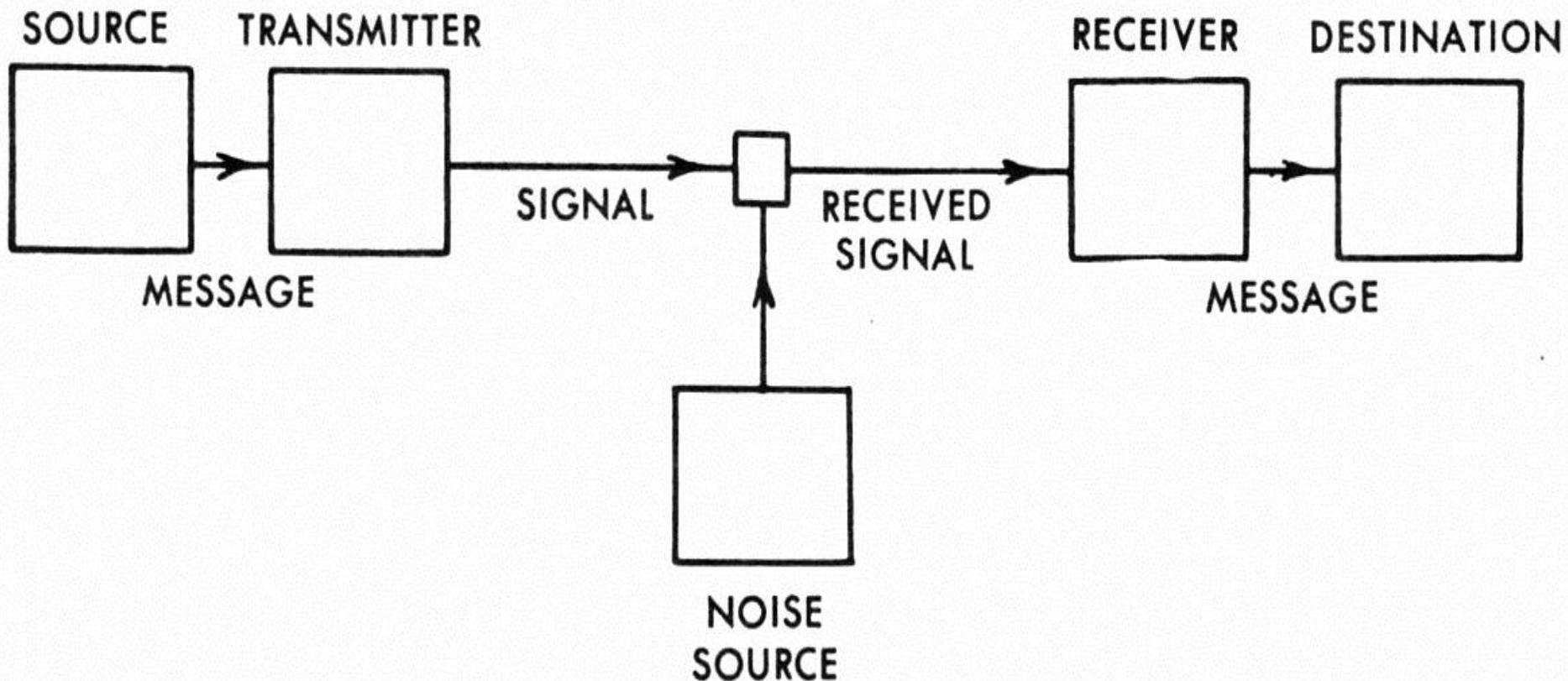
$$N = D^L$$

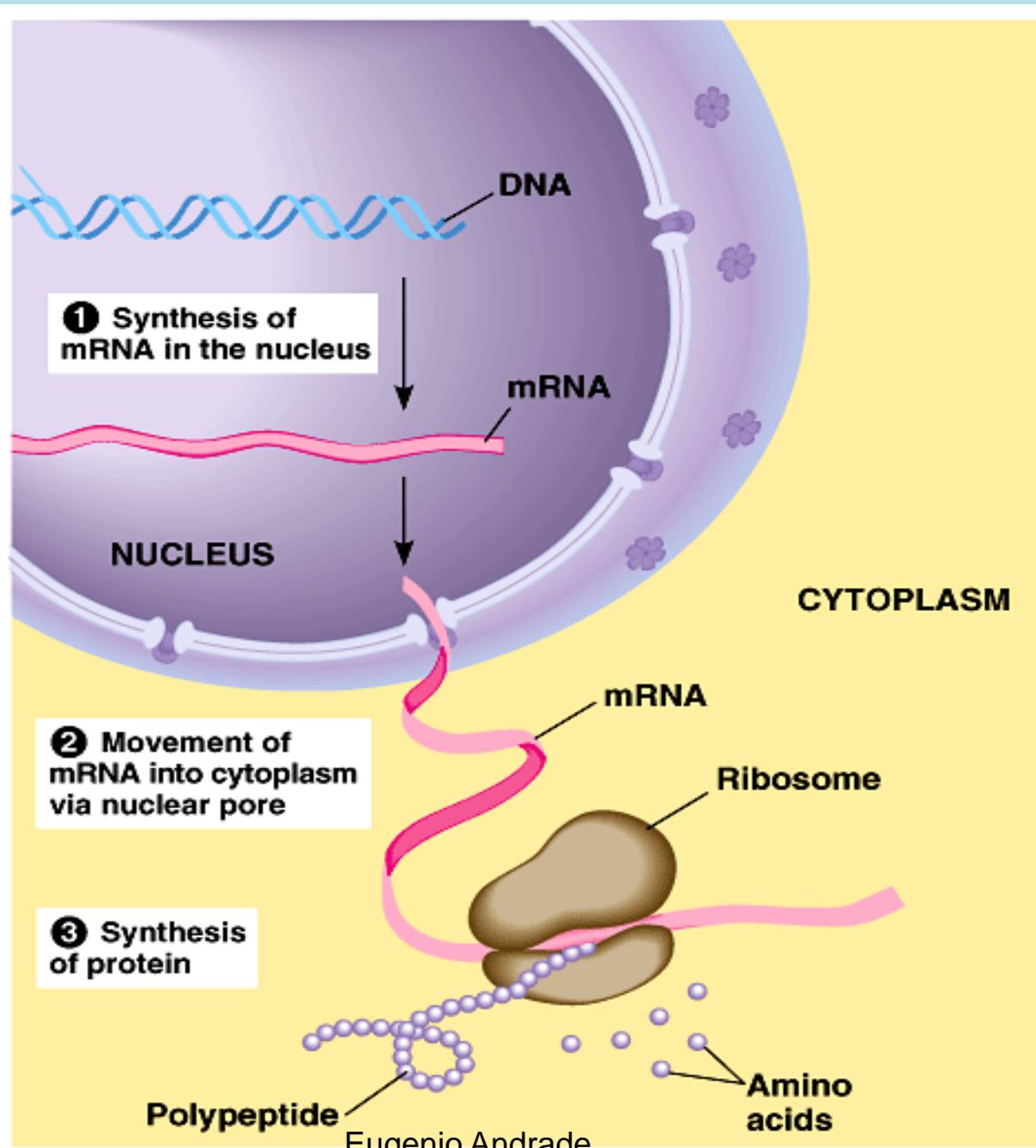
$$N = 2^3 = 8$$

111, 110, 100, 101

000, 001, 010, 011

INFORMATION





Eugenio Andrade

“No supplementary input of information other than the genetic is necessary; nor, it seems, even possible, as the mechanism as we know it leaves no room for any. [...] The cell is indeed a *machine*.”

“The necessary information was present, but unexpressed, in the constituents. The epigenetic building of a structure is not a *creation*; it is a *revelation*.”

Jacques Monod : *Chance and necessity* (1970)

Información algorítmica de Kolmogorov-Chaitin

(1) 010101010101010101010101

Patrón regular repetitivo, bajo contenido
informativo.

(2) 0110110011011110001000

Patrón aleatorio, alto contenido informativo, por ej.
“Cristal aperiódico de Schrödinger”

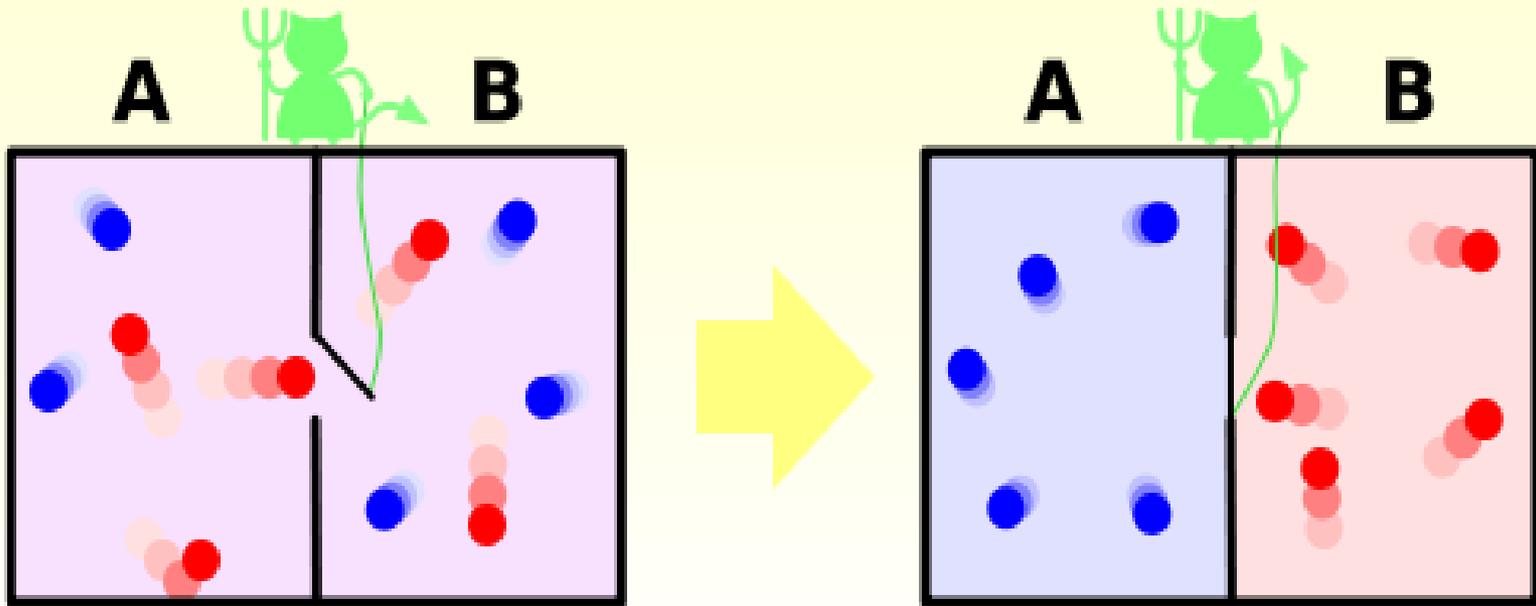
Información, Entropía, Complejidad algorítmica de Chaitin-Kolmogorov

- La complejidad algorítmica de una serie binaria s , es el tamaño del programa mínimo S^*u , que computa la secuencia s en un computador universal.

Boltzmann y Maxwell (Lloyd 2006)

- “Entropía” = información desconocida o ignorancia.
- “Información” = información conocida o registrada.
- El demonio de Maxwell transforma entropía (ignorancia) en información (conocimiento).

Cada vez que el “demonio” escoge entre una molécula “caliente” y “fría”, extrae 1 bit de información.



Boltzmann y Maxwell (Lloyd 2006)

- Temperatura = magnitud que mide energía necesaria para registrar 1 bit de información (intercambio entre información y energía).
- A mayor temperatura, mayor será la energía necesaria para registrar 1 bit de información; a menor temperatura menor la energía para registrar 1 bit.
- Se requiere más energía para registrar la misma cantidad de información molecular para un gas caliente que para uno frío.

IGUS (Zurek 1989a, 1989b, 1990).

Todo sistema físico interesado en la extracción de energía libre es un “demonio de Maxwell” que necesita coleccionar información del entorno para tal fin.

La segunda ley NO se viola:

1. Apertura termodinámica.
2. Lejanía del equilibrio.
3. Memoria.

IGUS (Zurek 1989a, 1989b, 1990).

- El “demonio” de Maxwell: IGUS (Information Gathering Using System) = OBSERVADOR

$$S = H + K$$

S = entropía física (**W** ejecutado por el observador)

H = información faltante en el observador (Shannon)

K = complejidad algorítmica del registro (aleatoriedad de los datos obtenidos)

IGUS minimiza incrementos de **K** y maximiza **W**

La entropía física (S)

- $S = H_d + K_d$
- $H_d = - \sum p_k/d \log_2 p_k/d$
- $K_u(s) \equiv [S * u]$

Paso de **H** (entropía de Shannon) a

K (complejidad algorítmica de Chaitin)

Mediciones: disminuyen la ignorancia acerca del entorno físico y de sí mismo, incrementan el tamaño (aleatoriedad algorítmica) del registro que almacena la información obtenida.

La diferencia entre la disminución de **H** y el aumento de **K** determina la ganancia en trabajo neto.

La medición o interacción entre sistema observador y observado:

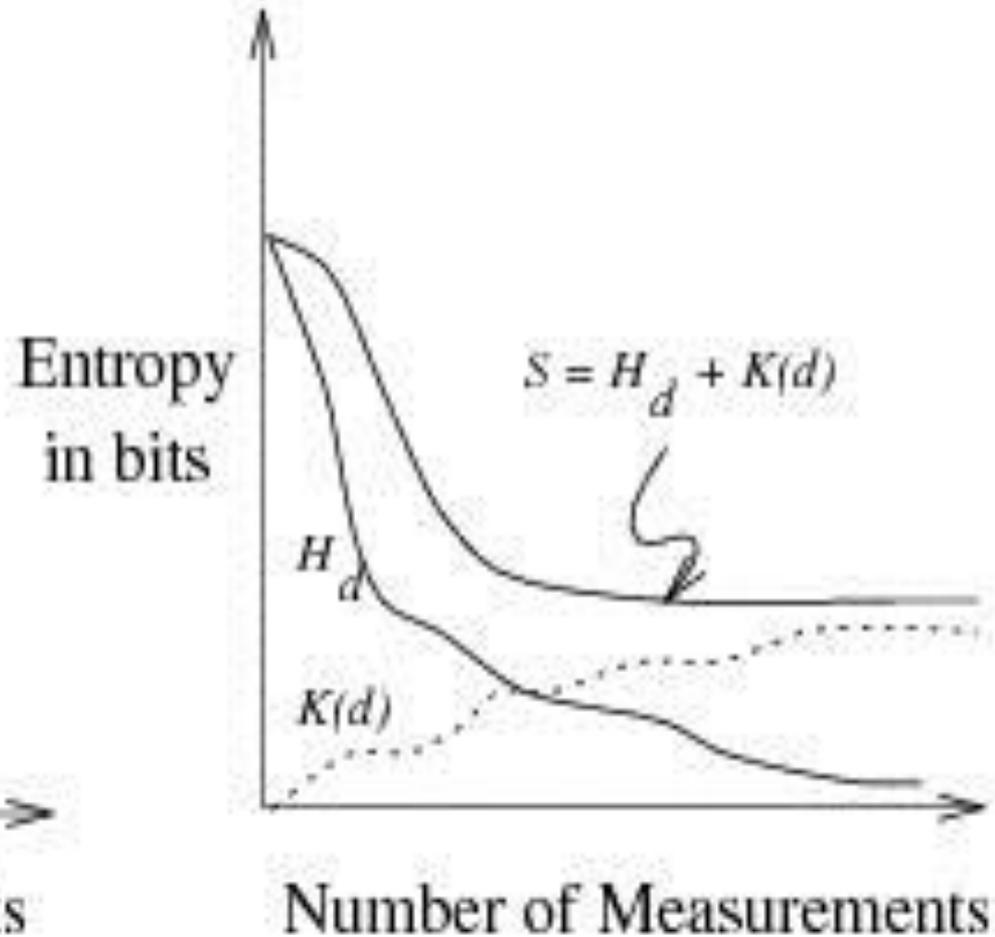
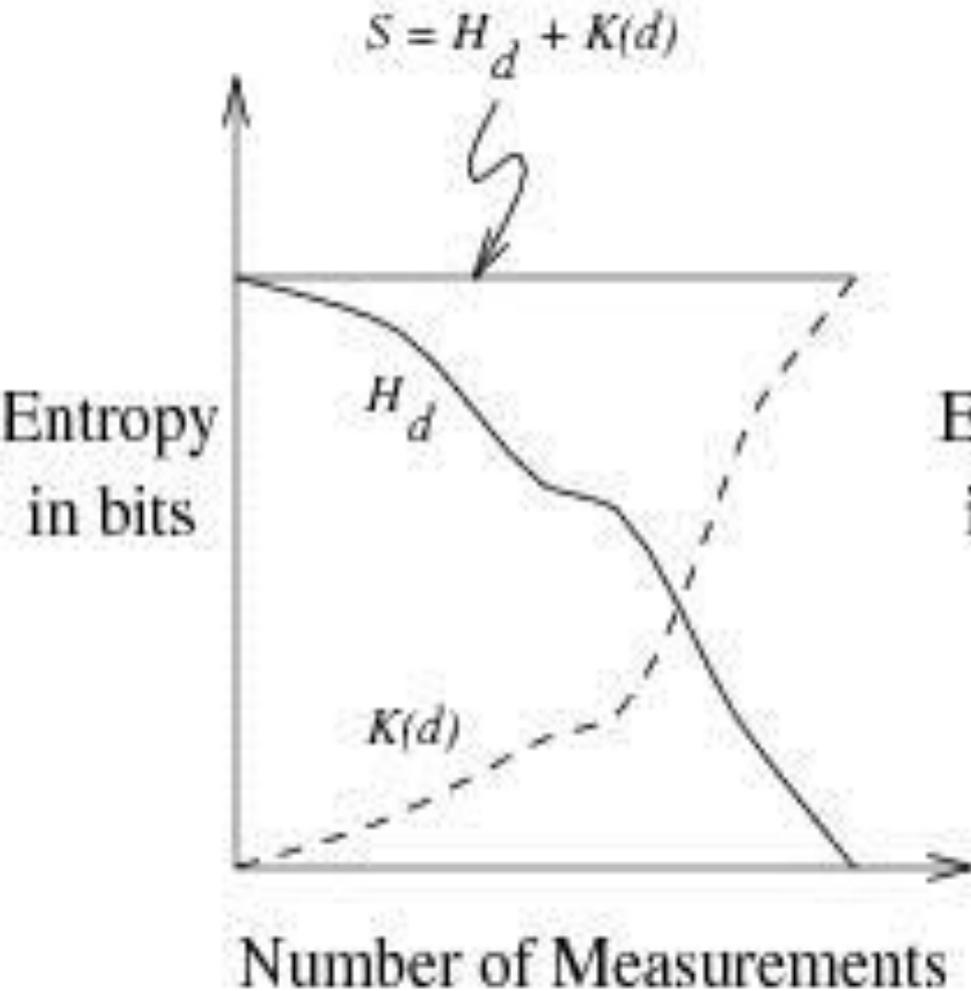
- (1) Reconocimiento estructural mediado por el entorno.

Complementariedad estructural, mediado por un motivo utilizado como estándar de clasificación que capta perturbaciones físicas del entorno, y así compara una diversidad de factores externos.

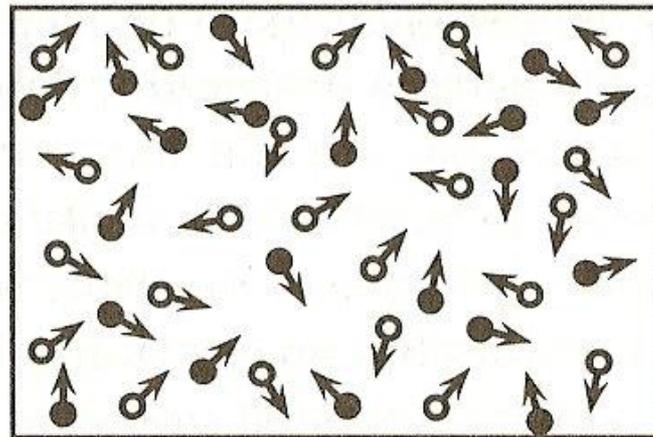
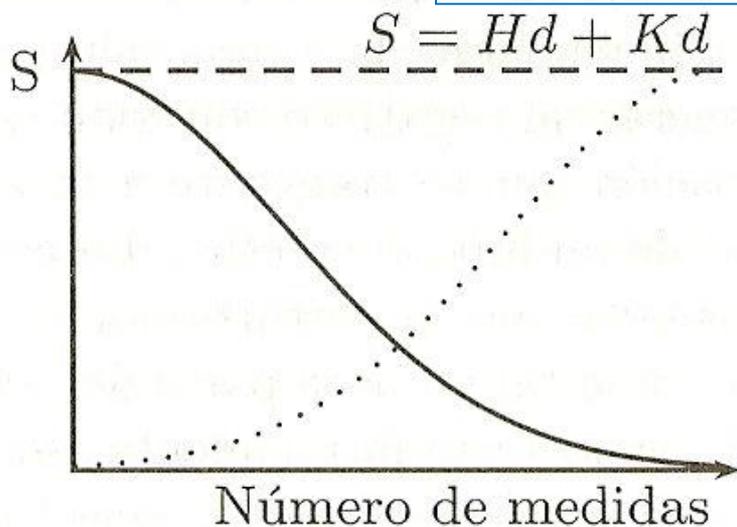
- (2) Ajustes estructural por parte del observador.

Reducción del conjunto de conformaciones accesibles, (# conformaciones individuales para el estado no acoplado es mayor que para los acoplados).

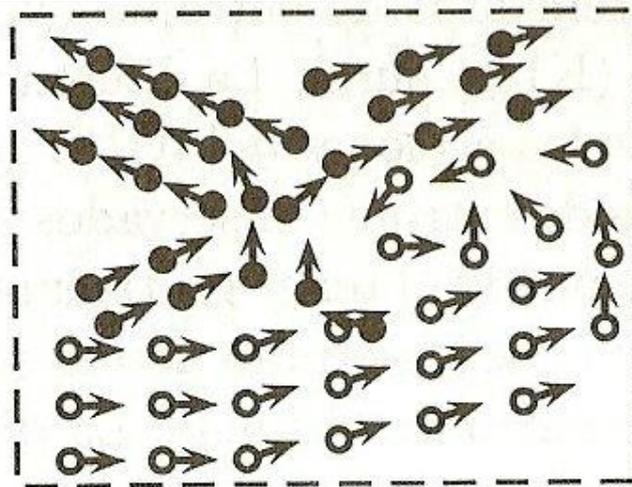
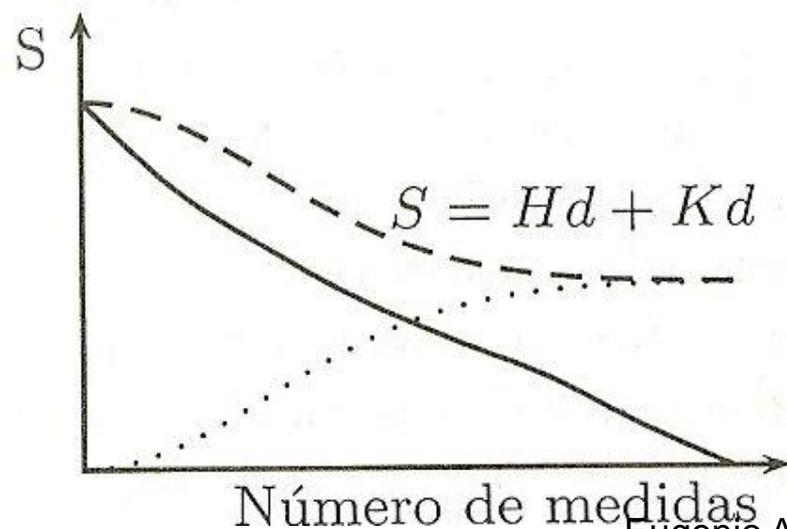
Entropía física de Zurek



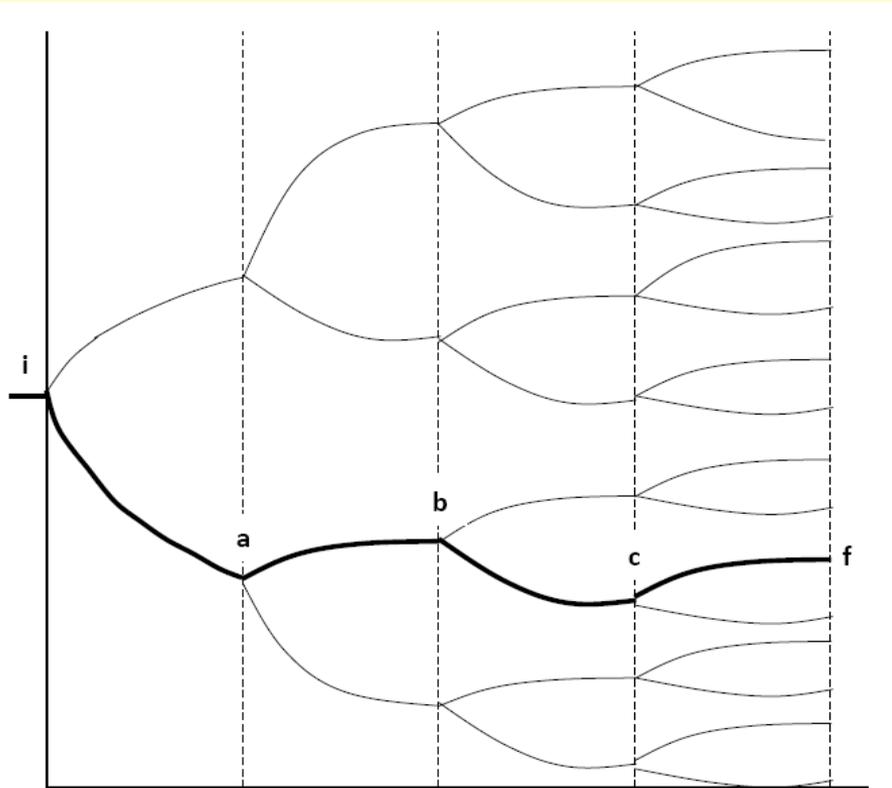
SISTEMA EN EQUILIBRIO



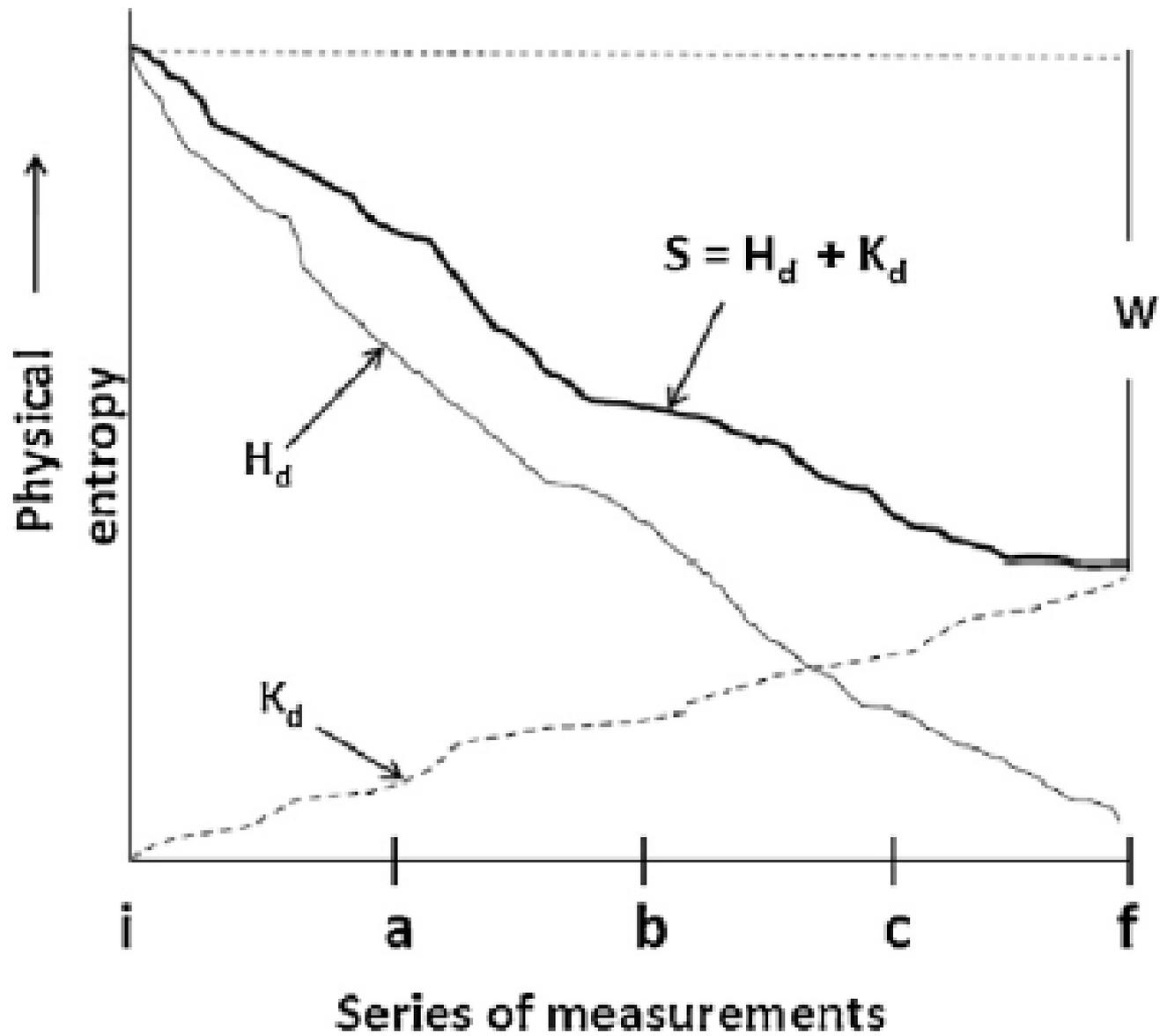
SISTEMA LEJOS DEL EQUILIBRIO



Entropía física de Zurek



La relación entre H y K en el modelo de Zurek se puede ilustrar como un diagrama de opciones binarias en el cual a partir de las muchas trayectorias posibles dadas en el punto inicial "I" solamente una se actualiza en el estado final "F". En cada evento de medición, interacción o ajuste en los pasos a, b y c conforman una trayectoria constituida por elecciones hechas por el IGUS. De I a F la información H de Shannon disminuye con la reducción de incertidumbre sobre el estado final, mientras que K (entropía algorítmica de Chaitin) incrementa con el número de pasos necesarios para alcanzar este estado final. En el caso de un proceso evolutivo inferido retrospectivamente, K aparece como la magnitud que describe una trayectoria única que ha tenido lugar en el espacio de trayectorias posibles. La disminución de H con pocas mediciones lejos del equilibrio es suficiente para informar las elecciones del agente. En las trayectorias la información se actualiza y en los puntos de bifurcación se potencializa.



Trabajo neto (ΔW) obtenido a temperatura T

$$\Delta W = \Delta W_+ + \Delta W_-$$

- ΔW_+ = trabajo ganado debido al cambio en entropía de Shannon,
- $\Delta W_+ = T (H_f - H_i)$
- ΔW_- = costo de actualización de la memoria que reemplaza el registro desactualizado correspondiente a las condiciones iniciales r_i , con el registro r_f que describe su conocimiento acerca estado final:
- $\Delta W_- = T (K_f - K_i) = T ([r^*f] - [r^*i])$

Trabajo neto (ΔW) obtenido a T por IGUS

$$\Delta W = \Delta W_+ + \Delta W_-$$

$$\Delta W_+ = \text{ganado } \Delta H \leq 0$$

$$\Delta W_+ = T (H_f - H_i)$$

$$\Delta W_- = \text{pagado } r_i \Rightarrow r_f: \Delta K \geq 0$$

$$\Delta W_- = T (K_f - K_i) = T ([r^*_f] - [r^*_i])$$

$$\Delta H \geq \Delta K \Rightarrow \Delta W_+ \geq 0$$

La medición o interacción entre sistema observador y observado:

La medición genera correlaciones informativas entre los estados del sistema medido y el que mide.

Los demonios de Darwin (Andrade 2003)

Propuesta de una concepción física y biológica que incluya la presencia de observadores naturales internos a los sistemas, diferentes al investigador humano.

Segunda edición



Los demonios de Darwin

Semiótica y Termodinámica de la Evolución Biológica



Eugenio Andrade



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Departamento de Biología

Eugenio Andrade

Facultad de Ciencias

ON MAXWELL'S DEMONS AND THE ORIGIN OF EVOLUTIONARY VARIATIONS: AN INTERNALIST PERSPECTIVE

Eugenio Andrade

Department of Biology, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.
Mailing address: A.A. # 330413. Bogotá, D.C. Colombia. Phone: 57-1-3165000,
Ext. 11313. Fax: 57-1-3165310. Email: leandradep@unal.edu.co

Received 7-1-2003

ABSTRACT

This paper defends an internalist perspective of selection based on the hypothesis that considers living evolutionary units as Maxwell's demons (MD) or Zurek's Information Gathering and Using Systems (IGUS). Individuals are considered as IGUS that extract work by means of measuring and recording processes. Interactions or measurements convert uncertainty about the environment (Shannon's information, H) into internalized information in the form of a compressed record (Chaitin's algorithmic complexity, K). The requirements of the model and the limitations inherent to its formalization are discussed. This approach offers an alternative view to the causes of evolutionary variations which goes beyond the classical Lamarckian-Darwinian controversy. I argue that random variations only apply near-to-equilibrium at the time organisms have attained structural closure, and that a speed up of mutation rates that facilitates the production of directed variations occurs far-from-equilibrium due to organisms' openness to the surrounding conditions. However, real organisms are located somewhere between the above two cases and thus, operate at an intermediate stage where there is a maximum efficiency of H/K conversion. In consequence, IGUS keep their autonomy and evolving capacity by compromising between external circumstances and inner constraints. This compromise is made possible by closure regulation. Likewise, this model explains why nature has favored the selection of agents capable of selectively recording a partial description of their environment.

Key Words: Evolutionary variations, Maxwell's demons (MD), Information Gathering and Using Systems (IGUS), analog information, digital information, entropy.

1. INTRODUCTION

This paper explores an internalist contribution to evolution inspired by Maxwell's demon (MD) thought experiment. Zurek (1989a,b, 1990) conceives MD as Information Gathering and Using Systems (IGUS) and suggests its applicability to the study of Complex Adaptive Systems such as living entities. I show that this analogy provides a heuristic framework that allows discussion of the merging of external and internal dynamics that account for the origin of evolutionary variations, and helps to

Eugenio Andrade



From external to internal measurement: a form theory approach to evolution

Eugenio Andrade *

Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogota, D.C., Colombia

Received 1 December 1999; received in revised form 24 April 2000; accepted 25 April 2000

Abstract

The point of view of external observers has led to an explanation of life based on digitally encoded information. In contrast, the existence of natural internal observers, or agents that belong to the same scale of the observed objects, explains the appearance of *form* centered approaches. The main controversies in thermodynamics and evolution are due to the changes of perspective, so as to speak, if measurement is considered to be external or internal. Equilibrium theories developed for closed systems under ideal conditions are analogous to external measurements. On the other hand, morphogenetic perspectives as far from equilibrium thermodynamics applicable to open systems allow to imagine self-organizing agents that perform local measurements. Chaitin's algorithmic approach would help to elucidate the relation between digitally encoded information and active *forms*, because *forms* and shapes are responsible for specific pattern recognition and play a major role in the process of finding the proper measuring standard. The predominance of *form* over digital records is illustrated by studying the mapping between genetic descriptions and functional shapes, originally suggested for RNA, by Schuster. Therefore, interactions between living entities are seen as reciprocal measurement processes that bring about couplings (shortened descriptions and local decreases of entropy) that are paid by partial record erasure (increase of entropy). To conclude, this approach centered on the inner dynamics or form is appropriate for understanding how Lamarckism and the modern neutral theory of evolution can be integrated for expanding the neoDarwinian perspective. © 2000 Elsevier Science Ireland Ltd. All rights reserved.

Eugenio Andrade

Keywords: Internal measurement; Form; Digital; Analog; Algorithmic compressibility; Entropy

Objective patterns in the evolving network of non-equivalent observers

Abir U. Igamberdiev*

Department of Biology, Memorial University of Newfoundland, Main Campus, St. John's, NL A1B 3X9, Canada

Received 15 October 2007; received in revised form 15 January 2008; accepted 17 January 2008

1997, 2004). In the consistent histories approach, a selection of decoherent histories may not be mediated by consciousness but it is related to consistency principles and processing of quantum information via the systems called IGUS (information gathering and processing systems), a sort of quantum mechanical Maxwell's demons (Andrade, 2000, 2004). These systems realize simple selection rules and evolve to very complex structures in conscious organisms through a long evolutionary process.

3. Maxwell's Demon as a Selection Agent

The selection process needs a selection agent. A casual selection in the Copenhagen interpretation becomes consistent via the action of IGUS (information gathering and using system), a quantum mechanical edition of Maxwell's demon, in frames of the consistent histories approach (Andrade, 2004). By its

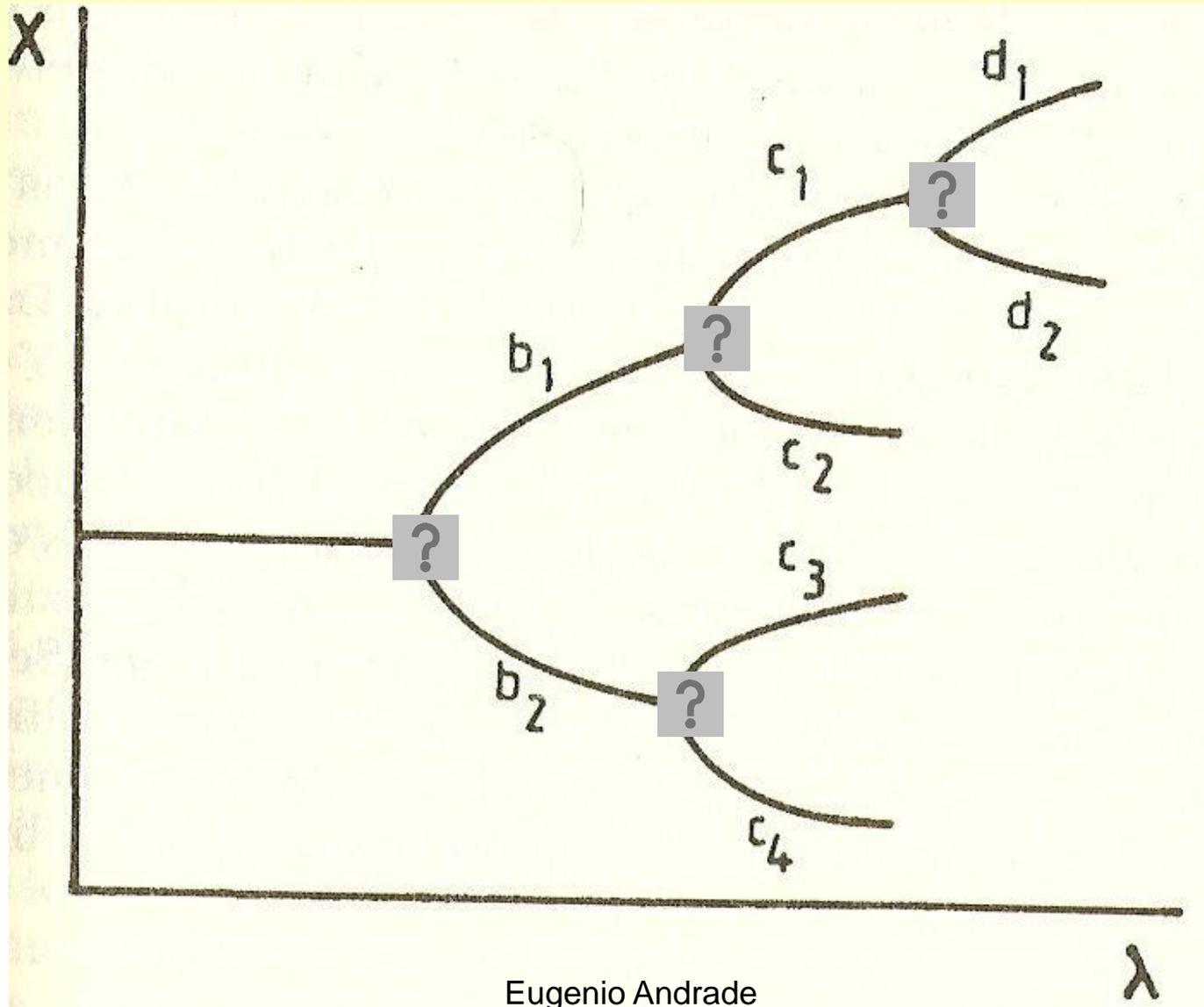
Andrade, E., 2000. From external to internal measurement: a form theory approach to evolution. *BioSystems* 57, 49–62.

Andrade, E., 2004. On Maxwell's demons and the origin of evolutionary variations: an internalist perspective. *Acta Biotheor.* 52, 17–40.

Los IGUS son sistemas autorreferentes

- Para un observador externo un IGUS actúa de modo no determinista o al azar.
- Los IGUS eligen guiados con la información que han captado.
- Cada IGUS es único.
- La biología estudia poblaciones de IGUS no equivalentes que cooperan y compiten.
- Los IGUS se adaptan a un entorno del cual forman parte y que cambia como resultado de sus acciones.

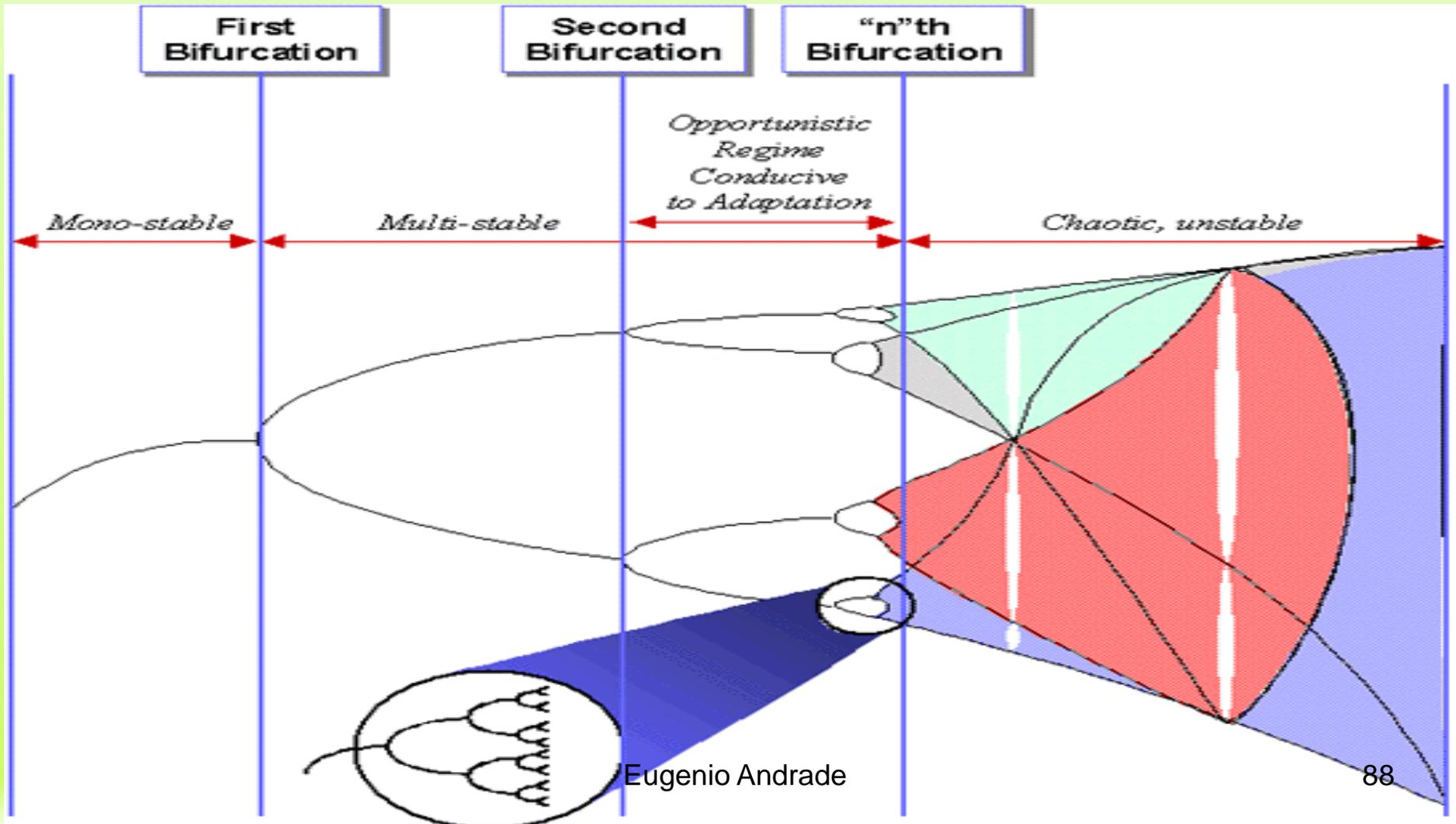
Elección indeterminista en contexto funcional

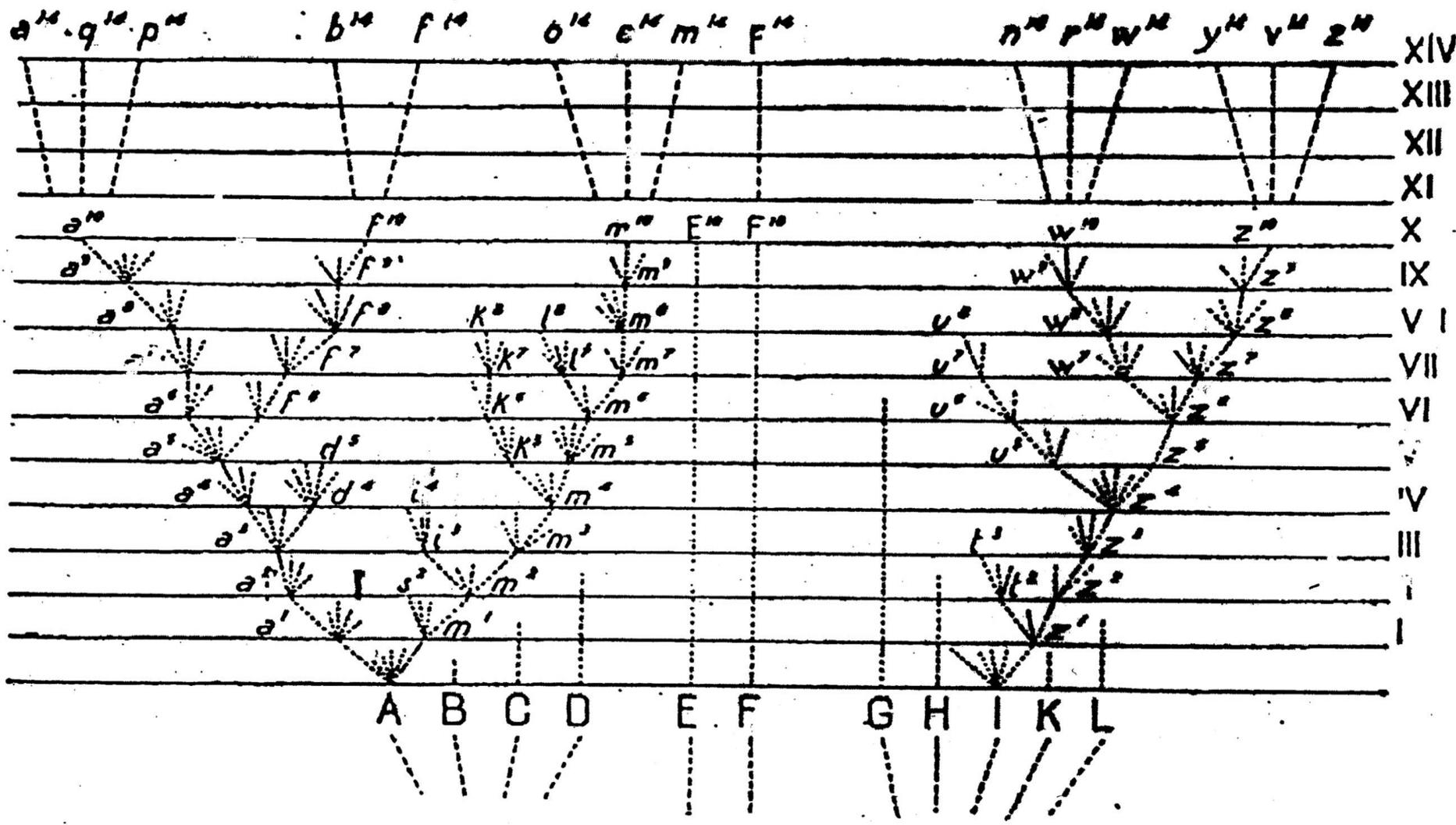


Eugenio Andrade

λ

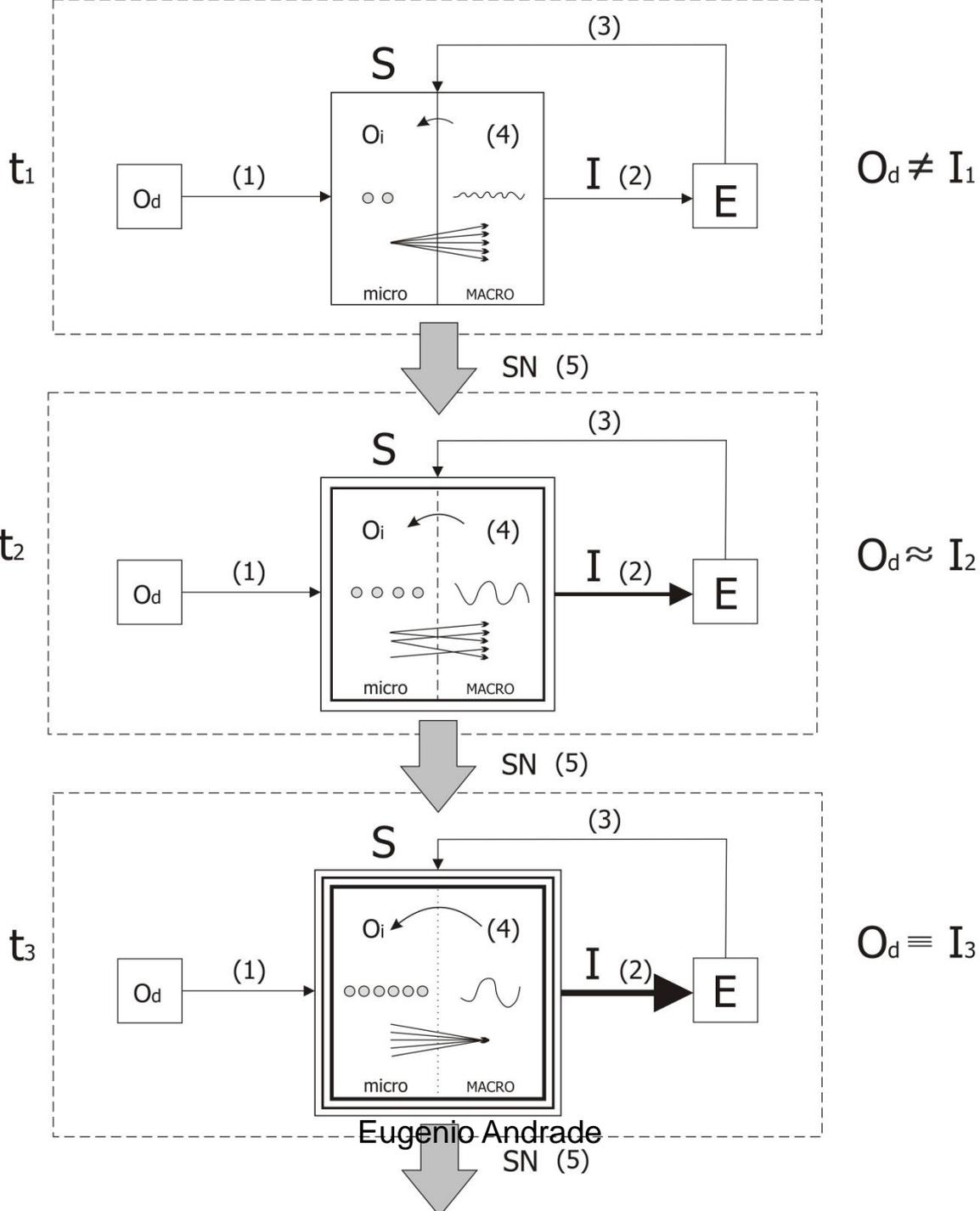
Bifurcaciones lejos del equilibrio

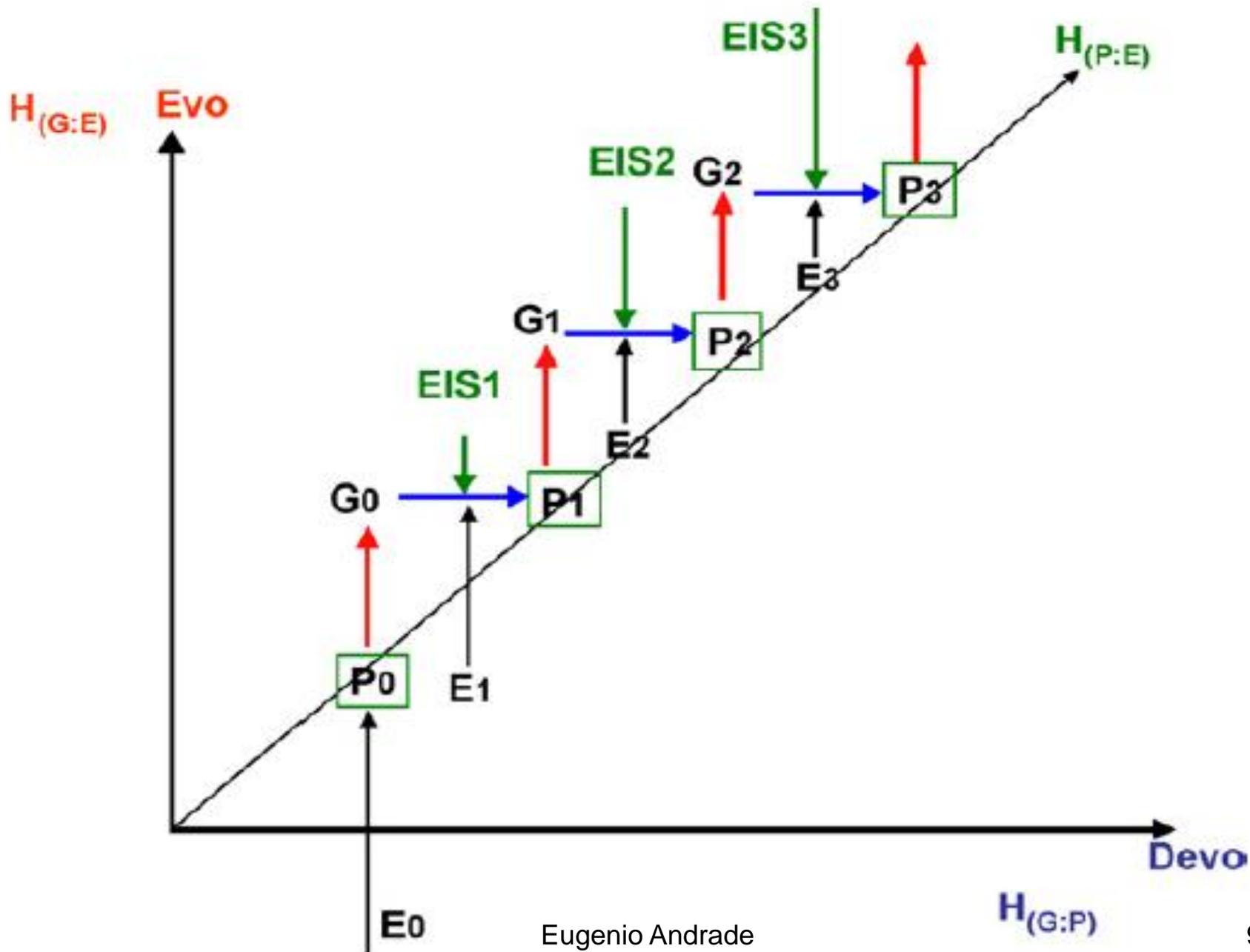




Características de los observadores naturales tipo IGUS

- 1. Un **macro-estado** limitado con apertura selectiva al entorno.
- 2. Componentes individuales discretos cuyo arreglo define **micro-estados**.
- 3. **Autonomía**: habilidad para escoger entre ajustes alternativos.
- 4. **Autorreferencia**: micro/macro-estados, genotipo/fenotipo, secuencia/estructura, información analoga/digital.







Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

BioSystems

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biosystems



Review Article

Integration of thermodynamic, quantum and hierarchical theories of information in the context of Peircean semiosis – A review

Eugenio Andrade*

Department of Biology, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 December 2013

Received in revised form 1 April 2014

Accepted 2 April 2014

Available online 13 April 2014

Keywords:

Information gathering and using systems (IGUS)

Sign

Information

Internal measurement

Copenhagen interpretation (CI)

Many worlds interpretation (MWI)

Hierarchical organization

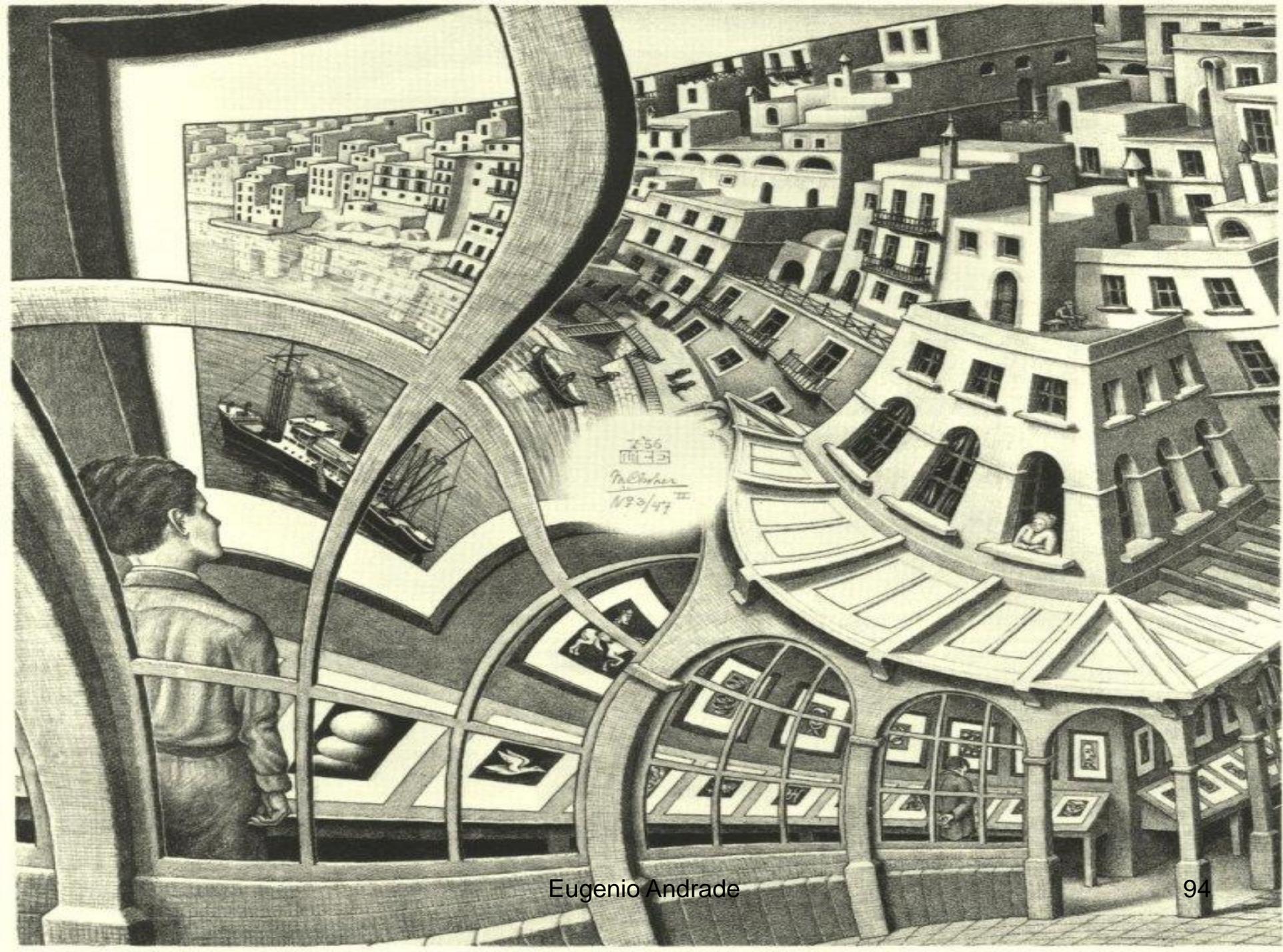
ABSTRACT

I claim that Peirce's notion of information and sign iteration as an intermediation between potentialities that are actualized and actualities that are potentiated provides a suitable framework for interpretation of Zurek' Information gathering and using systems (IGUS). Moreover, this model can be extended to address the problem of quantum measurement (QM) since it allows exploring an alternative view based on IGUS understood as agents of internal measurement, beyond Copenhagen interpretation (CI) that invokes a classical observer that performs measurements and the "many worlds interpretation" (MWI) that rejects all sort of observers and measurements. This integrative view allows figuring out a hierarchy of IGUS-like systems of interpretation that explore new possibilities in the upper level analog boundary and consolidate actualized information in the lower level digital boundary.

© 2014 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

Eugenio Andrade

93



Eugenio Andrade

(3). Examen de la teoría de la decoherencia de Zurek denominada “darwinismo cuántico” (DC) para mostrar cómo la aproximación termodinámica y cuántica son compatibles entre ellas si los IGUS se consideran como agentes de medición cuántica. Por tanto, las transiciones de potencialidades cuánticas a estados clásicos son el resultado de la actividad mediadora de agentes tipo IGUS, lo cual permite proponer como hipótesis una interpretación que va más allá de la interpretación de Copenhague por un lado y la de los “muchos mundos” por el otro.

Niels Bohr 1932

- “La existencia de la vida debería ser considerada como un hecho elemental sin explicación posible, como un punto de partida para la biología, de la misma manera que el *quantum* de acción que aparece como un elemento irracional para la mecánica clásica constituye con las partículas elementales el fundamento de la física atómica.”

Bohr y la Medición

- Las propiedades como “posición” y “momento” se hacen reales cuando se miden.
- La medición hace y modifica la realidad.

¿Qué es la realidad?

- *“One must never forget that in the drama of existence we are ourselves both actors and spectators”*

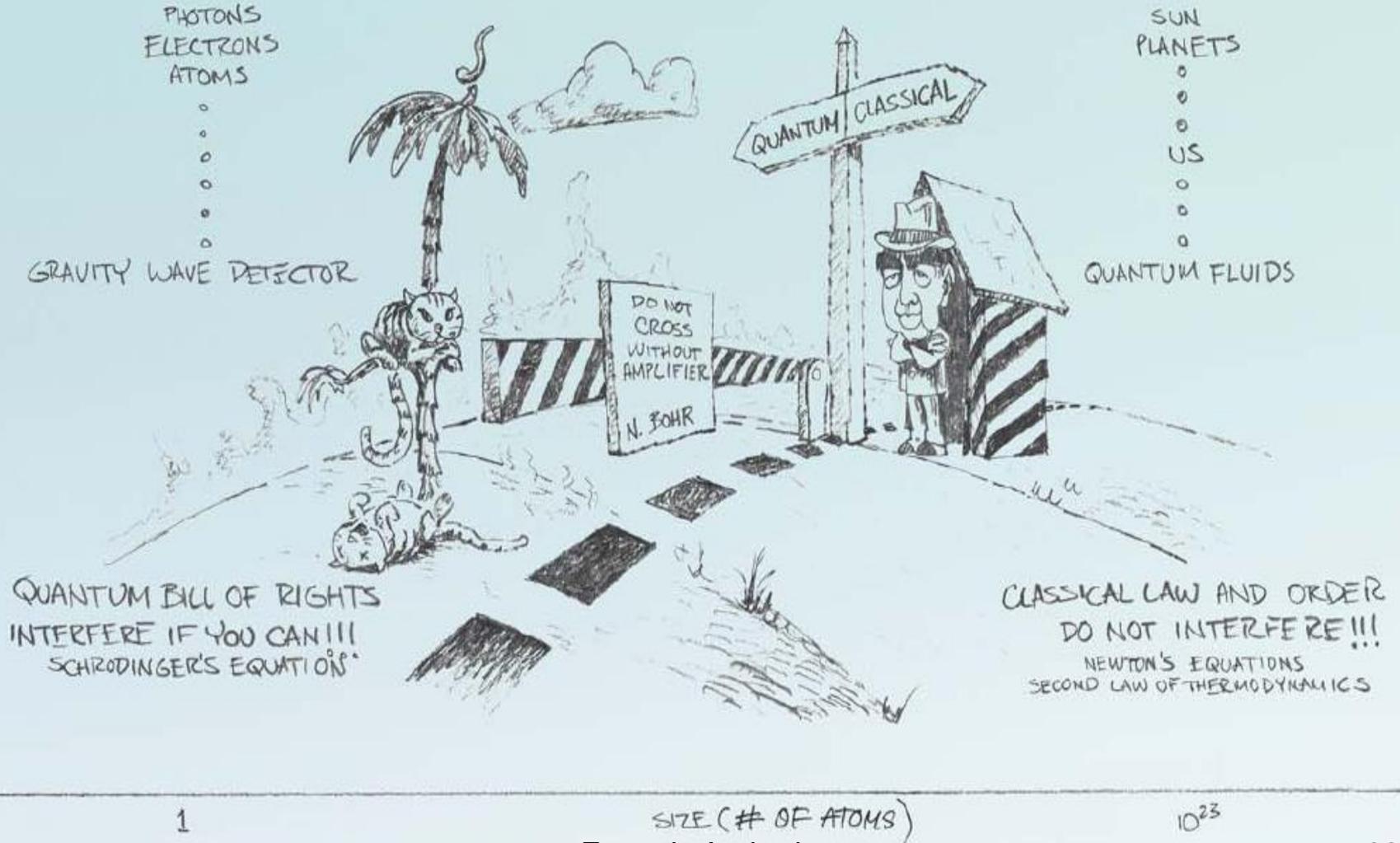
Bohr y la Medición

- No es posible separar los objetos cuánticos de los aparatos de medida.
- No existen los electrones, ni los fotones en ausencia de la medición.
- PROBLEMA:
- Los aparatos de medición son siempre objetos clásicos.
- No se explica el origen del estado clásico, se asume que el observador clásico existe (antropomorfo).

THE BORDER TERRITORY

QUANTUM DOMAIN

CLASSICAL DOMAIN



Interpretación de Copenhague

(Niels Bohr):

- Existe línea divisoria entre clásico y cuántico.
- Debe existir *a priori* un dominio clásico con una frontera que filtra un solo resultado de muchos posibles.
- Frontera móvil, el cerebro humano como aparato de observación último podría ser analizado como un objeto cuántico siempre y cuando hubiera un aparato clásico que pudiera estudiarlo.

Interpretación de Copenhagen (Niels Bohr):

- Identificación de lo clásico con lo macroscópico.
- Pero si un objeto macroscópico no puede ser ubicado siempre como clásico, ¿será que no hay frontera?
- Significado de la “función de onda”, el “vector de estado” es epistemológico.

Schrodinger's Cat

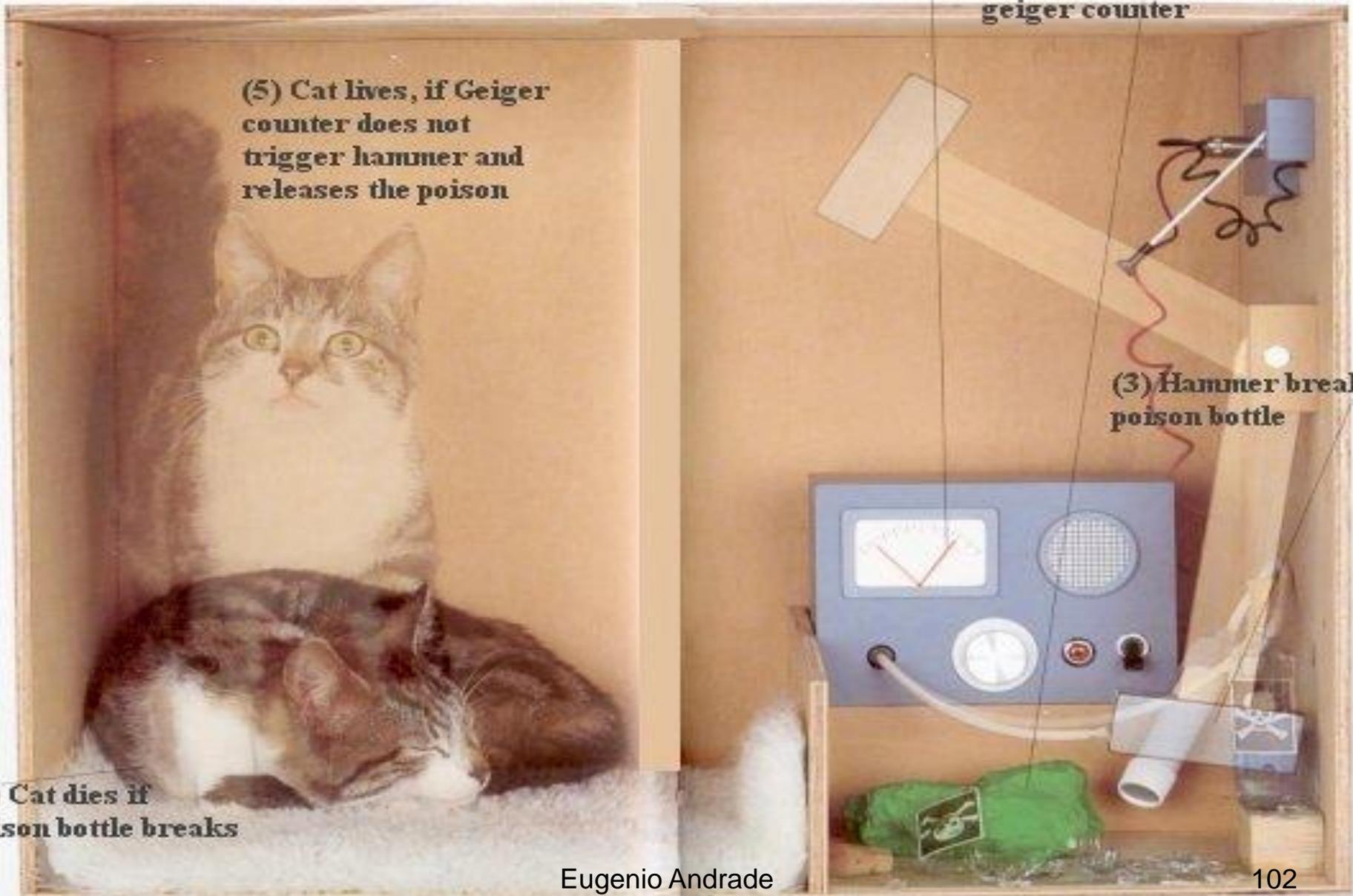
(2) If geiger counter is triggered, hammer falls

(1) Radioactive material has a 50:50 chance of triggering geiger counter

(5) Cat lives, if Geiger counter does not trigger hammer and releases the poison

(3) Hammer breaks poison bottle

(4) Cat dies if poison bottle breaks



Schrödinger's Cat

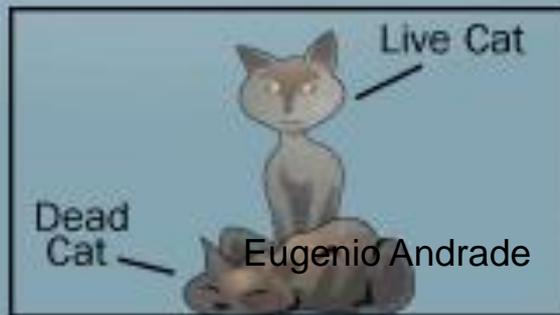
©2007 HowStuffWorks



The material does not decay; the cat lives.

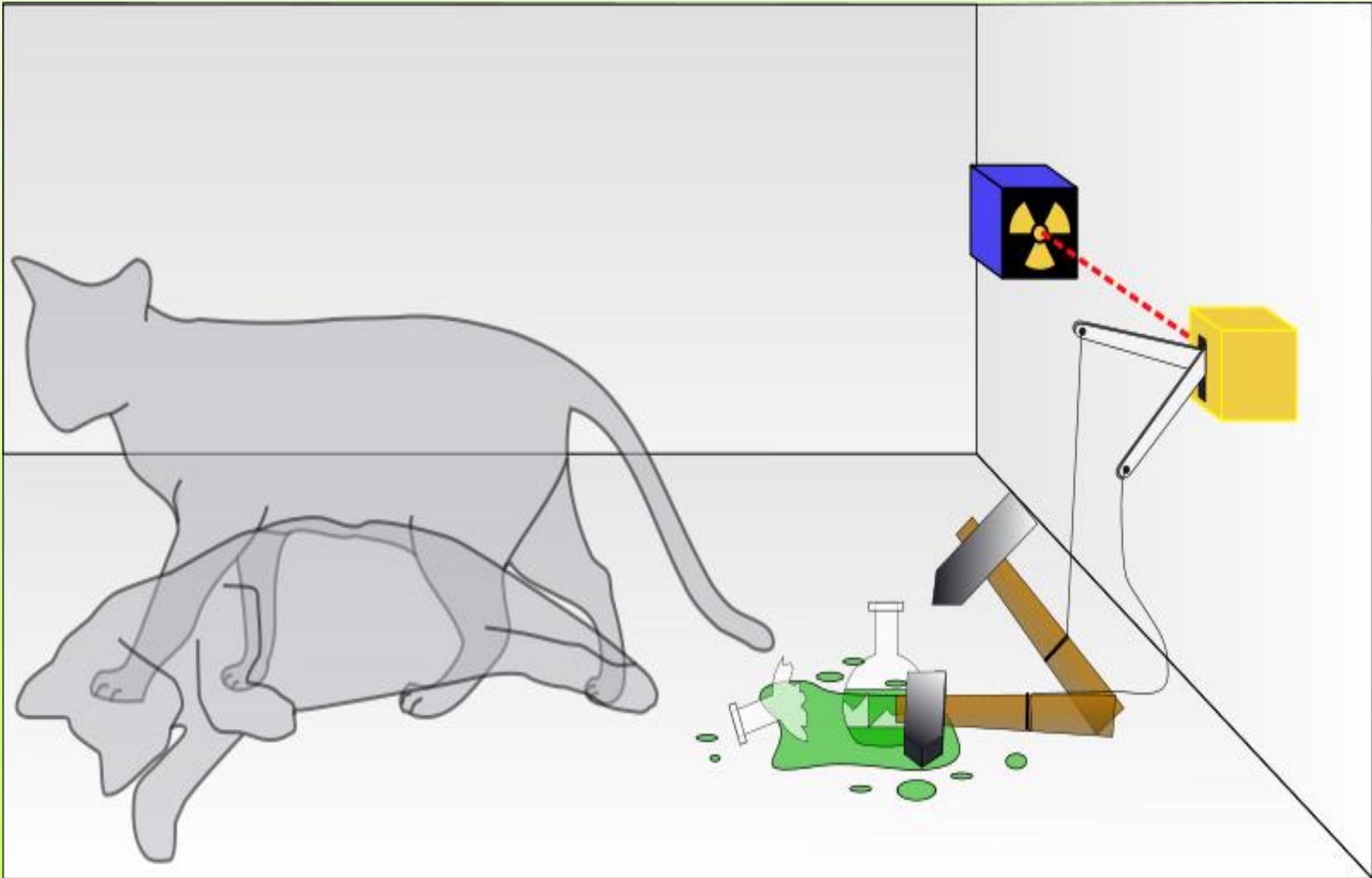


The material has decayed; the cat has been killed by the poison.



Eugenio Andrade

According to the Copenhagen interpretation, the cat is both alive and dead. It exists in a state of "superposition."



N Bits

Información para identificar una cadena de entre 2^N cadenas posibles.

0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111,
1000, 1001, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, 1111.

$N = 4$

N Qubits

Información contenida en 2^N cadenas tomadas simultáneamente

- [0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, 111].
- $N = 4$

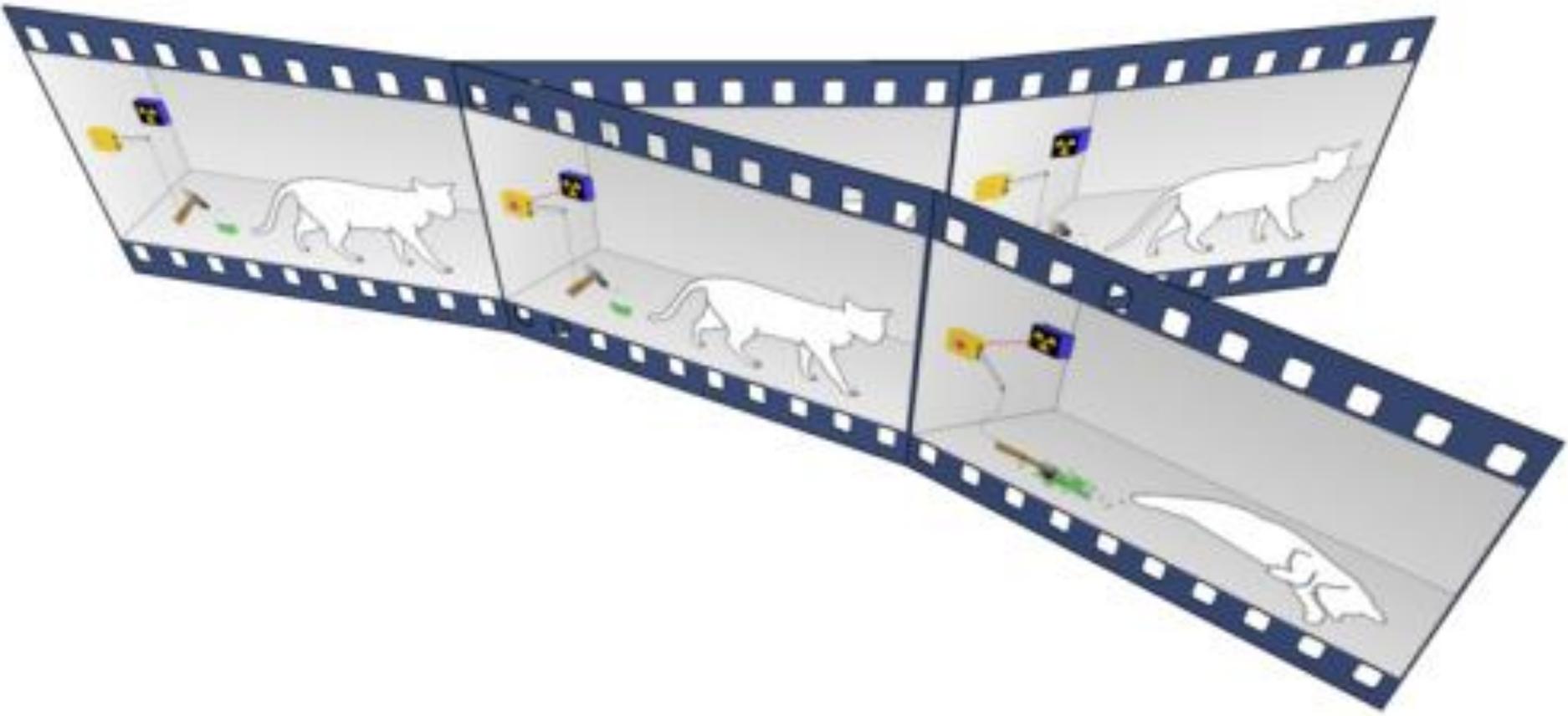
{[x % (0), y % (1)], [x % (0), y % (1)], [x % (0), y % (1)], [x % (0), y % (1)]}

Interpretación de los muchos universos (Hugh Everett):

- No hay frontera entre lo clásico y lo cuántico.
- El universo es cuántico, no hay observador externo.
- La superposición siempre se da.
- Cada vez que se da una interacción adecuada entre dos sistemas cuánticos la función de onda se divide, dando lugar a más ramas.

Interpretación de los muchos mundos (Hugh Ewerett):

- Cada resultado posible se acomoda en alguna de las ramas que proliferan a partir de la función de onda del universo.
- No hay selección, todas las ramas son equivalentes.
- Se generan infinitos eventos interferentes sin resultado definido.
- La “función de onda” (vector de estado) es una realidad (ontológica).



Problema de la medición

- La medición convierte la superposición cuántica en resultados definidos y clásicos y establece la frontera entre lo Clásico y Cuántico.
- Los observadores no son espectadores pasivos.
- Es imposible ganar información sin cambiar o perturbar el estado del objeto medido.
- No hay línea divisoria entre lo que existe (ontológico) y lo que se conoce que existe (epistemológico).

The role of the observer in the Everett interpretation

H. D. Zeh – www.zeh-hd.de (arxiv:1211.0196v3)

El observador puede existir simultáneamente en varias “versiones” de acuerdo a la formulación de von Neumann’s.

- A (aparato), S (sistema), O (observador)

$$\left(\sum_i c_i \psi_i^S\right) \psi_0^A \psi_0^O \rightarrow \left(\sum_i c_i \psi_i^S \psi_i^A\right) \psi_0^O \rightarrow \sum_i c_i \psi_i^S \psi_i^A \psi_i^O =: \sum_i c_i \psi_i^{rel} \psi_i^O .$$

The role of the observer in the Everett interpretation

H. D. Zeh – www.zeh-hd.de (arxiv:1211.0196v3)

Existe un estado relativo del mundo exterior con respecto al estado físico del observador. Se obtiene una superposición de diferentes versiones de todos los observadores descritos por paquetes de ondas separados en el espacio de configuraciones, al igual que hay diferentes observadores en localizaciones diferentes en el mundo clásico.

$$\psi^{total} = \sum_i c_i \psi_i^{rel} \psi_i^O$$

$$\psi_i^{rel} = \psi_i^S \psi_i^A \psi_i^{env}$$

The role of the observer in the Everett interpretation

H. D. Zeh – www.zeh-hd.de (arxiv:1211.0196v3)

- El indeterminismo cuántico observado no se ajusta a un proceso dinámico estocástico, (evolución de la función de onda global).
- El indeterminismo cuántico refleja los múltiples futuros de un observador en el mundo cuántico. determinista-comparable al proceso de división celular en el mundo clásico.
- La historia del observador se objetiva con respecto a las versiones de observadores diferentes que se correlacionan de acuerdo a su entrelazamiento.
- El entrelazamiento entre diferentes observadores es la misma a la que hay entre un observador y su aparato de medición.

IGUS son únicos, singulares, no equivalentes

- IGUS: comportamiento indeterminista para “observador externo”, pero desde su propia perspectiva actúa en función de la información ambiental incorporada.
- IGUS se adaptan a un entorno del cual ellos hacen parte y al que cambian como consecuencia de su actividad.

Problema

- Si los IGUS son diferentes, entonces cada uno genera una imagen diferente de la realidad externa.
- ¿Existe o no un mundo objetivo del cual diferentes observadores puedan percibir lo mismo?
- ¿OBJETIVIDAD?
- Propiedad objetiva de un sistema debe ser evidente para muchos observadores.

Respuesta: decoherencia cuántica

- El entorno es un medio para la transferencia de información.
- Los observadores (no conscientes) capturan información dispersa en el entorno sobre las cosas que existen.
- Si la información capturada es redundante o repetida en muchas copias, diferentes observadores capturan la misma información y llegan a un acuerdo sobre el mundo base de la objetividad.

El “darwinismo cuántico” es una teoría sobre la decoherencia

- Los observables más compatibles con el medio ambiente son los que más proliferan y constituyen un conjunto de “estados preferidos o indicadores” en los que subsiste la coherencia.
- La mayoría de las superposiciones son eliminadas nunca se actualizan, solamente se actualizan algunas de las compatibles con estos “estados preferidos o indicadores”.
- Los “estados preferidos o indicadores” constituyen estados realmente accesibles dentro de los cuales el sistema cuántico escoge. No se requiere observador consciente (humano).

Environmental induced super selection (Einselection)

Si:

Medio ambiente (1) \Rightarrow medio ambiente (2)

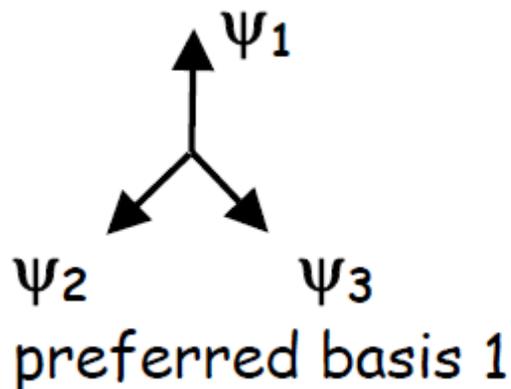
Entonces:

Estados preferidos (1) \Rightarrow estados preferidos (2)

En este caso los estados preferidos (1) se hacen inestables y por tanto deben ser resueltos en un nuevo estado estable que se manifiesta como superposiciones (combinaciones lineales) de la base (2).

“Coherent states via decoherence”.

- El entrelazamiento sobrevive la decoherencia, si el estado hace parte de la base preferencial.

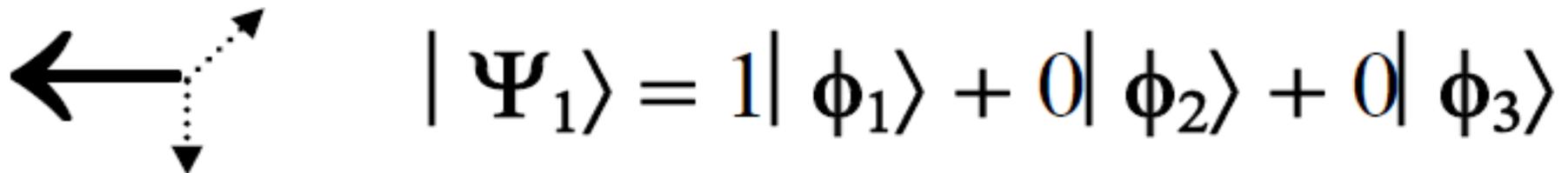
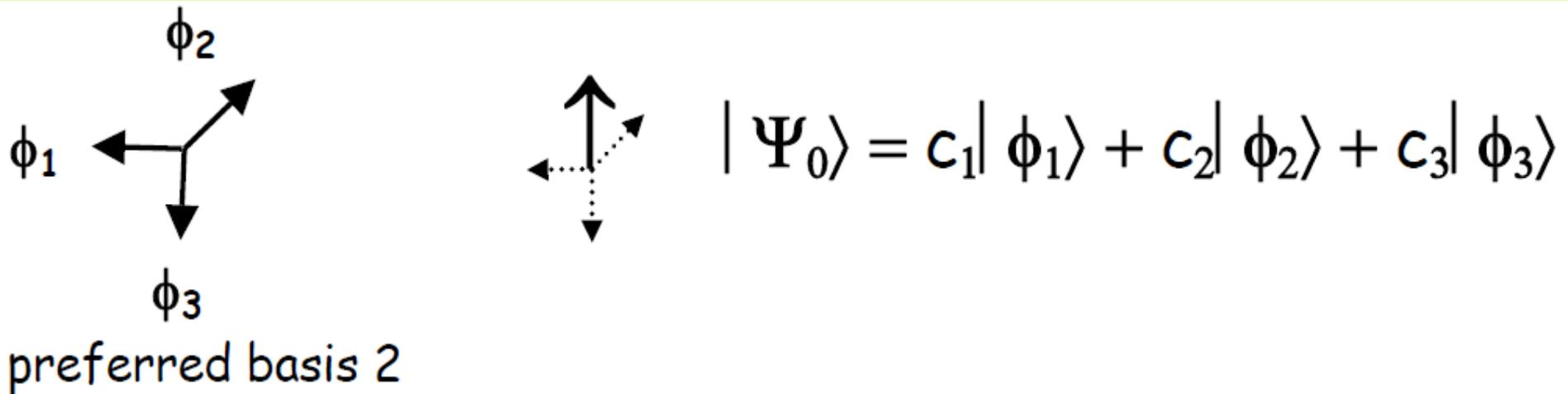


A diagram showing a central point with three arrows pointing outwards. The top arrow is solid and labeled $|\Psi_0\rangle$. The bottom-left and bottom-right arrows are dashed. To the right of the diagram is the equation $|\Psi_0\rangle = 1|\psi_1\rangle + 0|\psi_2\rangle + 0|\psi_3\rangle$.

$$|\Psi_0\rangle = 1|\psi_1\rangle + 0|\psi_2\rangle + 0|\psi_3\rangle$$

Una superposición estable en (1) se hace inestable en (2), de modo que se convierte en uno de los estados de la nueva base preferencial. La adaptación ocurre por reducción de la función de onda.

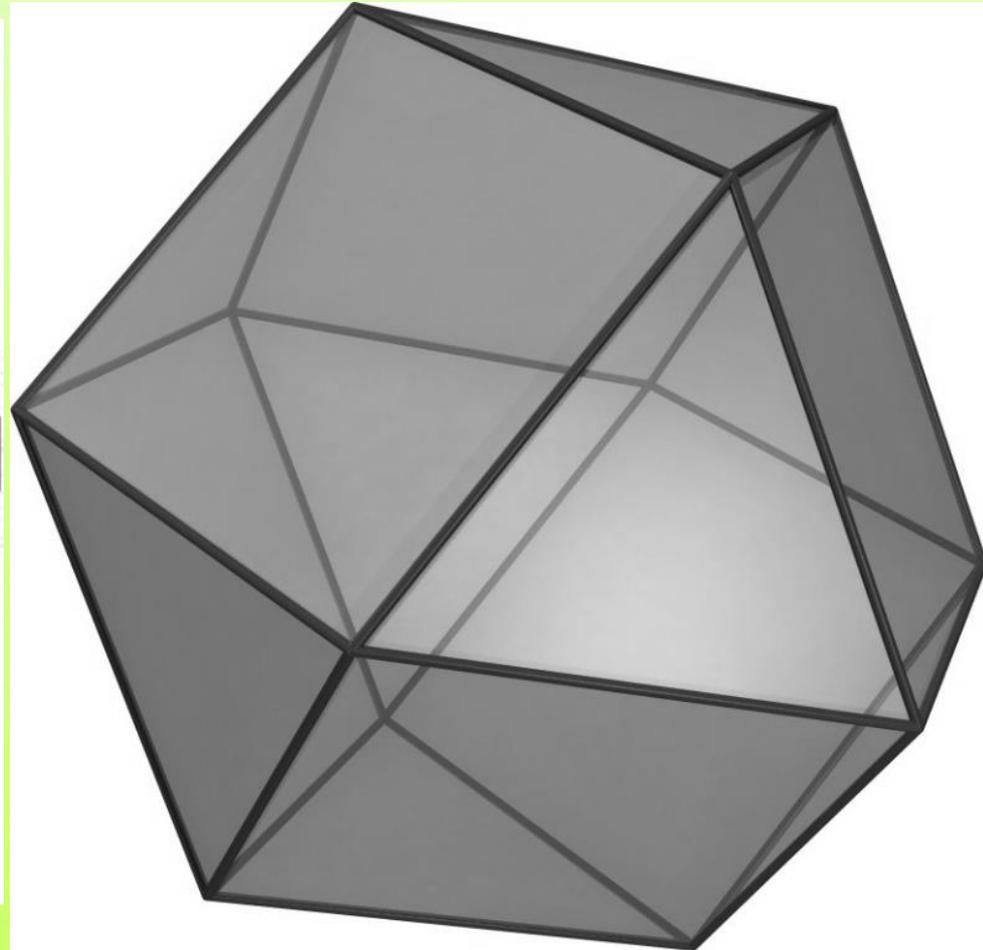
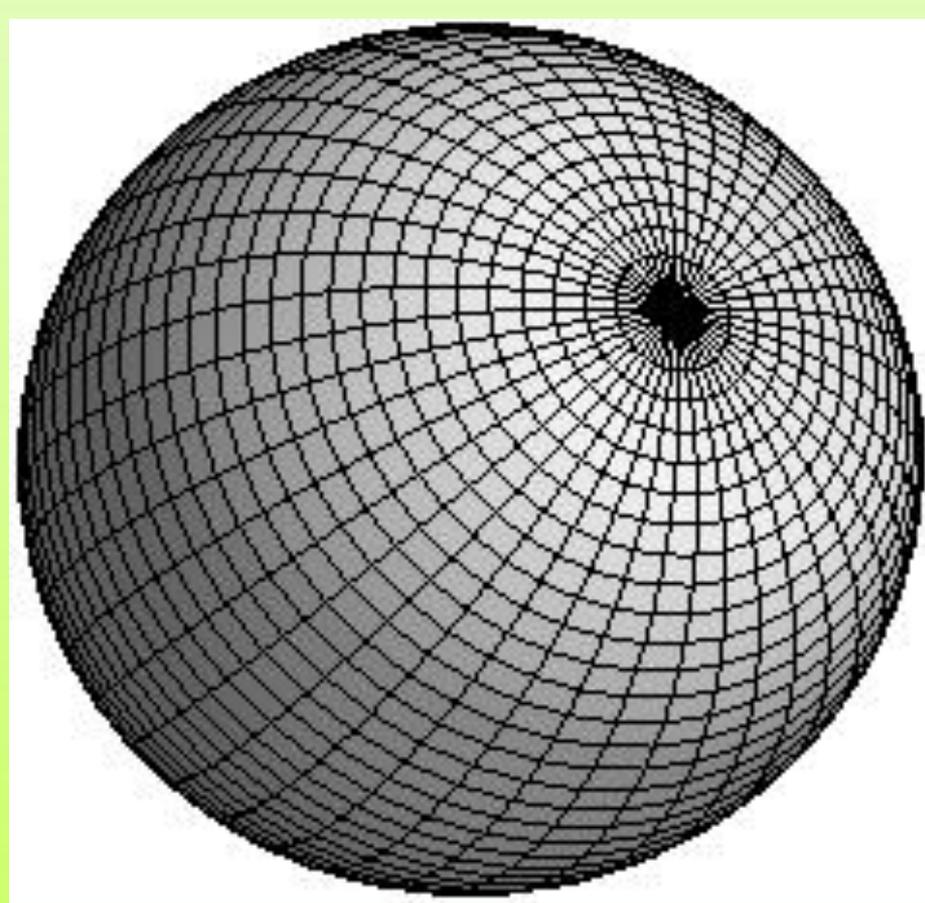
- Cambio de medio ambiente y adaptación



Propuesta alternativa: ni Copenhague, ni MWI

- La selección de historias decoherentes y consistentes no está mediada por la conciencia, sino por agentes procesadores de información “observadores internos” tipo IGUS.
- La interacción o medición no da lugar a pérdida abrupta de la coherencia cuántica. Se generan ramas evolutivas o “historias de vida consistentes”, fenómenos (más o menos) decoherentes que aparecen como actualizaciones reales de las posibilidades de un universo multi-ramificante.
- Los IGUS forman una red de observadores interactuantes, no equivalentes que perpetuamente generan observables exitosos y fallidos.

¿“Darwinismo clásico” o “darwinismo cuántico”?
¿Variaciones al azar? o ¿variaciones dependientes de la estructura del sistema en relación a su medio ambiente?



Is Quantum Darwinism (a process of multiplication of information about certain favored states that seem to be a “fact of quantum life”) in some way behind the familiar natural selection? I cannot answer this question, but neither can I resist raising it. (Zurek 2009)

Algoritmo darwiniano (D. Campbell, 2010)

- 1) Replicación y/o reproducción.
- 2) Generación de variantes heredables en la descendencia.
- 3) Supervivencia diferencial de acuerdo a las características que poseen.

Decoherencia (Zurek 2008)

- Cuando un sistema cuántico está entrelazado con una entidad presente en su medio ambiente, las propiedades de esta última determinan el tipo de información potencial que pasa del sistema cuántico al medio ambiente (actualiza).

**¿“Darwinismo clásico”? vs ¿“darwinismo cuántico”?
¿Variaciones al azar? vs ¿variaciones dependientes de la
estructura del sistema en relación a su medio ambiente?**

- No habría Darwinismo clásico porque no hay azar en la producción de las formas existentes.
- La interacción del sistema viviente con el medio ambiente genera los “estados indicadores o preferidos” en coherencia, a partir de los cuales el sistema elige el que se actualiza.
- La selección darwiniana solamente actúa formas actualizadas, las cuales constituyen un subconjunto pequeño del total de las posibles.

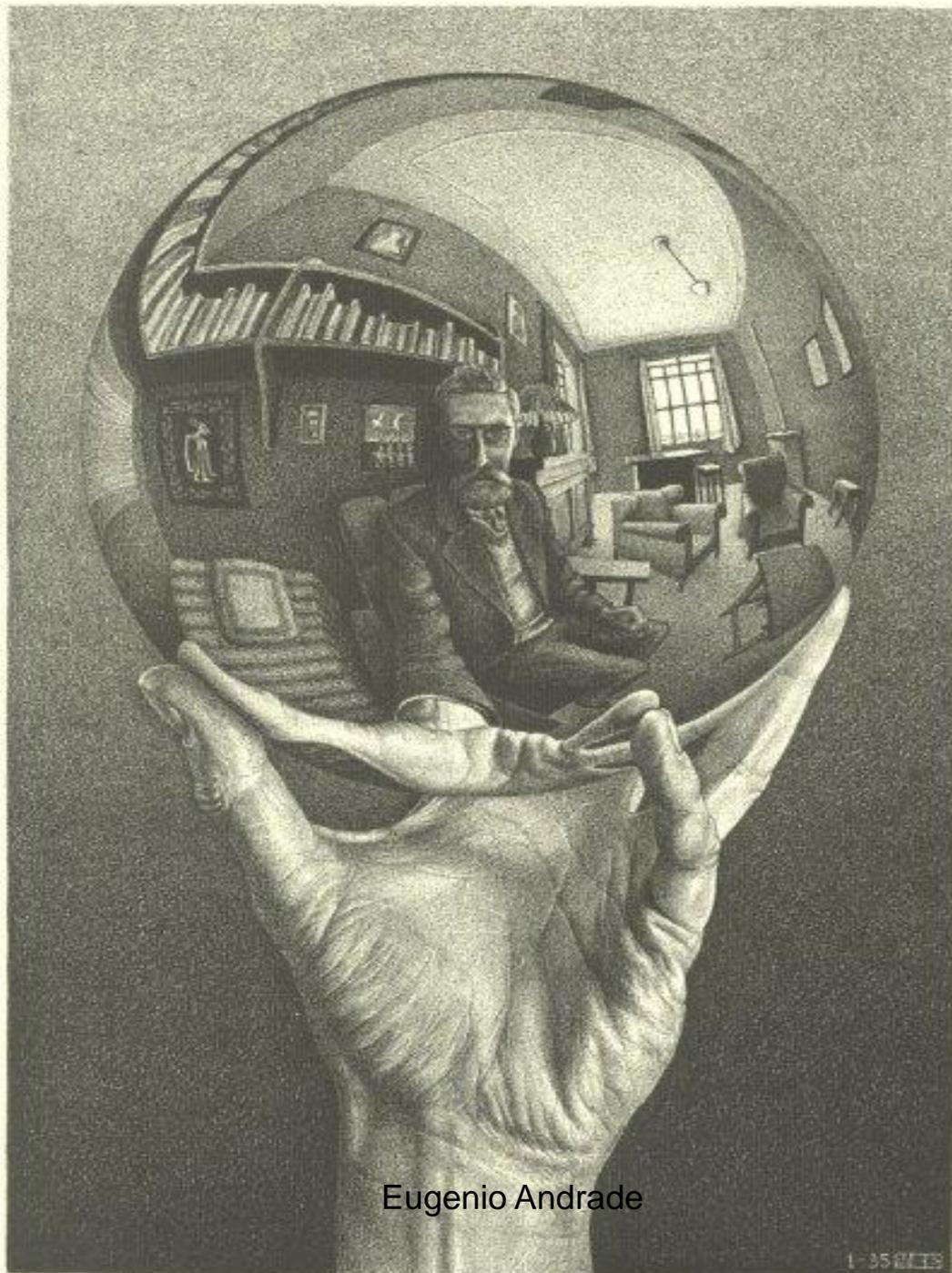
Ni darwinismo, ni lamarckismo clásicos

- “Because developmental mechanisms exhibit, variously, nonlinear, plastic and self-organizational properties, evolutionary transitions can be “saltational” (i.e., phenotypically abrupt), rapid, and influenced by environmental change in a direct (i.e., Lamarckian) fashion and not just as a consequence of selection of marginally favorable variants” Newman (2009)

Triada: sistema, entorno, observador

“El entorno se modifica de manera que contenga la impresión, el reflejo de un estado puntero, la representación de la probabilidad de un fenómeno mensurable, real”.

"The environment is monitoring the system. It is not just perturbing the system, it is sucking out information."



Eugenio Andrade

Interpretación semiótica de la medición cuántica

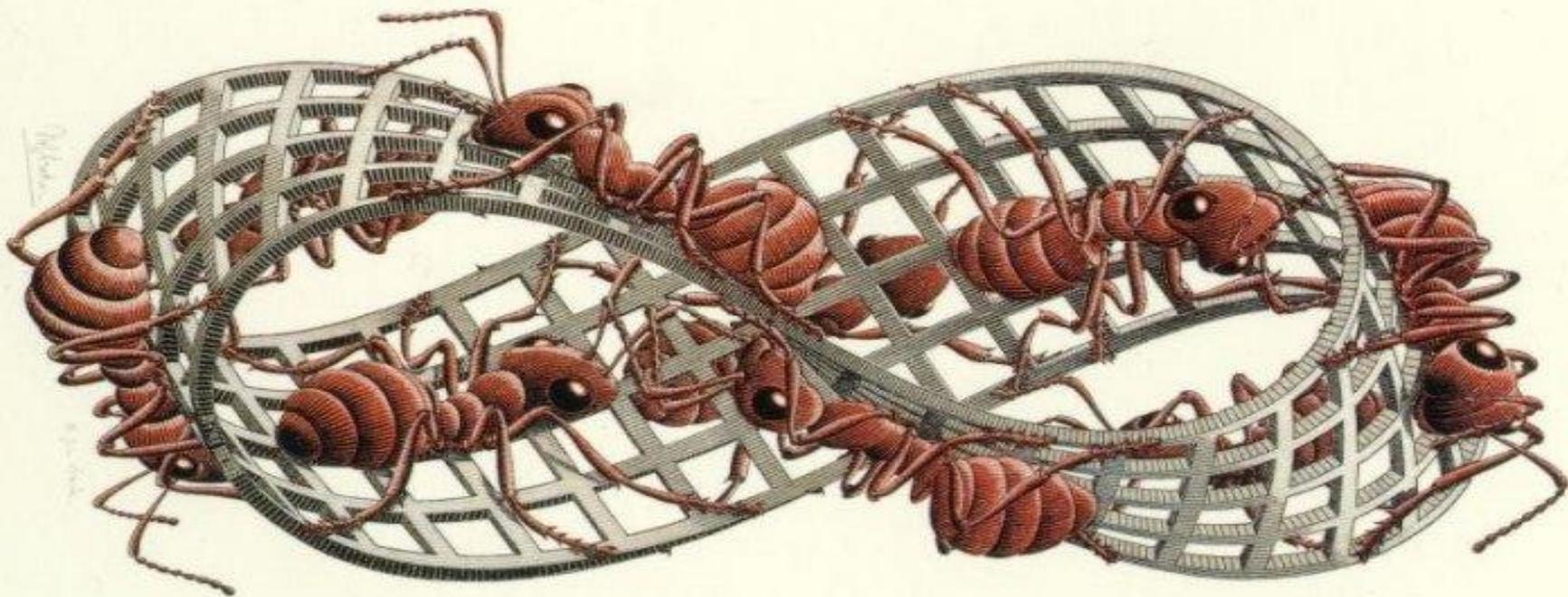
Inseparabilidad: sistema observador/entorno

- El medio ambiente que es medido incluye al sistema que observa que lo mide.
- El sistema observador a su vez posee una representación interna del medio ambiente que mide.
- La identificación de nuevos observables durante la medición genera la posibilidad de considerar al sistema y su entorno como un nuevo sistema que puede ser medido.

- (4). Implicaciones para la biología teórica.
- Información es la actividad que «actualiza potencialidades» en la ontogenia y «potencializa actualidades» en la evolución, dando lugar a una creciente diversificación y especificación de las formas de vida.
- La información no es únicamente una noción epistémica sino que además se refiere a una realidad ontológica, es decir, a una actividad intrínseca de la naturaleza que da forma a la “materia-energía” de acuerdo a procesos físicos (termodinámicos y cuánticos) y al mismo tiempo, semióticos, en el sentido que depende de la emergencia de sistemas organizados que «interpretan» diversos factores que coinciden contingentemente en un espacio-tiempo definido.

Autorrefeencia en sistemas complejos adaptativos

- Tres variables: S , el efecto de E sobre el S , y el efecto de S sobre E .
- S posee representación interna de E .
- S incorporan información de E .
- S responden a los cambios de E .
- Variables:
 - 1) S
 - 2) $E \Rightarrow S$
 - 3) $S \Rightarrow E$



Sistemas complejos adaptativos

- Anticipan los resultados alcanzables óptimos que resultan de la interacción con el medio ambiente y ejecutan bajo su control las acciones tendientes al resultado previsto.
- El vector de estado (modelo interno) ejecuta simulaciones computacionales de las interacciones S/E.

¿Qué es un sistema complejo adaptativo?

E. di Paolo (2009)

- Los sistemas cambian ante las perturbaciones ambientales para sobrevivir:
- 1. mantenimiento de dinámicas internas (conductuales, ontogenéticas, fisiológicas, metabólicas) y 2. interacciones con el ambiente.
- **RESULTADO:**
- Tendencia a evitar situaciones riesgosas y a buscar las más favorables.

In other words, every ontogeny as an individual history of structural change is a structural drift that occurs with conservation of organization and adaptation. We say it again: conservation of *autopoiesis* and conservation of adaptation are necessary conditions for the existence of living beings; the ontogenic structural change of a living being in an environment always occurs as a structural drift congruent with the structural drift of the environment. This drift will appear to an observer as having been “selected” by the environment throughout the history of interactions of the living being, as long as it is alive, (Maturana & Varela 1992).

Adaptación

- Henry Plotkin (1993): Las adaptaciones son una forma de conocimiento del entorno.
- Karl Friston (2007): los sistemas adaptativos poseen un modelo interno de su entorno y pueden reaccionar a los cambios del entorno, mediante el cambio de sus interacciones con el entorno.

development as an *epigenetic process*

FROM

genotype + environment = phenotype

TO

genotype + *epigenotype* + environment = particular phenotype

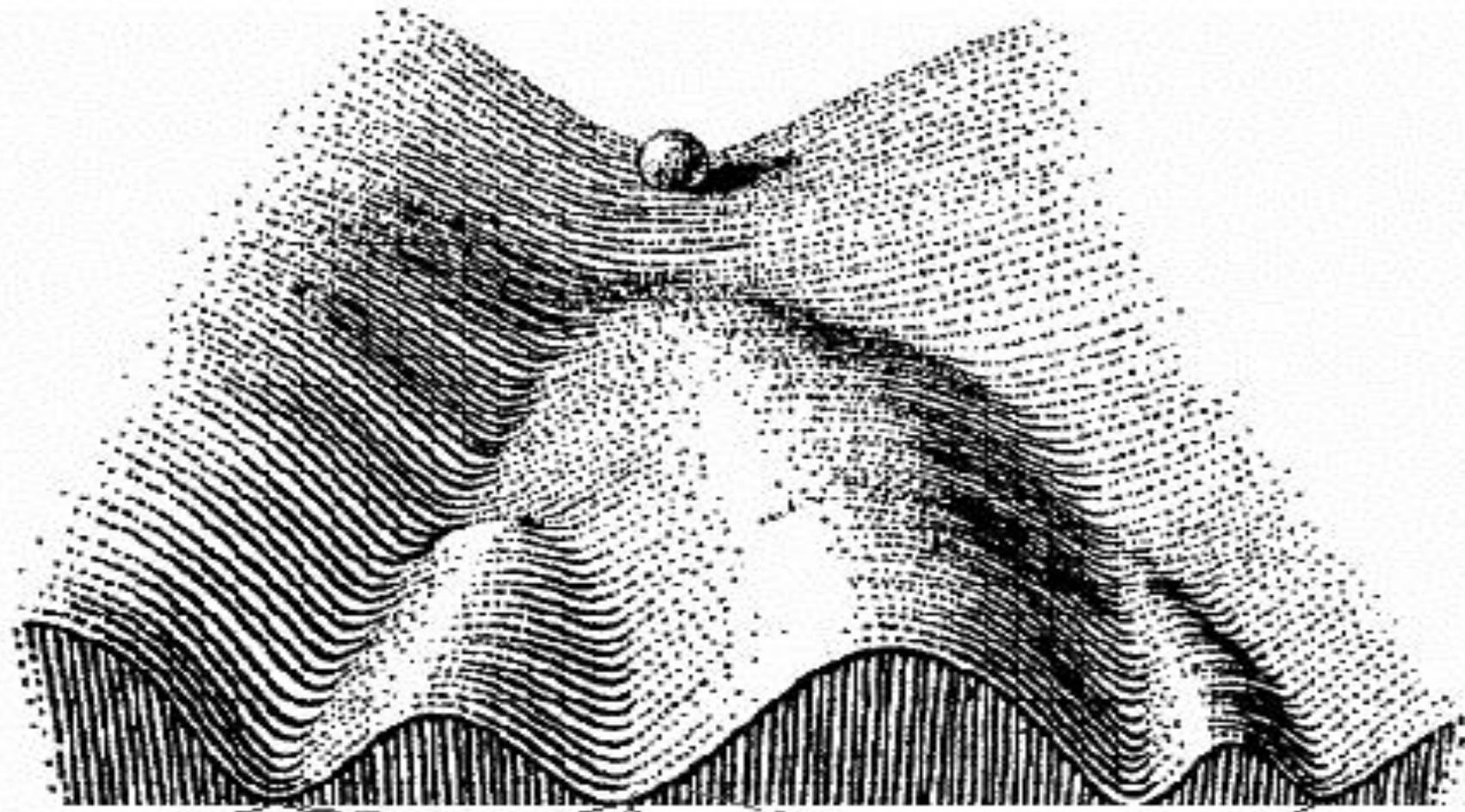
⇓

= epigenetic constitution of tissue/cell

= set of organizers and organizing relations to which tissue is subject during development

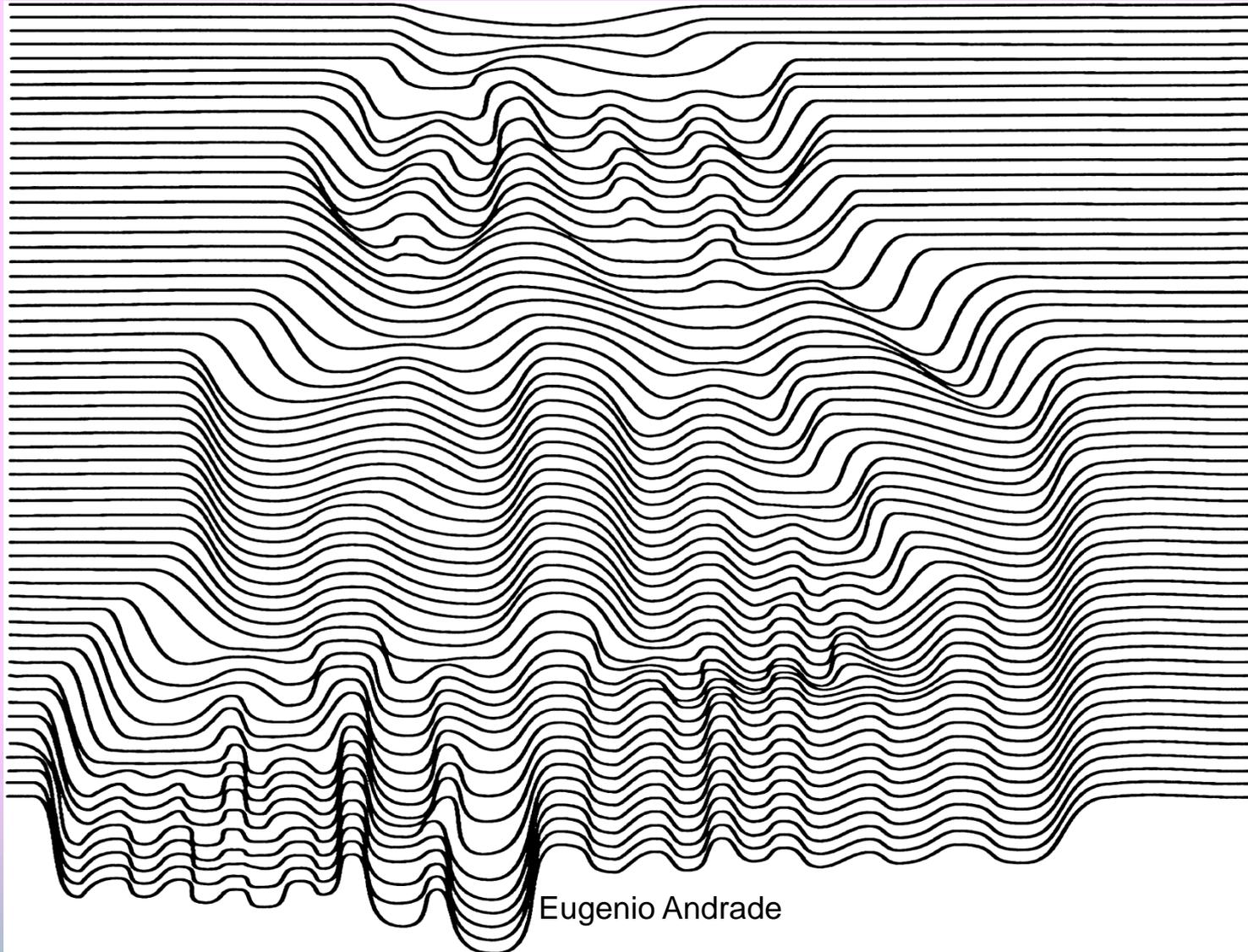
FIGURE 2. Scheme of Waddington's expansion of the classical model on the phenotype-genotype distinction.

Epigenetic landscape. The Strategy of the Genes: A Discussion of Some Aspects of Theoretical Biology (p. 29), by C. H. Waddington, 1957, London: Allen & Unwin. Copyright 1957 by Allen & Unwin.



Adaptación del paisaje epigenético de Waddington Esther Thelen y Linda B. Smith . A dynamic systems approach to the development of cognition and action. Cambridge, MA: Bradford Books/MIT Press. (1994).

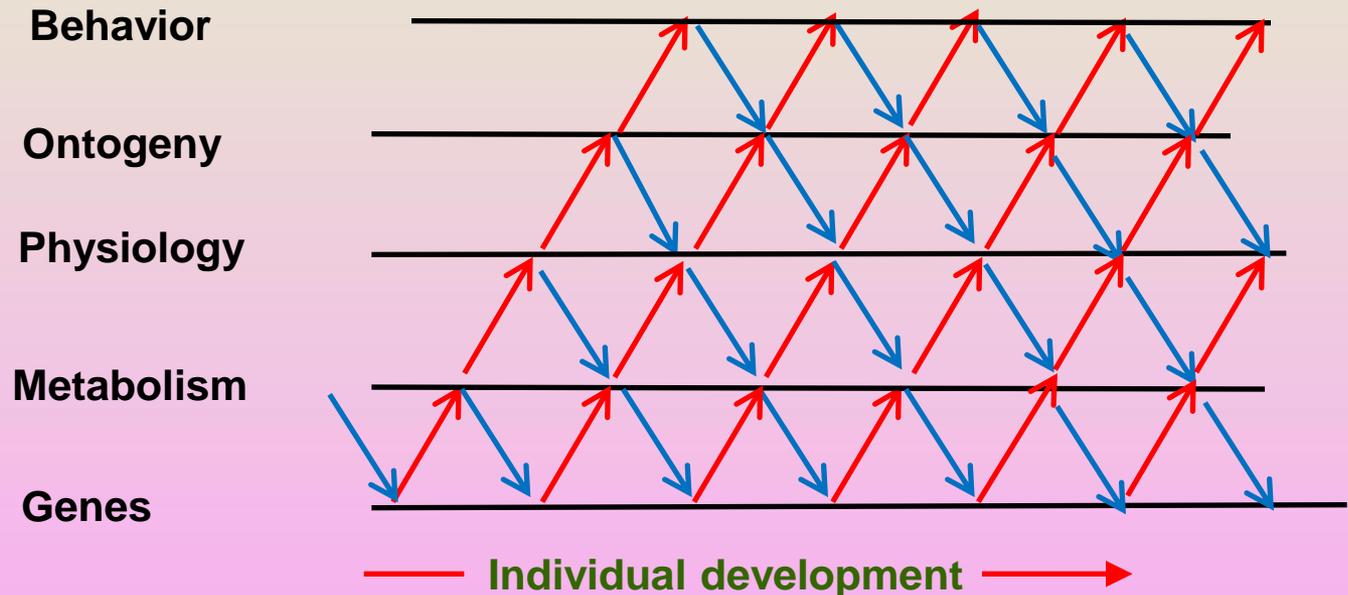
El desarrollo se representa como una serie de atractores que evolucionan y se disuelven con diferentes grados de estabilidad.



Eugenio Andrade

Interactions stabilize phenotypic adjustments

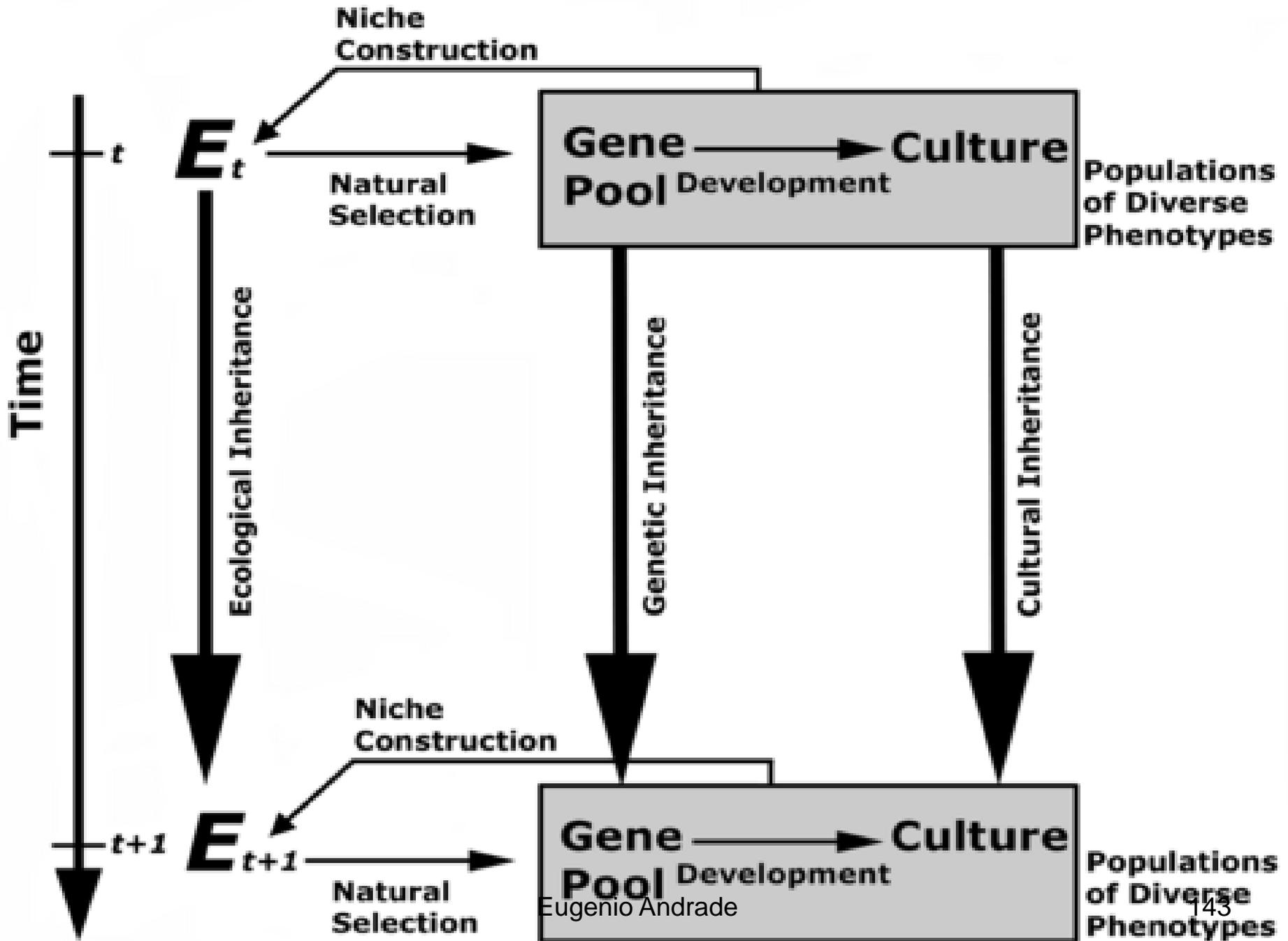
(metabolic, physiologic, ontogenic, behavioral)



Bidirectional informational flows between
phenotype (downward) and **genotype (upward)**
(modified after Gottlieb 1991)

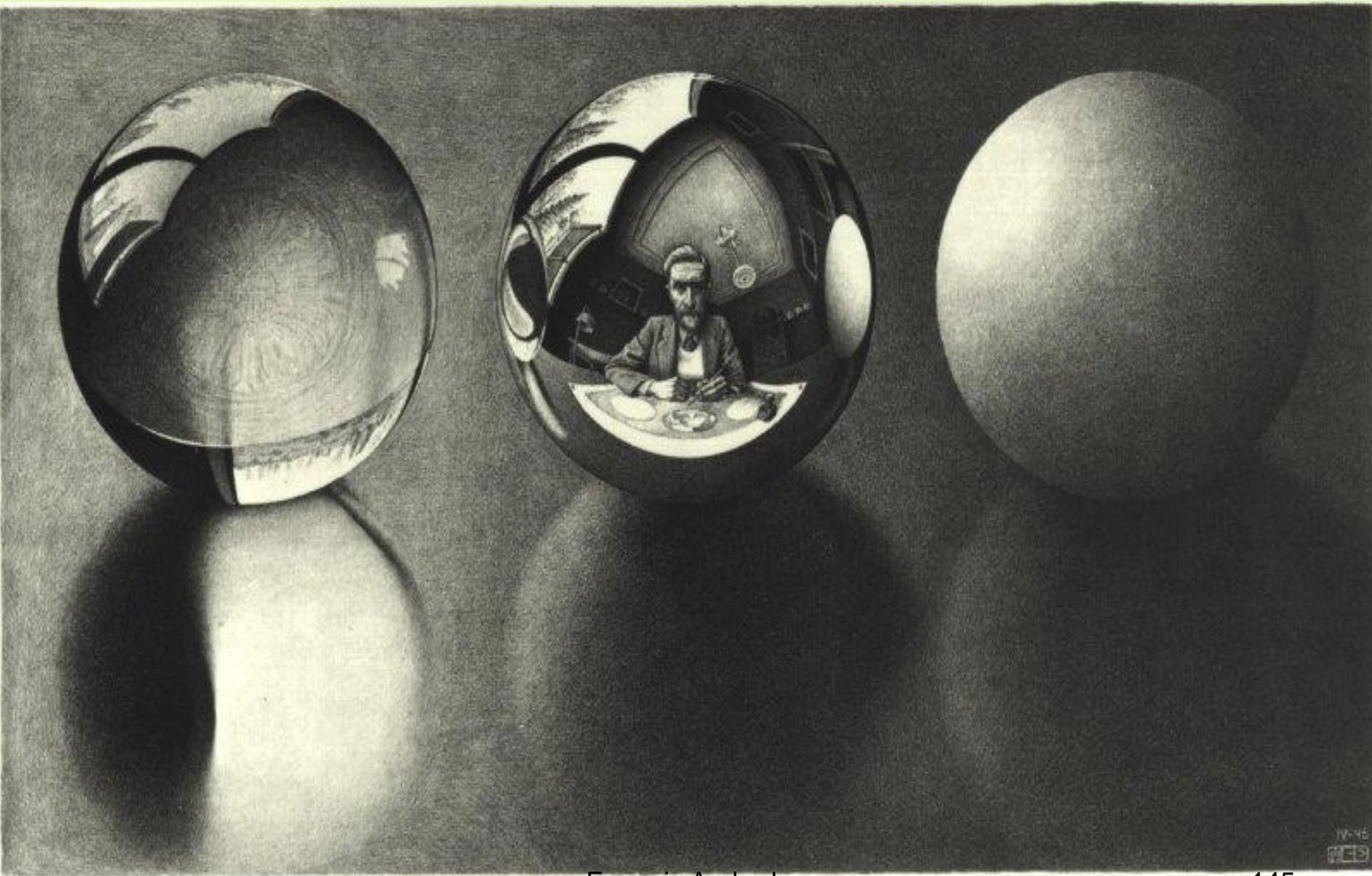
IGUS entre física cuántica y biología

- Los eventos morfo-genéticos emergen como ajustes al medio ambiente al que intentan adaptarse.
- La incertidumbre disminuye en el proceso de formar nuevas estructuras emergentes con el aumento de correlación entre el sistema y su entorno.
- Sistemas semi-clásicos surgen de las elecciones hechas por los IGUS de entre los ajustes realmente posibles.



Ramón Margalef

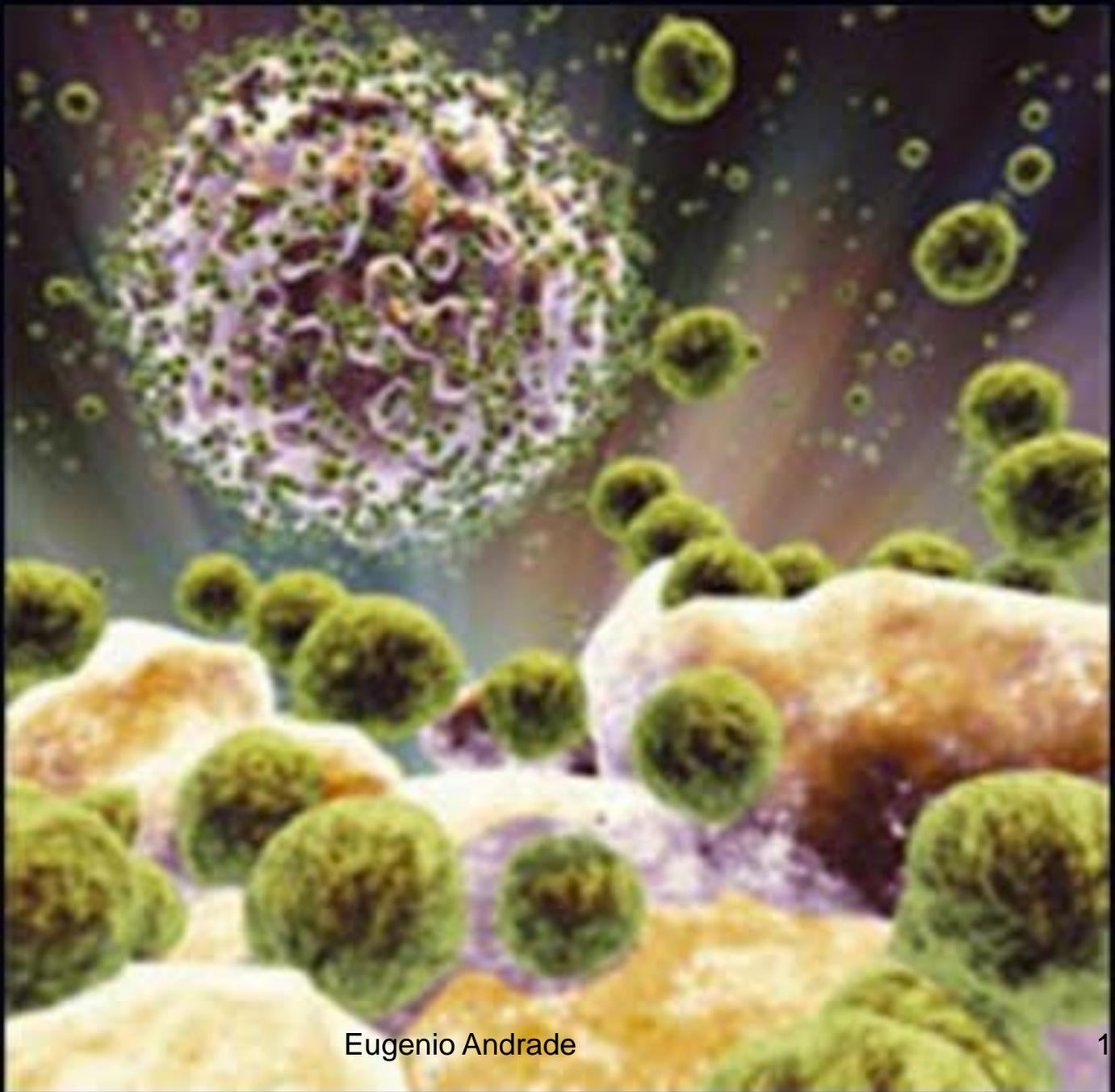
- “Basically it is a matter of examining whether decision processes that define who will survive and who will die are really uniform. **There is a suspicion that organisms themselves, depending upon the degree of organization, can modify decision processes that were very simple in the past, making them more complicate along evolution.** In this manner there would be an evolution in the forms of natural selection, and therefore, an evolution of evolution, that is coherent with **information’s surprising capacity to fold back on itself .**” (Margalef 1996, p. 122).



Eugenio Andrade

Aristotle: in-formation as embryogenesis

- 1. Potency (intrinsic to formless matter),
- 2. Form (definite matter-form),
- 3. Entelechy (έντελέχεια) .
- Continuous, permanent and sustained action, that is directed to the full achievement or manifestation of a given potential.
- The intrinsic tendency of a system that strives to actualize a form.
- Living forms.



Hans Driesch:

La “entelequia” impone y levanta restricciones

“Entelechy, the locomotive engine driver, by way of repairs has the ability to influence at any time in each of its parts the engine subordinate to him, although often and for large stretches leaving it free to run by pure machine activities”.

“Driesch concept can be seen as endogenous sources of information, like genetic, cytoplasmic factors and epigenetic or given by cell to cell interactions, chemical signaling, maternal inheritance, growth and induction factors, receptors, hormones, etc.” (Muller 1996).

Susan Oyama (2000): Information as ontogeny

Information emerges all along ontogeny by the confluence of a diversity of formative external and internal factors that include not only genes but chemical signals, hormones, nutritional, behavioral, environmental, social, and cultural factors that contribute to the form or morphogenetic process.

The *entelechy* would be not only the genetic program but rather the coincidences in space and time of all formative factors.

Stuart Kauffman (2000, 2008):

Information as propagation of organization

Propagation of organization is an actualization of form whenever a constraint acts on an amorphous matter that tends to expand and vary isotropically.

Among all imaginable forms only a minor fraction are in fact really possible and attainable in a precise moment of life history. The set of all real possibilities that can be reached in one evolutionary step are dubbed “adjacent possible” and it tends to grow with the increase of diversity of really existing entities.

Adjacent possible

Consists of all those things (depending on the context, i.e. ideas, molecules, genomes, technological products, etc.) that are one step away from what actually exists, and hence can arise from incremental modifications and recombinations of existing material.

“The strange and beautiful truth about the adjacent possible is that its boundaries grow as you explore those boundaries”.

S. A. Kauffman, *Investigations*
(Oxford University Press, New York/Oxford, 2000).

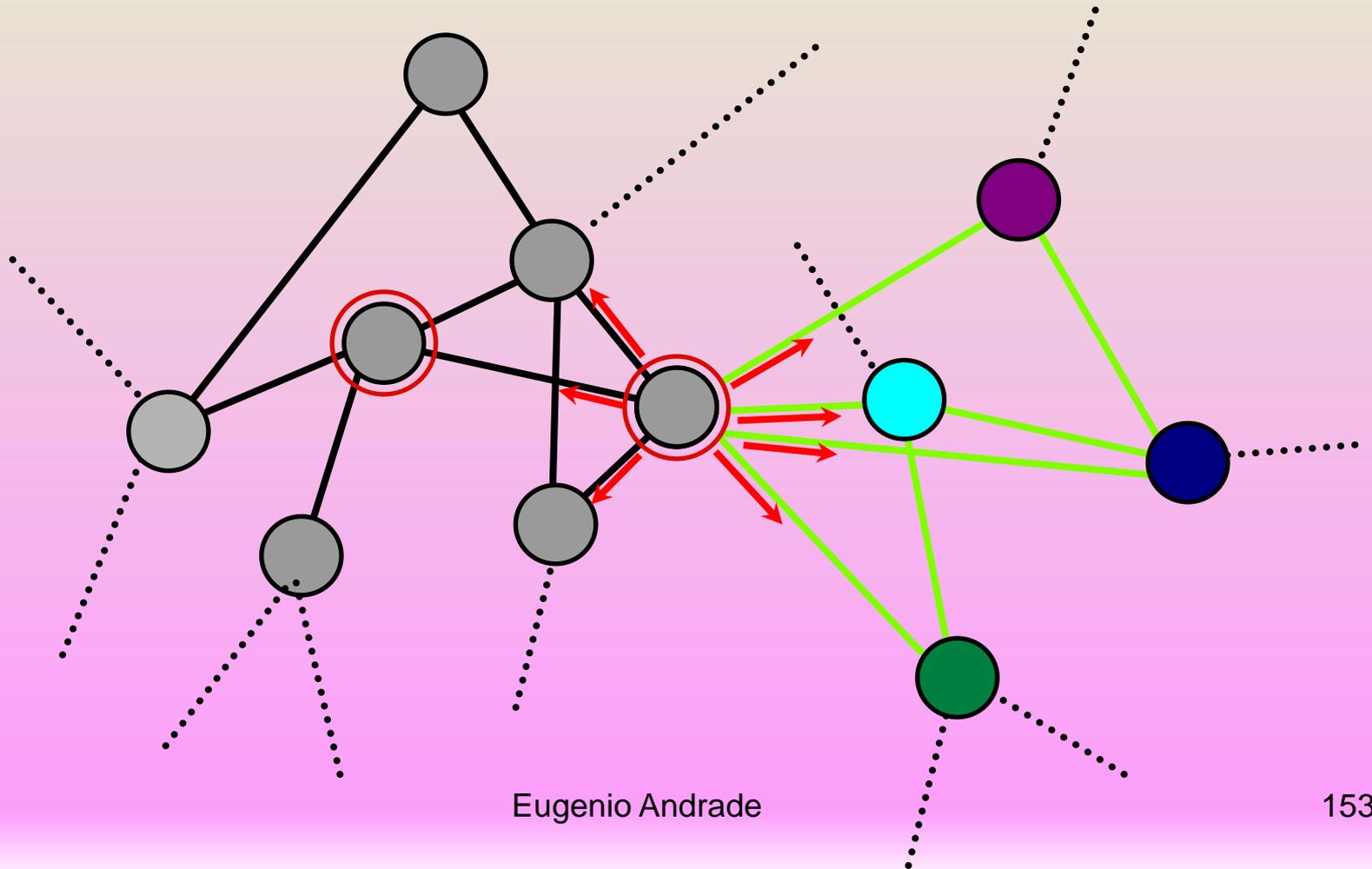
Eugenio Andrade



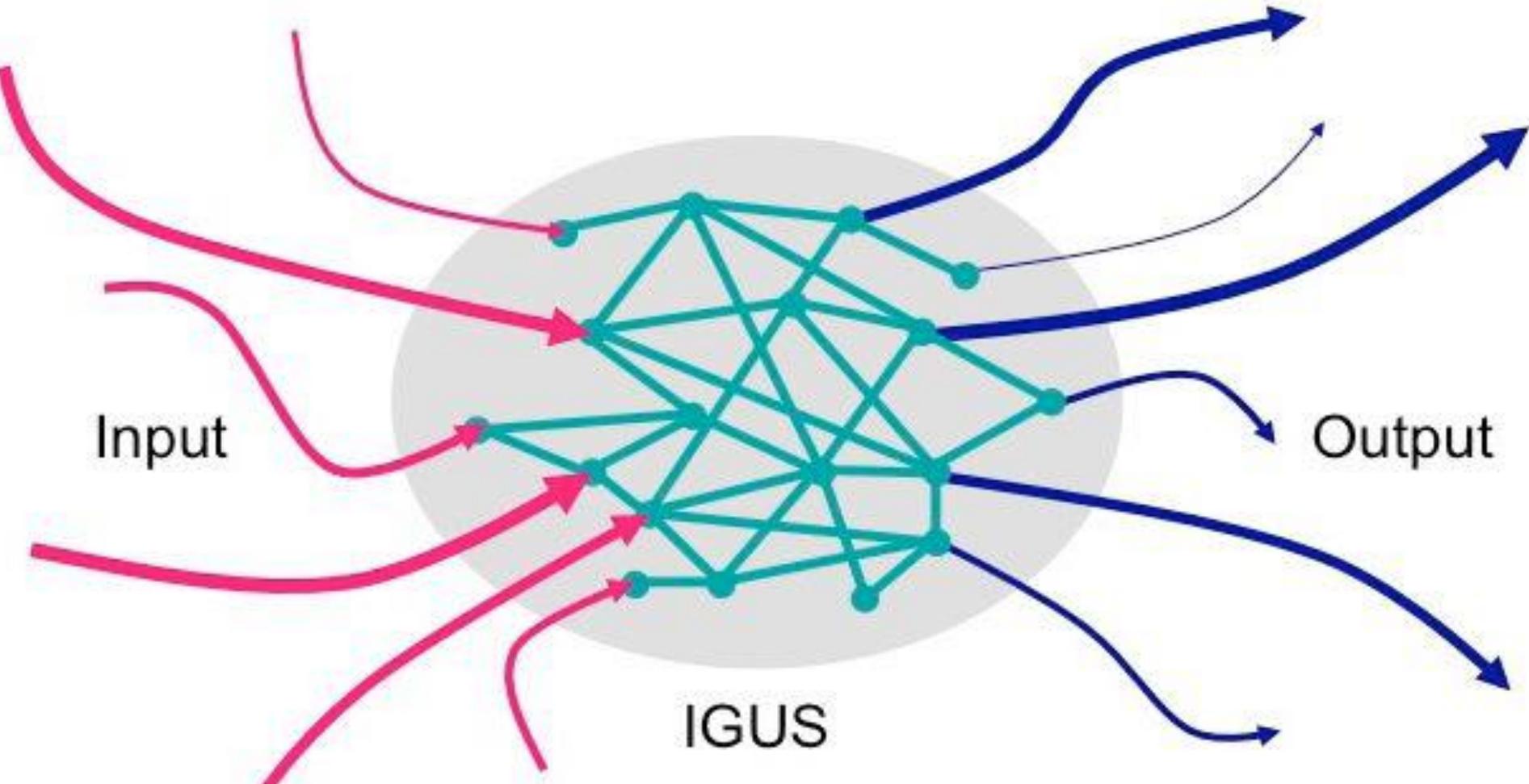
Eugenio Andrade

152

El posible adyacente



Information gathering and utilizing systems (IGUS) provide a general conceptual frame for systems which, as most living organisms receive data on their environment from sources possibly far away in space and time, store and process them forming cross-connections even between completely uncorrelated facts, to trigger effects that again can be spatially and temporally very remote from the IGUS. (Dittrich, 2013).



Investigaciones. Kauffman (2.000)

- No entendemos la relación entre materia, energía e información.
- La información necesita un interprete.
- La propagación de la organización por agentes autónomos puede describirse físicamente en términos de información, pero se requiere un interprete u observador.
- Es necesaria la inclusión del observador en las definiciones de organización e información.

Armando Aranda Anzaldo (2011)

- Ontological status of *entelechy*.
- Upon the mathematical morpho-space of all possible forms there are constraints that make that only few forms can be really actualized along evolutionary history.
- The morpho-space of possible forms has structure and is real in a potential mode, yet to be actualized.

Charles S. Peirce (1906): Information

Epistemic: Information is the understanding of processes that shape the world and enable the generation of new possible forms .

Ontic: Actualization of a potential all along development and evolution.

Logic: Nature from a reduced number of things and/or events, that are described with a reduced number of predicates, has brought forth along evolution a great diversity of forms (beings, things, objects, events, ideas,) that require a greater number of predicates for their description.

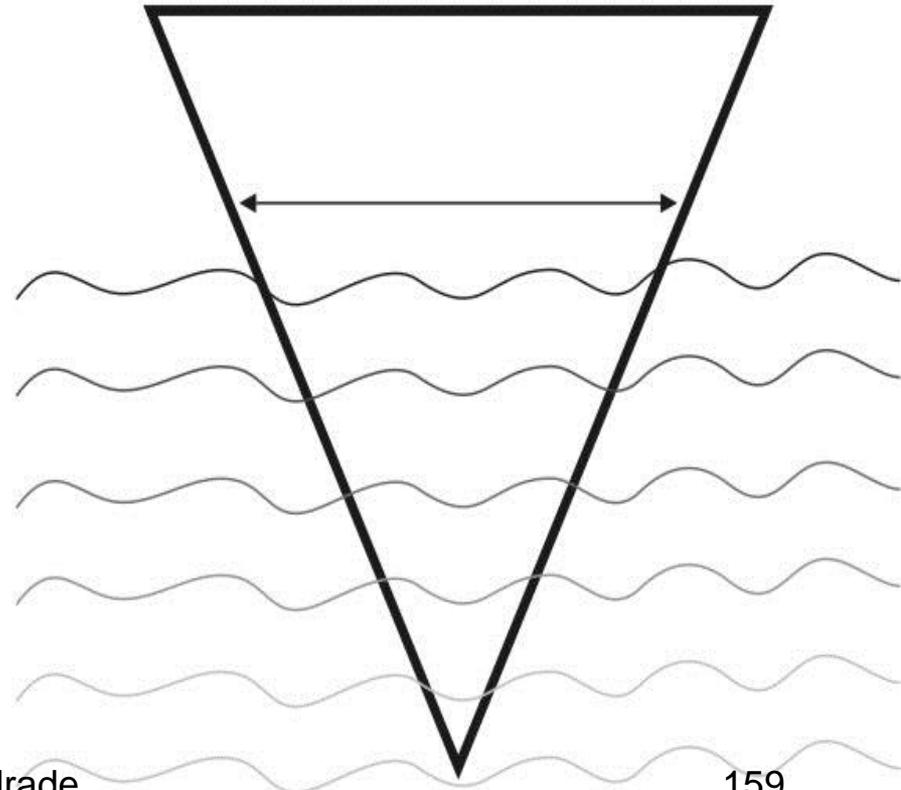
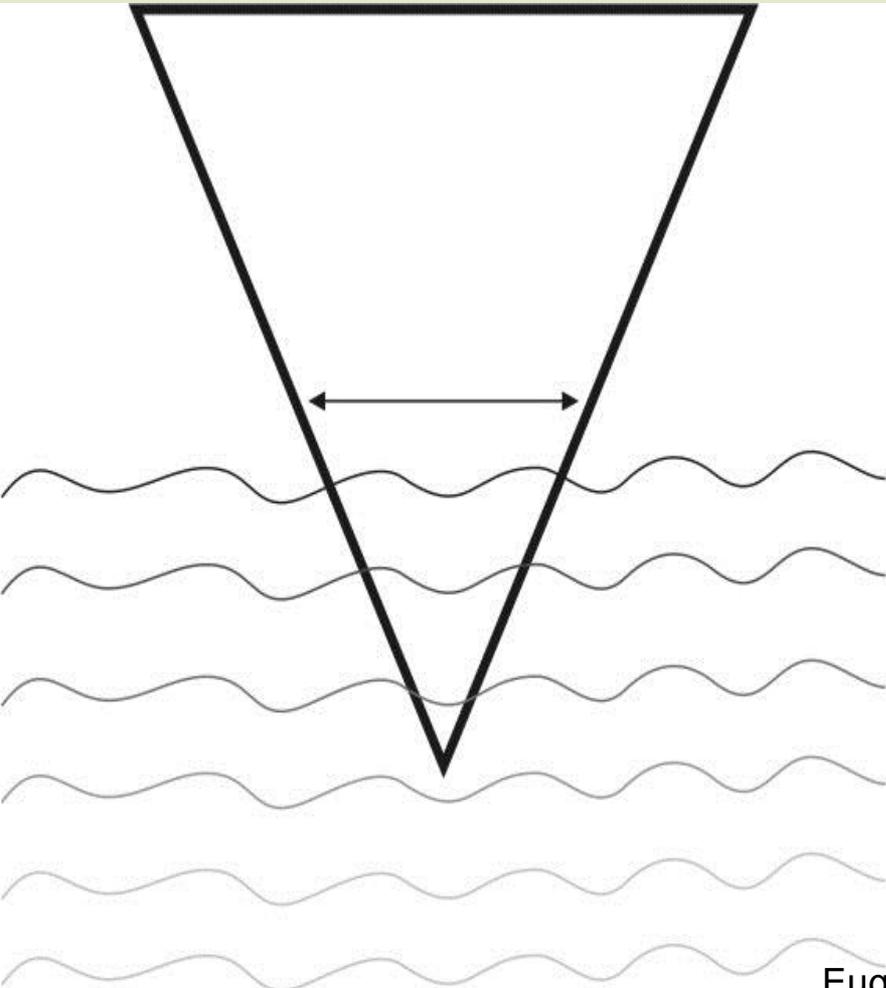
Información = semiosis

Es el proceso de comunicar una forma, de un objeto a un interpretante por intermedio de un signo.

Ontológico: Forma = estructura, patrón de organización

Epistemológico: Forma = idea, conocimiento

$$\Delta \mathbf{I}_{\text{total}} = \Delta \mathbf{I}_{\text{depth}} \times \Delta \mathbf{I}_{\text{breath}} \geq 0$$



Charles S. Peirce (1906): Información

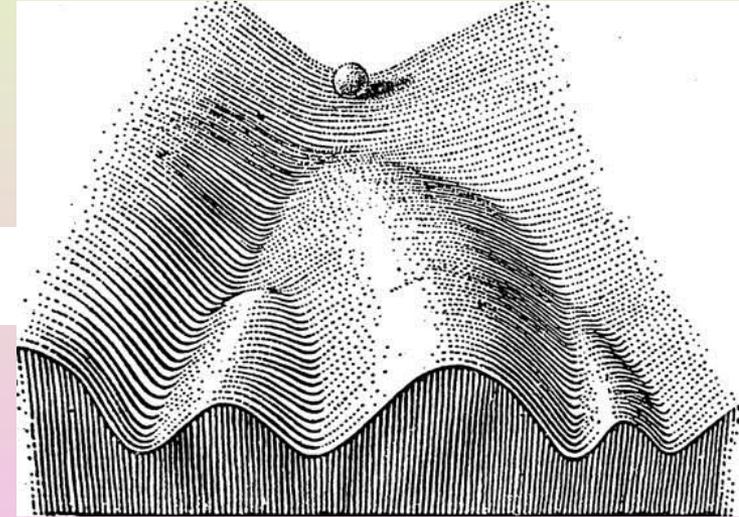
- La información a escala global aumenta, dada la conexión existente entre potencia y acto, mediada por una compleja red de iteración de SIGNOS.
- **Categorías:**
- 1º Potencia, posibilidad cualitativa, ausencia de restricciones, superposición, dominio cuántico, ...
- 2º Actualidad, hecho crudo existente, restricciones, decoherencia, dominio clásico, ...
- 3º Intermediación, continuidad, acción restrictiva, actividad permanente, apertura a nuevas posibilidades ...

La Ontogenia actualiza posibilidades



DNA

Ontogenetic trajectory



Fertilized egg



Eugenio Andrade

La evolución potencia actualidades



Ecological niche

DNA

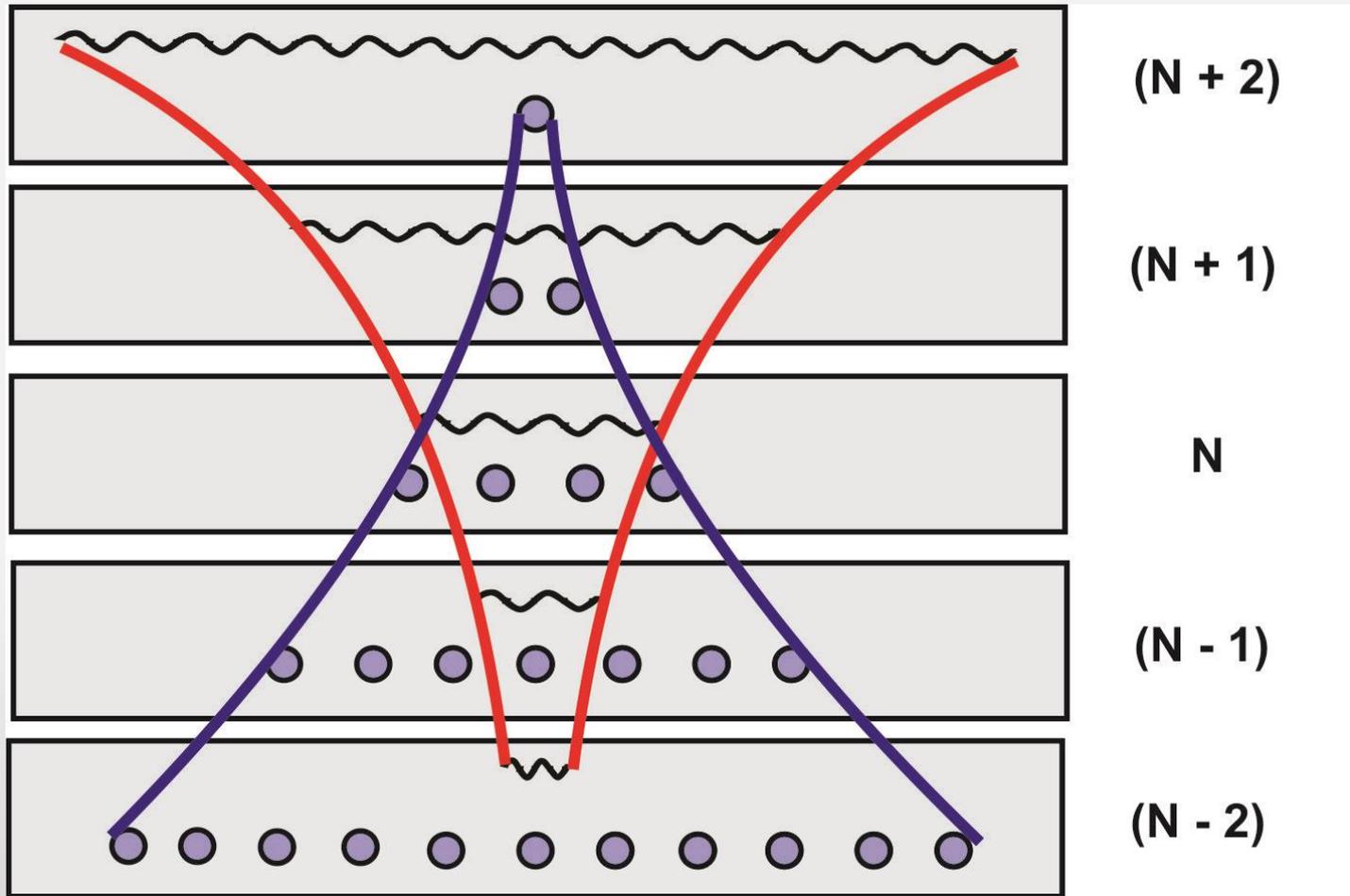


Lineage*



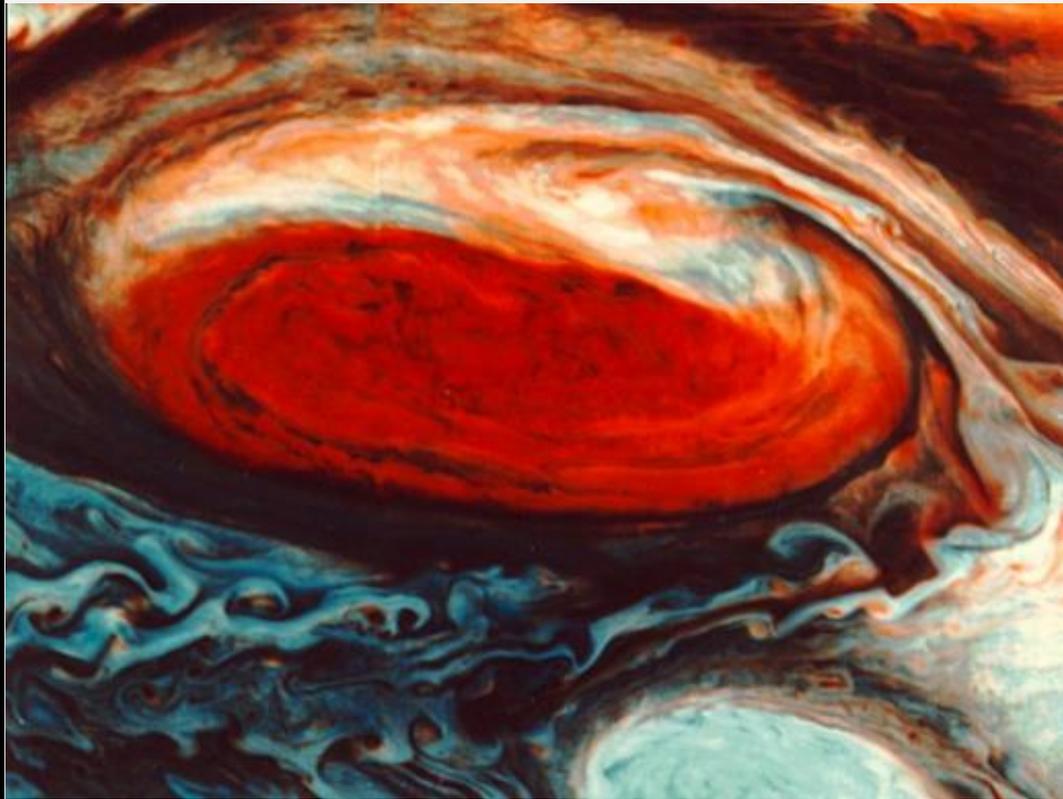
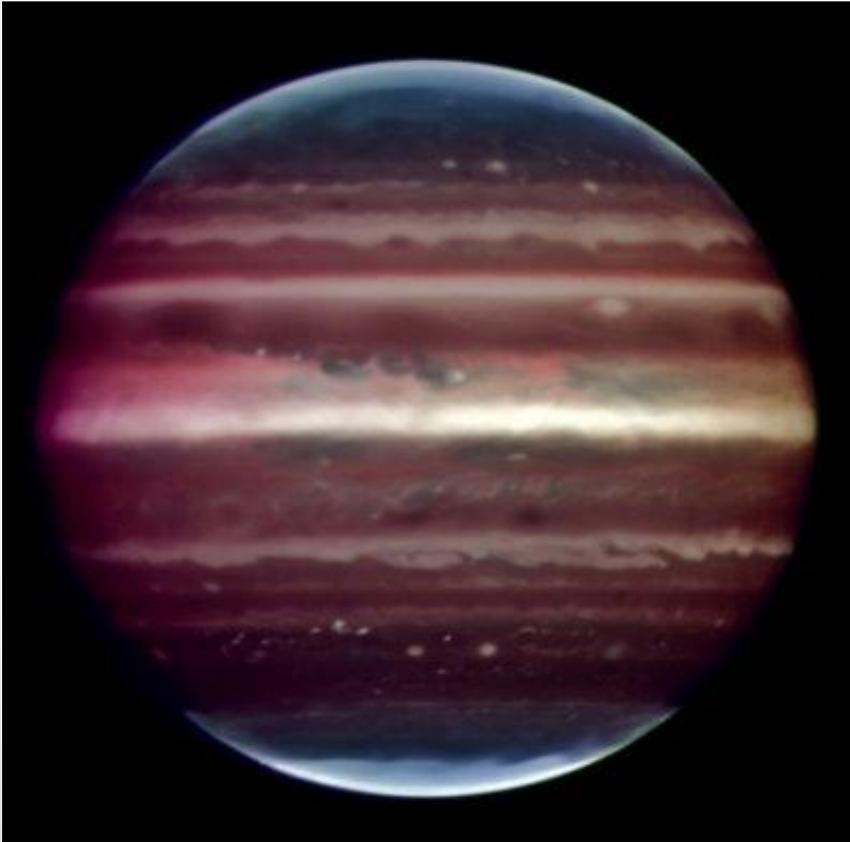
Eugenio Andrade

Sistemas jerárquicamente organizados



Longo and Montévil (2011)

- “A living organism is a system. And entanglement, non-locality, non-separability, superposition, whatever these concepts may mean in biology, may present themselves both at each specific level of organization and in the interactions between levels of organization”.





Belousov & Žabotinskij

Eugenio Andrade

166

Estructura disipativa

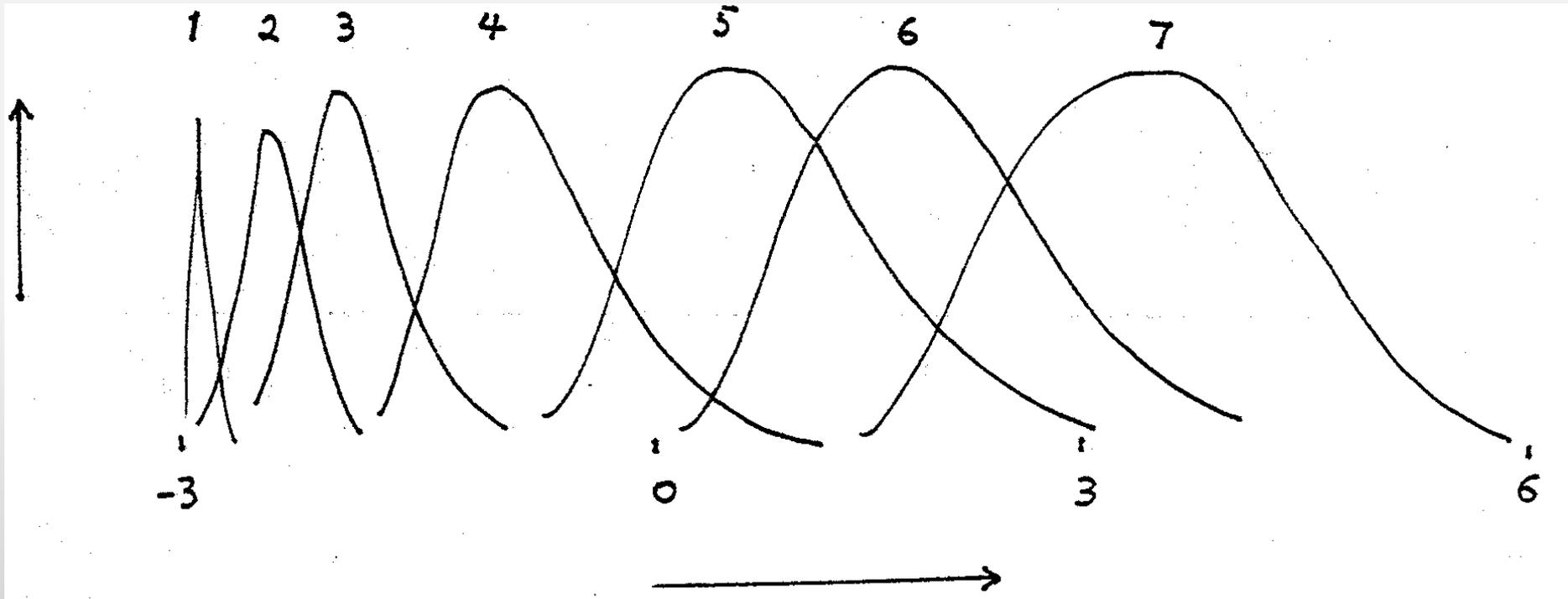
- La organización se mantiene en un estado estacionario (*steady state*) por el flujo de sustancias químicas y energía.
- Una célula es una heterogeneidad organizada.
- Compartimentalización espacial que a nivel de micro-dominios mantiene procesos en estado estacionario.
- Maquinas moleculares que mantiene ciclos autónomos.

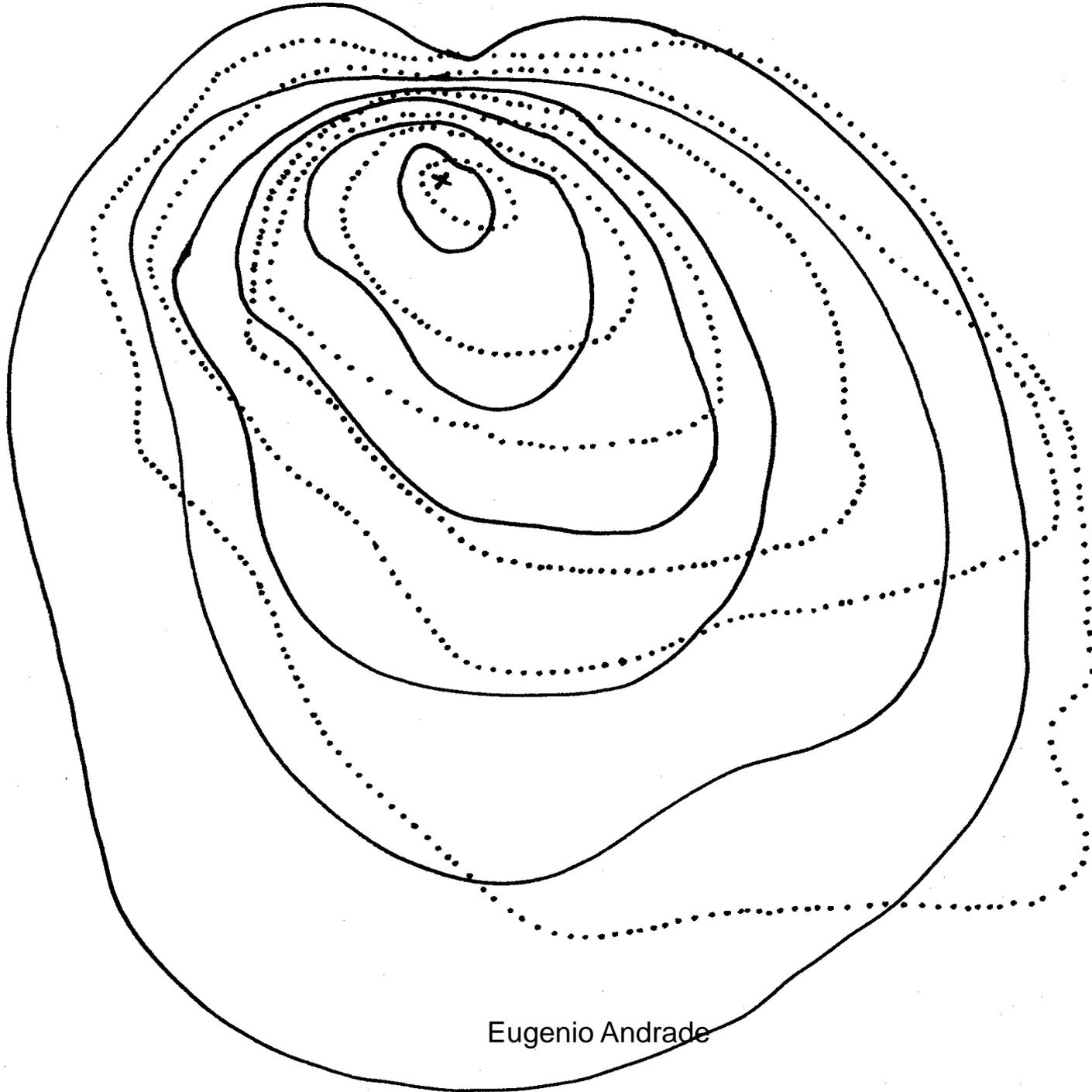
Estados estacionarios

- Son conglomerados de procesos con estructura espacio temporal.
- Escalas de tiempo:
- Transferencia energía de resonancia $\leq 10^{-14}$ seg.
- Pulso de acetilcolina que abre canal de sodio 10^{-3} seg
- Flujos de Ca^{+2} al interior de la célula 10^{-2} seg
- Reacciones actina miosina, $\text{ATP} = \text{ADP} + \text{P}_i$ 10^{-1} seg
- Contracción muscular 1 a 10 seg
- Ciclos de contracción relajación 10^2 a 10^3 seg
- Transcripción de genes 10^3 seg
- Cambios musculares y mejoramiento 10^6 seg.

Integración de procesos en el tiempo.

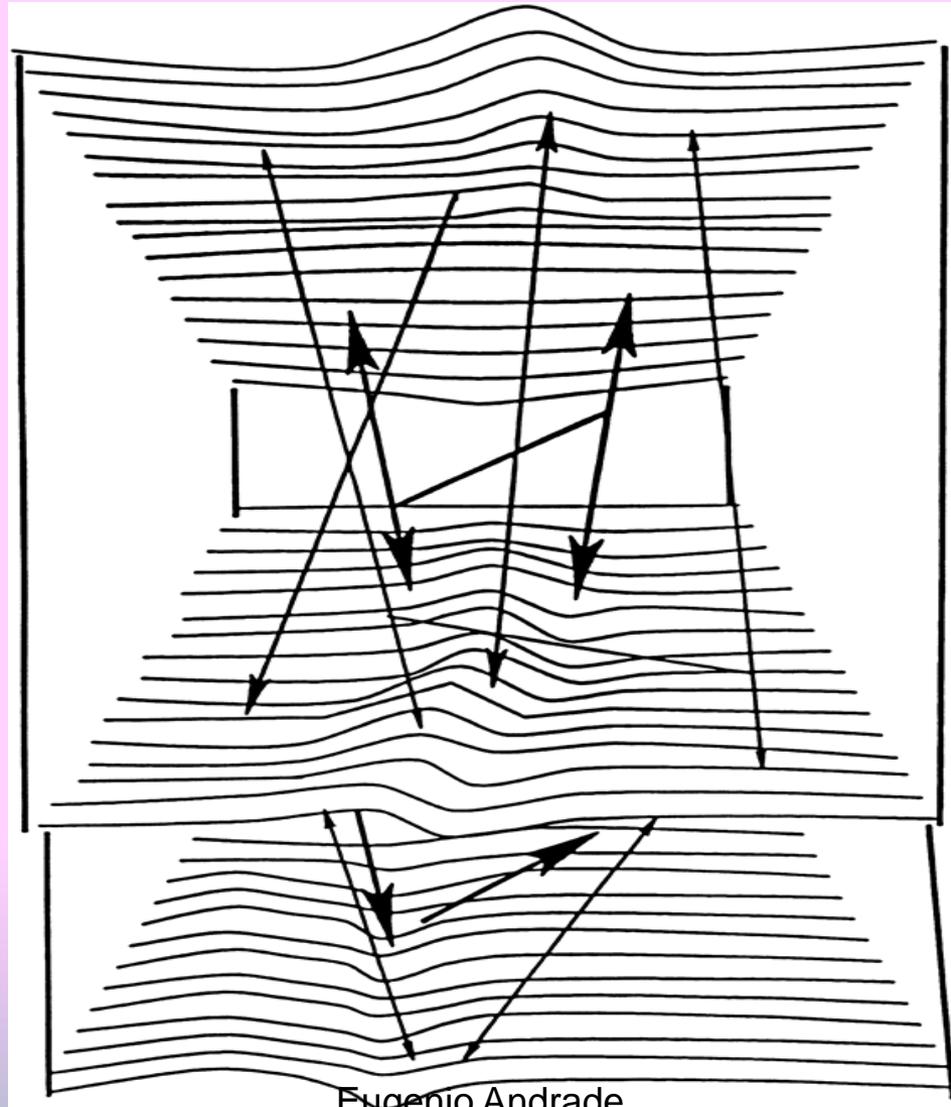
El eje horizontal es tiempo en segundos, (log. en base 10).





Eugenio Andrade

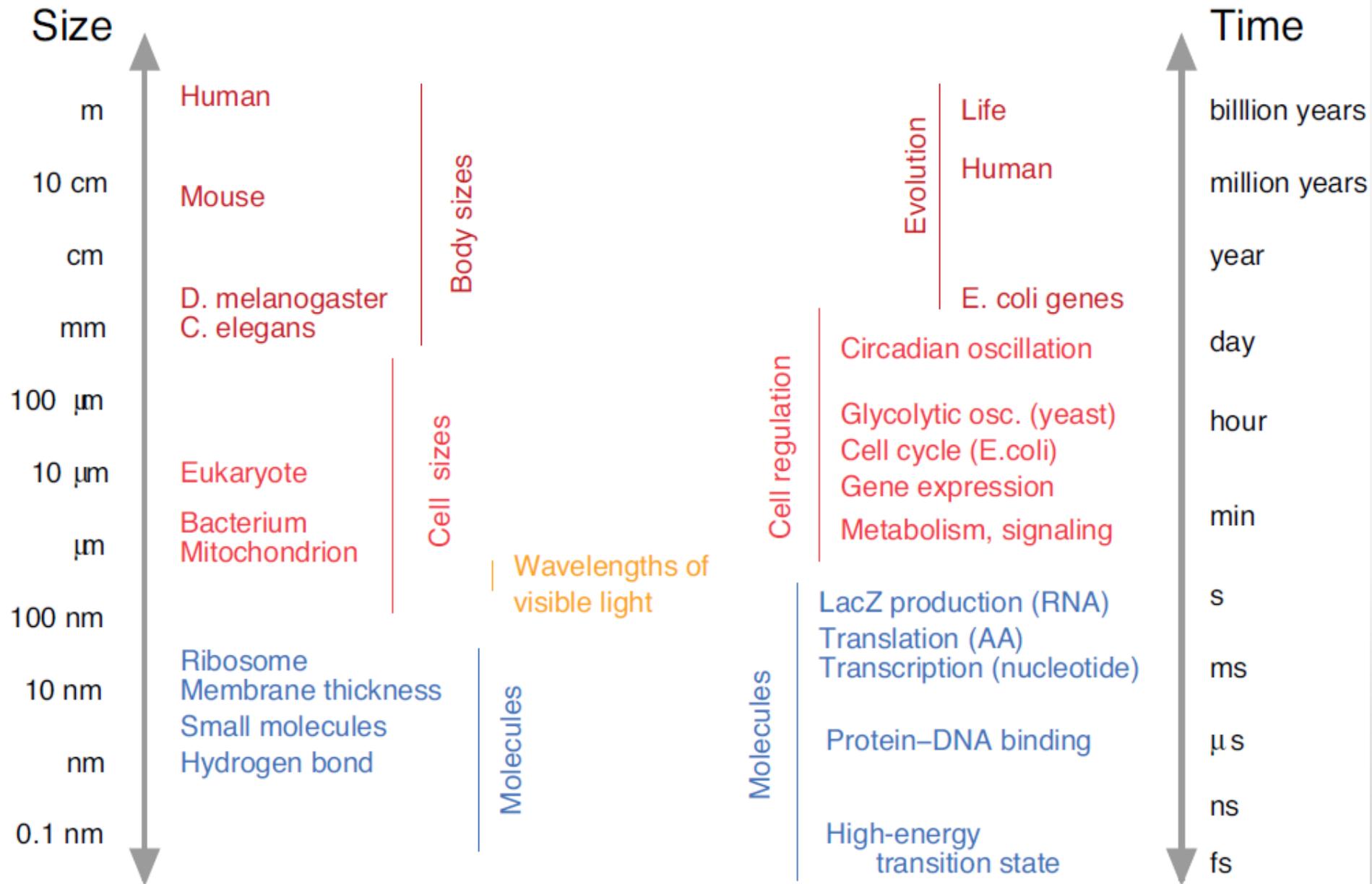
**Paisaje epigenético como sistema multiniveles que se influncian de modos diferentes.
Adaptación de Thelen y Smith 1994 .**



Eugenio Andrade

Desarrollo ontogénico

- 1. Se debe a interacciones múltiples, reciprocas y continuas entre todos los niveles del sistema en desarrollo, del molecular al cultural.
- 2. Solamente puede ser entendido como procesos dentro de procesos que se despliegan en diferentes escalas de tiempo desde microsegundos a años.



Estados estacionarios

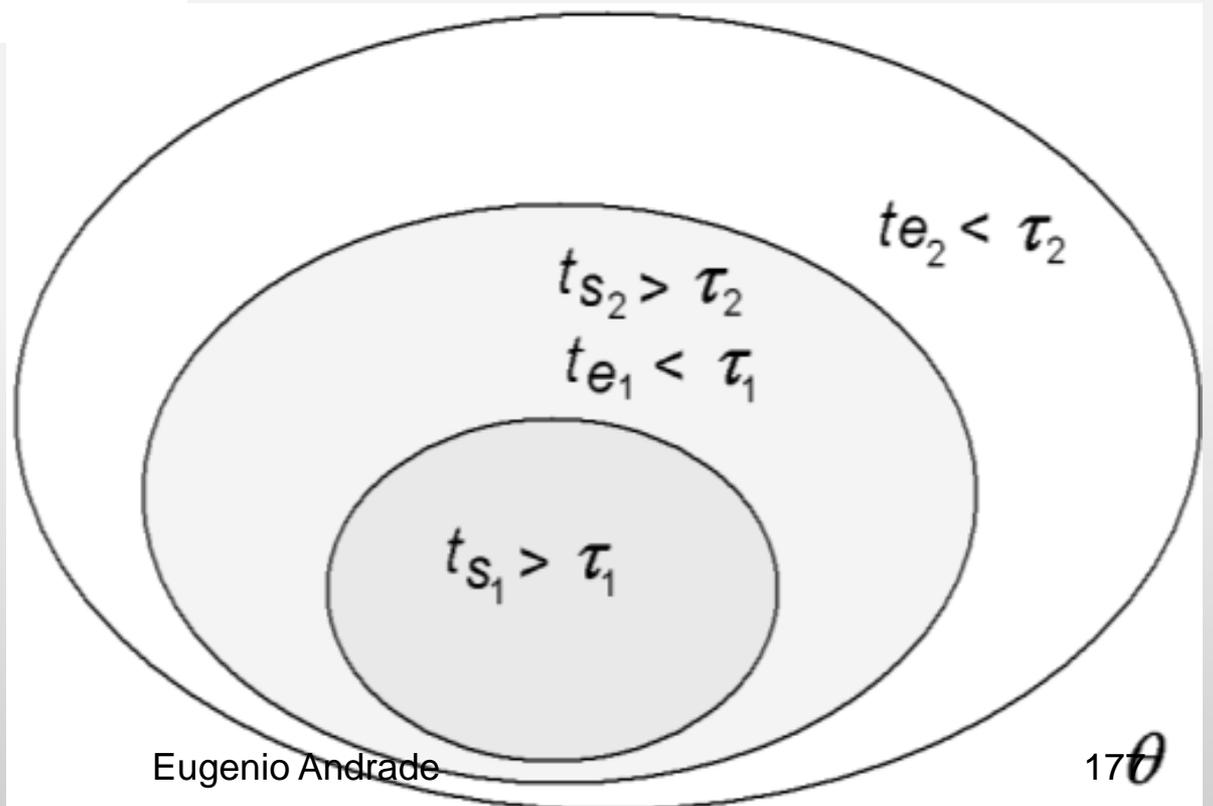
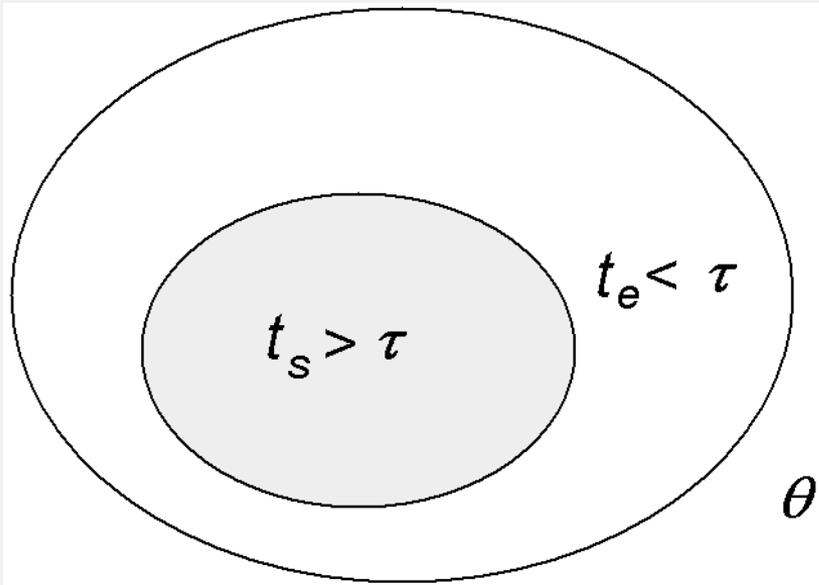
- Son procesos con estructura espacio temporal.
- Escalas de espacio:
- Interacciones intra-moleculares 10^{-10} m.
- Conducción nerviosa y movimientos animales 1 m.

Segunda ley: Colin W.F. McClare (1971)

- Intervalo de tiempo característico τ en el que el sistema alcanza el estado de equilibrio a temperatura T (distribución de Boltzmann).
- Energía térmica se equilibra a un tiempo $< \tau$
Ej: vibraciones moleculares se equilibran entre 10^{-9} a 10 seg.

Segunda ley: Colin W.F. McClare (1971)

- Intervalo de tiempo característico τ en el que el sistema alcanza el estado de equilibrio a temperatura T (distribución de Boltzmann).
- Energía almacenada (coherente) disponible para ejecutar W permanece en distribución de no equilibrio a $> \tau$ (niveles energéticamente altos, más poblados).
- Ej: energías de resonancia molecular 10^{-14} seg. El primer paso en la F.S., la separación de cargas (+) y (-) en las moléculas de clorofila del centro de reacción, (reacción reversible) ocurre $< 10^{-13}$ seg.



Segunda ley: Colin W.F. McClare (1971)

- Las moléculas pueden ejecutar trabajo útil mediante transferencia directa de energía almacenada dentro del mismo sistema, y la energía en equilibrio térmico no puede ser convertida en energía almacenada.
- Es imposible convertir la energía térmica en energía almacenada.
- En una «máquina molecular» la energía almacenada en las moléculas individuales se libera en una forma específica y se convierte en otra forma específica tan rápidamente que no tiene tiempo suficiente para convertirse en calor.

William Thompson

(Kinetic Theory of the Dissipation of Energy.1874)

- 1 El DM = Ser vivo inteligente dotado de LIBRE ALBEDRÍO y de una organización sensorial y perceptiva tan fina como para conferirle la facultad de observar y actuar sobre las moléculas individuales de materia.
2. El DM = Difiere de los animales en su extrema pequeñez y agilidad, pero que, al igual que ellos, podía almacenar cantidades limitadas de energía y convertirla en trabajo a VOLUNTAD.

William Thompson

(Kinetic Theory of the Dissipation of Energy.1874)

3. Los animales son máquinas isotérmicas, no operan gracias a un gradiente térmico.
4. La “voluntad animal” contrarresta las fuerzas de la degradación y disipación.
5. Pero la “voluntad animal” no alcanza para contrarrestar la tendencia a escala cosmológica. En un tiempo finito la tierra se volverá inepta para la vida, habiendo alcanzado la muerte térmica.

¿La vida elude las leyes físicas?

What is Life? Schrödinger (1944)

- “It is by avoiding the rapid decay into the inert state of equilibrium that an organism appears so enigmatic ... What an organism feeds upon is negative entropy (free energy). Or, to put it less paradoxically, the essential thing in metabolism is that the organism succeeds in freeing itself from all the entropy it cannot help producing while alive”.

Light and Life. Szent Györgi (1961)

- “It is common knowledge that the ultimate source of all our energy and negative entropy is the radiation of the sun. When a photon interacts with a material particle on our globe it lifts one electron from an electron pair to a higher level. This excited state as a rule has but a short lifetime and the electron drops within 10^{-7} to 10^{-8} seconds to the ground state giving off its excess energy in one way or another. Life has learned to catch the electron in the excited state, uncouple it from its partner and let it drop back to the ground state through its biological machinery utilizing its excess energy for life processes”.

¿Qué clase de máquina es un organismo?

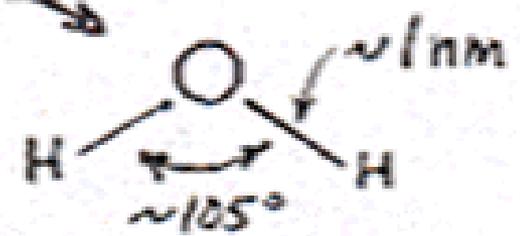
- La vida depende de la captura de electrones de alta energía mediante pigmentos absorbentes de luz.
- El ser vivo es una máquina cuántica molecular.

Figure 1.

Using a water molecule as an example:

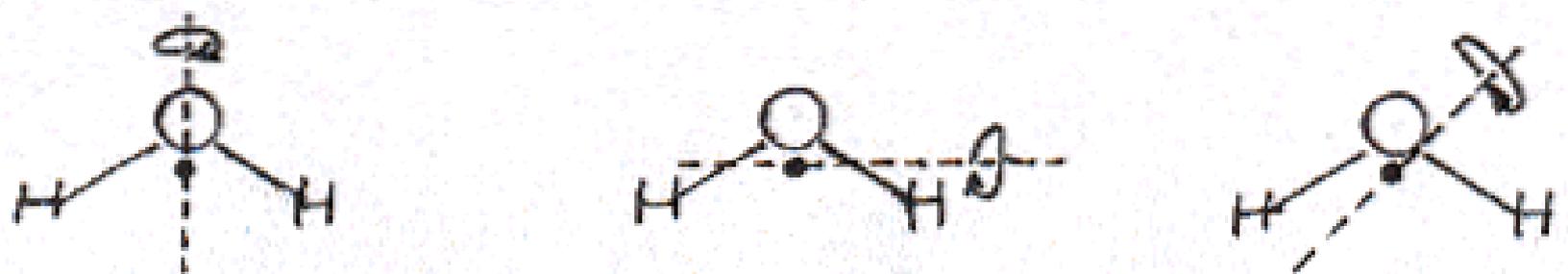
TRANSLATION

Movement of the whole molecule at varying speed (i.e., dependent on collisions) and thus, with continually differing amounts of KE.



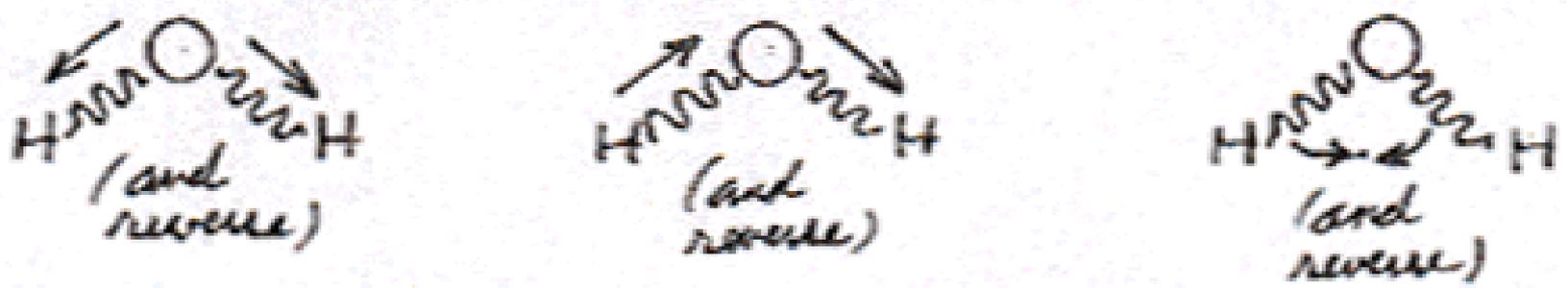
ROTATION

Movement about the three principal axes (through center of mass)

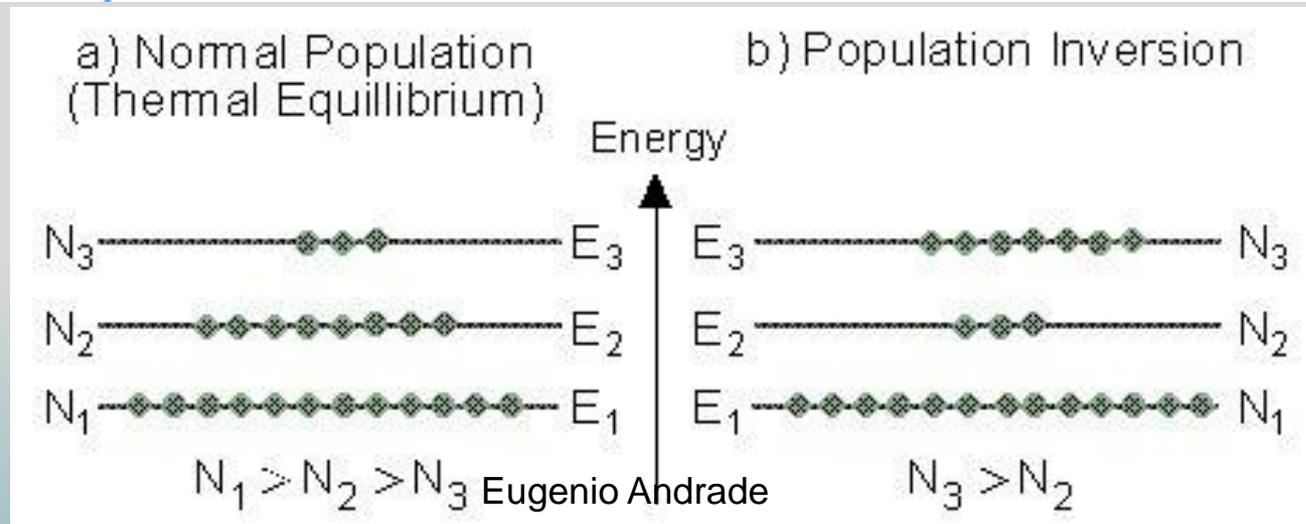
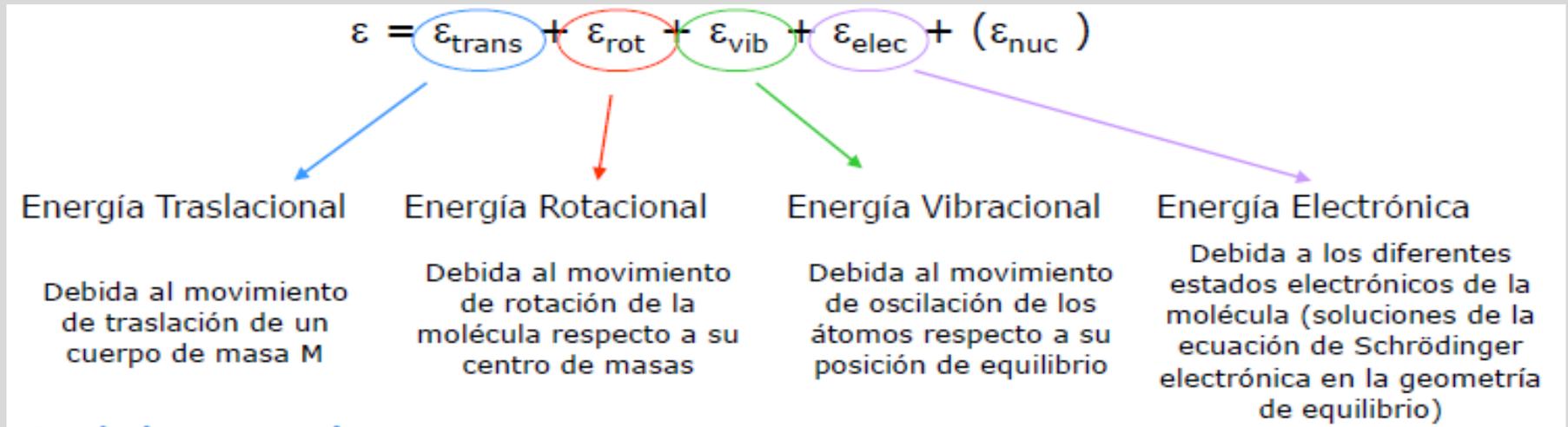


VIBRATION

Internal movement as though the chemical bonds are springs that are compressed or extended during vibrations along the bond direction (stretching) or "bent" at an angle to the bond direction but in the same plane ("scissoring")



Energía total de una población de moléculas



Neguentropía como energía almacenada u organización espacio-temporal

- Los sistemas vivos usan energía cuantizada en paquetes, que le permiten causar movimientos específicos de los electrones en los orbitales más externos de las moléculas (no localizados y extendidos en todo el sistema).
- Los sistemas vivientes poseen niveles electrónicos altos muy poblados sin necesidad de calentar el cuerpo excesivamente, contribuyendo a generar la entropía negativa de Schrodinger.

**Engel, G. S., T.R. Calhoun, E. L. Read, T-K. Ahn, T. Manal, Y-C. Cheng,
R.E. Blankenship and G. R. Fleming,**

**‘Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems’,
Nature, 446 (2007), 782–786.**

- “We have obtained the first evidence that remarkably long-lived wavelike electronic coherence plays an important part in energy transfer processes during photosynthesis”.
- “The classical hopping description of the energy transfer process is both inadequate and inaccurate, it gives the wrong picture of how the process actually works, and misses a crucial aspect of the reason for the wonderful efficiency”.
- “The remarkably long-lived wavelike electronic coherence can explain the extreme efficiency of the energy transfer because it enables the system to simultaneously sample all the potential energy pathways and choose the most efficient ones”