

El crecimiento de la complejidad en el Universo

Eduardo Battaner

Prof. Emérito Honorario de la Universidad de Granada

Instituto Carlos I de Física Teórica y Computacional

Complejización

Newton se asombraba de que los animales estuvieran hechos “así, con tanto arte”:

¿Puede realmente el paradigma darwiniano dar cuenta de la asombrosa cuasi-perfección de los seres vivos?

La complejización en el Universo. Tema astrofísico y cosmológico

Complejización

Los genetistas están muy preparados para combatir las teorías “creacionistas” (de algunas sectas); si alguien pone alguna objeción a la Teoría de la Evolución, le tachan de fanático religioso.

Esto impide el diálogo realmente científico, entre físicos y biólogos.

La teoría de la evolución es “perfecta”, pero no es completa (y si no es completa no es perfecta).

No se trata de proponer una alternativa, sino complementar la teoría existente.

No se niega ningún proceso. Sólo se pretende que los procesos sean más eficientes y rápidos.

Mis límites

No voy a hablar de: biología, genética, bioquímica*... sistemas complejos (Sí de complejización)

Voy a hablar de astrofísica, cosmología, fluidos, termodinámica, física.

Sí de Astrobiología (pero de un capítulo poco hollado).

Entiendo:

Termodinámica, ciencia de los sistemas formados por muchísimas partículas.

Entropía, en el sentido de Clausius y Boltzmann.

Darwinismo, la evolución es el resultado de mutaciones azarosas + selección natural.

*aunque estoy en constante diálogo con reputado bioquímico.

Termodinámica de la vida

La teoría de la evolución encuentra una vía para la complejización que es *posible* pero se desentiende de si esa vía es *probable*.

Primer principio: La energía del Universo es constante

Segundo principio: La entropía del Universo siempre crece

¿Cuarto Principio?: ¿De qué forma crece la entropía?

Se habla de una *missing law*.

Hay muchos herejes

Schrödinger: “La materia viva, si bien no eluden las leyes de la física tal como están establecidas hasta la fecha, probablemente implica otras leyes físicas desconocidas por ahora, las cuales, una vez descubiertas, formarán una parte tan integral de esta ciencia como las anteriores”.

Un genetista: “Estoy convencido de que la selección natural ha sido el principal pero no el exclusivo medio de modificación. Esto no ha servido de nada. Grande es el poder de la tergiversación continuada”.*

* C. Darwin

S. Kauffman

Univ. Chicago, Pensilvania, Santa Fe Inst. ...

“Existen abundantes razones para pensar que la evolución es mucho más rica de lo que Darwin supuso. La moderna teoría evolutiva acostumbra a ver la selección natural como única fuente de orden en los organismos. Por el contrario, la mayor parte del orden en los organismos es, según creo espontáneo y autoorganizado... Debemos pues extender nuestra teoría evolutiva”.

“Lo curioso de la evolución es que todo el mundo cree que la entiende. Yo no, desde luego”. (Oxford Univ. Press, 2000, *Investigations*).

Propone hasta cuatro cuartas leyes de la termodinámica.

Goldenfeld y Woese

Univ. Illinois, Inst. for Genomic Biology...

Life is physics: evolution as a collective phenomenon far from equilibrium.

Woese es el descubridor de las arqueas y supuso la existencia de un “mundo ARN”.

Also neglected [collective processes] but with even less justification, is the process of evolution itself; written off as a solved problema under the catch-phrase “natural selection”, it was relegated to a peripheral role...

Una inmensa minoría

J. England (MIT) Phys. Rev. Let.

Maturana, H. y Varela, (Raidel) Autopoiesis.

Morowitz, H (NASA, Yale) Cuarta ley.

Schneider, E. y Sagan, D. La naturaleza aborrece los gradientes.

Scharma, A. et al. (2023) (Arizona State Univ., Univ. Glasgow) Assembly theory

Tononi, G et al (2017) “Integrated Information theory” (Nature).

Wong et al, 9 autores, 2023 (Caltech, Univ. Colorado...) Missing law

Bartlett (2025) arXiv

etc

¿Cómo debería ser la cuarta ley?

No teológica.

No teleológica.

No basarse en el Principio Antrópico.

No vitalista. (No emergentista-fuerte. Reduccionista)

Debe ser universal, válida en todo el Universo.

La vida como gran problema cosmológico.

El origen de la vida y su evolución no son dos problemas distintos.

¿Cómo debe ser la ley que falta?

Nueva y audaz.

“Quien no rízica, no rózica” (refrán sefardí)

Quien no se arriesga no florece (prospera).

Complejización y vida en el Universo

¿Qué es complejización?

¿Qué es vida?

¿Qué es Universo?

¿Qué es Complejidad?

1/s

En seres vivos: ¿longitud de los genes? (Muro et al, 2025)

¿Qué es Vida?

Vida es lo que tienen los seres vivos.

La pregunta es: ¿Qué es un ser vivo?

La respuesta, al final.

Vida

Un ser vivo es un sistema termodinámico casi estacionario con una entropía casi cero a una temperatura casi ambiente, con una piel que lo delimita, pero no lo aísla ...

La respuesta completa al final...

La piel y los lípidos anfipáticos

Esto es un gato

La entropía es función de estado.

No depende del camino seguido.

Ni del tiempo empleado.

Tiene padres gatos y ha sido necesaria una biosfera, una selección natural...

Pero su improbabilidad no se la quita nadie



Teoría del fluido C

Sánchez, F. y Battaner, E. (2022) “An astrophysical perspective of life: The growth of complexity” *Rev. Mex. Astron. Astrof.* 58, 375-385.

Battaner, E. (2023) “Vida. Nuevas ideas desde el punto de vista físico” Editorial Univ. Granada.

Fluido C con una densidad C y una velocidad C definidas en todo el espacio y en todo tiempo,

$$\begin{aligned} &\rho(x, y, z, t) \\ &\vec{v}(x, y, z, t) \end{aligned}$$

Campo C

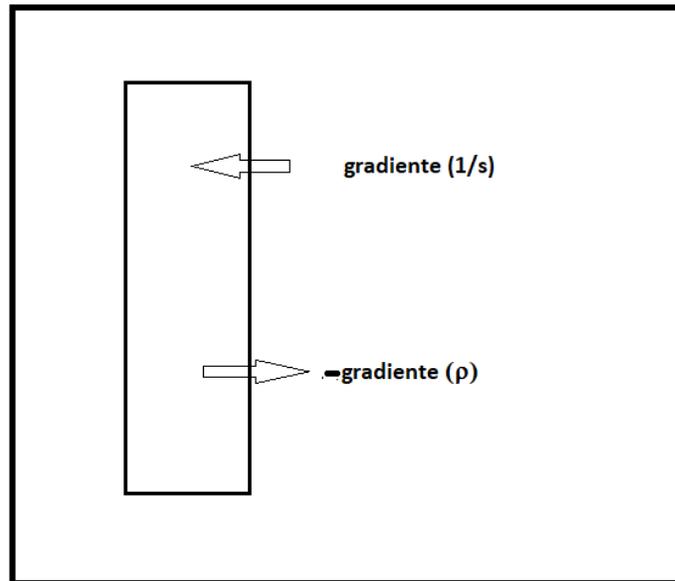
¿Quizá mejor: campo zotikós, fluido zotikós?

Ecuación del movimiento

El flujo C está causado por un gradiente de complejidad hacia “dentro” y “retenido” por un gradiente de densidad hacia “fuera”.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + k_1 \nabla \rho - k_2 \nabla \frac{1}{s} = 0$$

Flujos elemental



Condiciones estacionarias

$$\rho = \frac{1}{s}$$

¡pero solo en condiciones estacionarias!

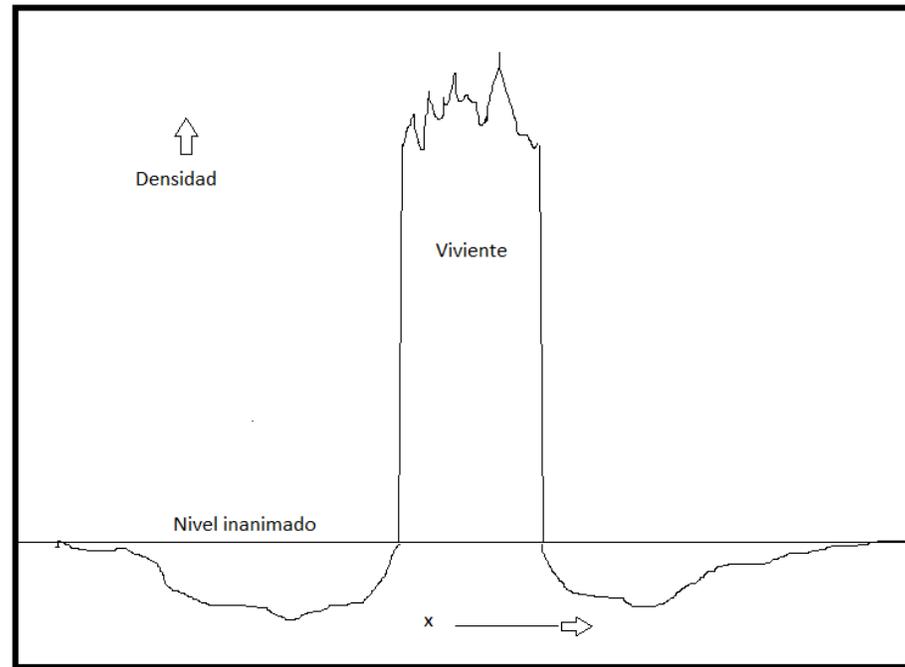
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + k_1 \nabla \rho - k_2 \nabla \frac{1}{s} = 0$$

Ecuación de continuidad

$$\iiint_{-\infty}^{+\infty} \rho d\tau = \text{constante en el tiempo}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

Ser vivo



¿Qué hace la densidad en un ser vivo?

Hemos visto *qué es*. Veamos ahora *qué hace*:

Induce *mutaciones C* (además de las estándar)

Son mutaciones también azarosas pero con $\Delta S < 0$

Hipótesis:

$$ds = -k_3 \rho dt$$

Selección natural

Está aquí siempre presente.

La selección natural no es el “motor”, al menos, no es el único motor.

Pero siempre es “juez”.

¿Qué hace la densidad en un ser vivo?

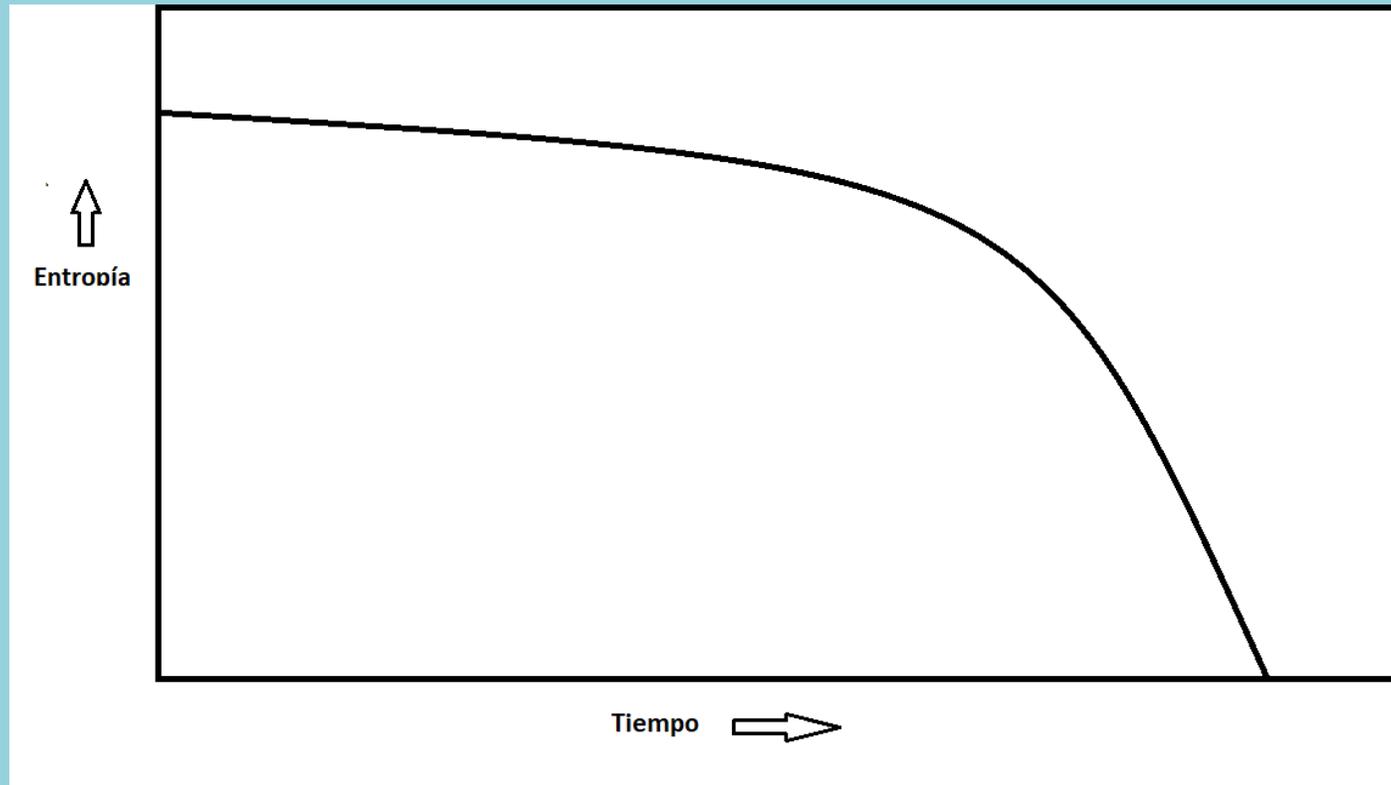
Con esta ecuación y con $s = 1/\rho$

$$ds = -k_3 \frac{k_1}{k_2} \frac{1}{s} dt = -k_4 \frac{1}{s} dt$$

Integramos

$$\frac{s}{s_0} = \left(1 - \frac{2k_4}{s_0^2} t \right)^{1/2}$$

Efecto aislado de mutaciones C



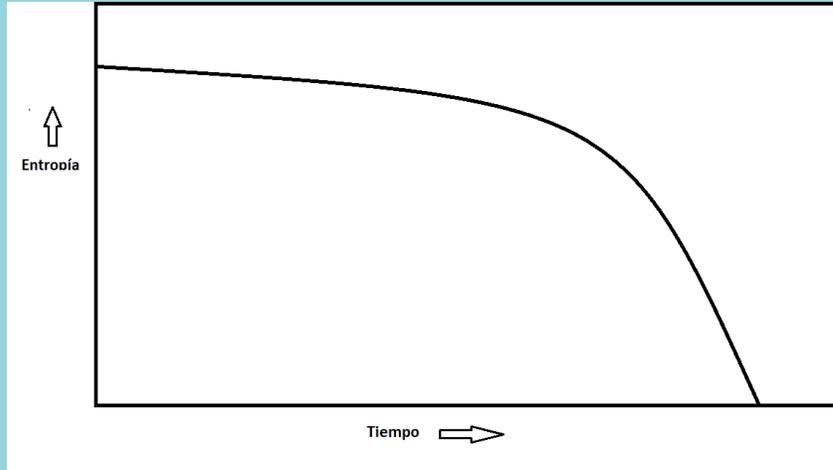
Efecto aislado de mutaciones C

La constante k_4 debe ser más pequeña, del orden del tiempo de efecto de las mutaciones.

Retroalimentación: La baja entropía produce aumento de densidad (en tiempo muy breve) y la densidad produce disminución de entropía (en tiempo muy largo)

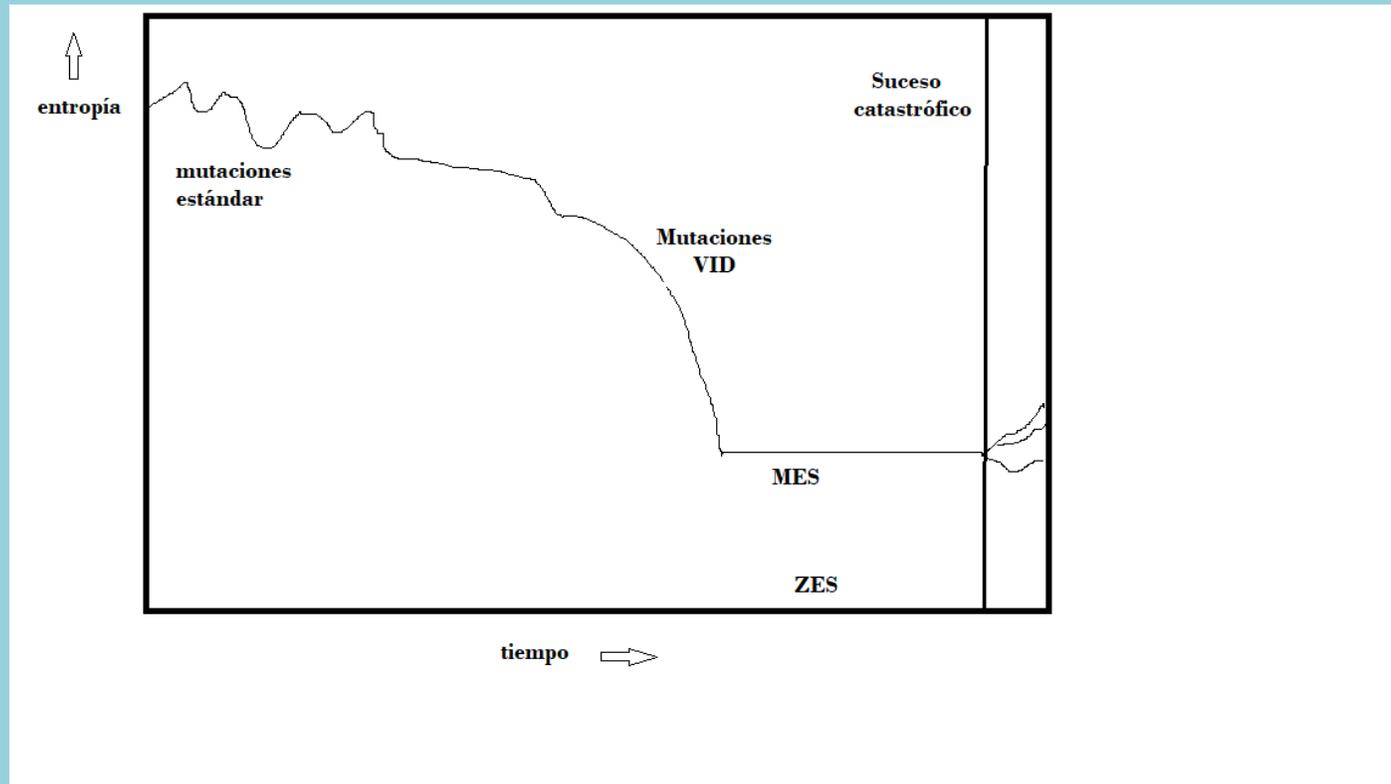
Efecto total debido a mutaciones C y mutaciones estándar.

Las mutaciones C son poco importantes cuando la entropía es alta (e.g. microorganismos), pero son más importantes cuando es baja (e.g. mamíferos)

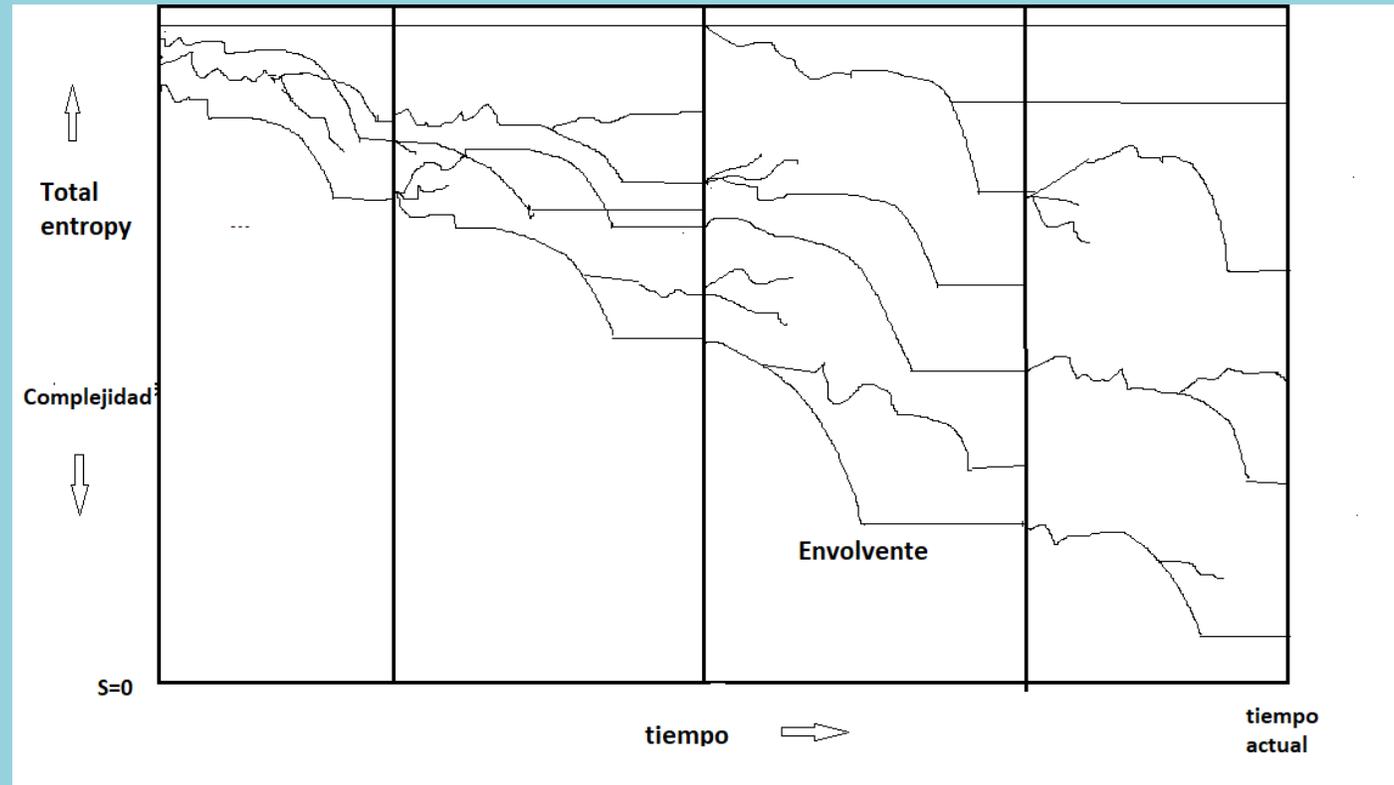


La complejidad crea
complejidad

Especie fases



todos



Envolvente

Curva que da la mínima entropía (de la especie que sea) en función del tiempo.

¿Existe una ZES (Zero Entropy Species)?

ZES

ZES es un concepto ideal. **No** es un *superhombre* al estilo de Teilhard de Chardin pues:

- No hay un ZES sino muchos ZES, dependiendo de la trayectoria evolutiva.
- Las mutaciones estándar lo sacarían del estado ZES.
- La selección natural podría impedir su realización.

Ondas zotikós (Ondas C)

$$\rho \rightarrow \rho + \rho'$$

$$\vec{v} \rightarrow \vec{v} + \vec{v}'$$

Con las ecuaciones de continuidad y movimiento perturbadas, restando las no perturbadas:

$$\frac{\partial^2 \rho'}{\partial t^2} = k_1 \nabla^2 \rho'$$

Con velocidad $k_1 \sim c^2 \sim 1$

Ondas zoitikós

Dualidad onda-corpúsculo

Vitones

¿Cómo producirlas? Un cambio brusco de entropía, genera un cambio brusco de densidad y se propaga ondulatoriamente. El cambio brusco de entropía puede ser una mutación

Símil: energía-fotón
entropía-vitón

Propagación de las mutaciones

Un salto energético produce un fotón con una frecuencia determinada

Un salto entrópico produce un vitón con una ΔS determinada

Mutación potenciada

Un ADN podría emitir un cuanto de entropía ΔS que podría ser absorbido por otro ADN vecino de la misma especie, exactamente en ΔS , y este a su vez, emitiría ΔS , etc.

Facilitaría el proceso para que una mutación individual se convirtiera en mutación de la especie. Siempre que la densidad de individuos sea grande.

Incluso podría ser captado por un ADN de otra especie, facilitando la llamada **coevolución**

Vedral, Vlatko

Prof. Información Cuántica. Univ. Oxford. “Decoding reality” Oxford Univ. Press

“Ya no debemos pensar en las unidades más elementales de la realidad como fragmentos de energía o materia, sino que deberíamos pensar en ellas como unidades de información”.

En TCC, los vitones son partículas de $-\Delta S$, es decir, partículas de información.

Panspermia

Un vitón viaja por el vacío y puede transmitir ΔS en otro planeta.

Mucho mejor que una espora.

Y a mucha más velocidad.

La teoría de la panspermia gana credibilidad.

Otro efecto de la densidad

Infunde “vivacidad” a los seres vivos.

Odio, amor, solidaridad, consciencia...

Una cucaracha con las patas para abajo y otra con las patas para arriba tienen prácticamente la misma entropía

¿Es la densidad C el “alma”?

Sí. Pero este no es el alma de las religiones. No es inmortal. Está definida con ecuaciones físicas. Es una magnitud física con sus unidades y su error.

Heterogeneidad en el aumento de entropía

Enallía Mide el grado de heterogeneidad en el crecimiento de entropía

Aquí hay un ser vivo; aquí, no.

Otros ejemplos:

El medio interestelar y las estrellas

La estructura a gran escala del Universo.

La población (urbes, ciudades, pueblos, campo)

La riqueza (pobres... ricos, Musk...)

El origen de la vida

Todavía no había ADN. Mundo ARN. Todavía no había ARN.

El origen y la evolución de la vida tiene que basarse en el mismo principio.

Un sistema termodinámico tiene fluctuaciones estadísticas.

Tiene fluctuaciones de entropía. Que generan fluctuaciones de densidad C . Que producen amplificación de las fluctuaciones de entropía, etc.

Se crean los **prezoos**.

(protobiotos, proteínoides, gen desnudo y “vida de baja tecnología”(Cairns-Smith), cristales...

El origen de la vida

El problema es que el paso $\Delta S \rightarrow \Delta \rho$ es muy rápido, pero la amplificación $\Delta \rho \rightarrow \Delta S$ es muy lenta. Necesitaría una fase sólida para conservar la estructura infraentrópica.

Quizá el “charco” que decía Darwin fuera el medio ideal. (“warm little pond”). ¿Y la piedra pómez? Origen en superficie (Wachterhäuser)

Delbrück: “... statistical fluctuations in the kinetics of emergence of life...”

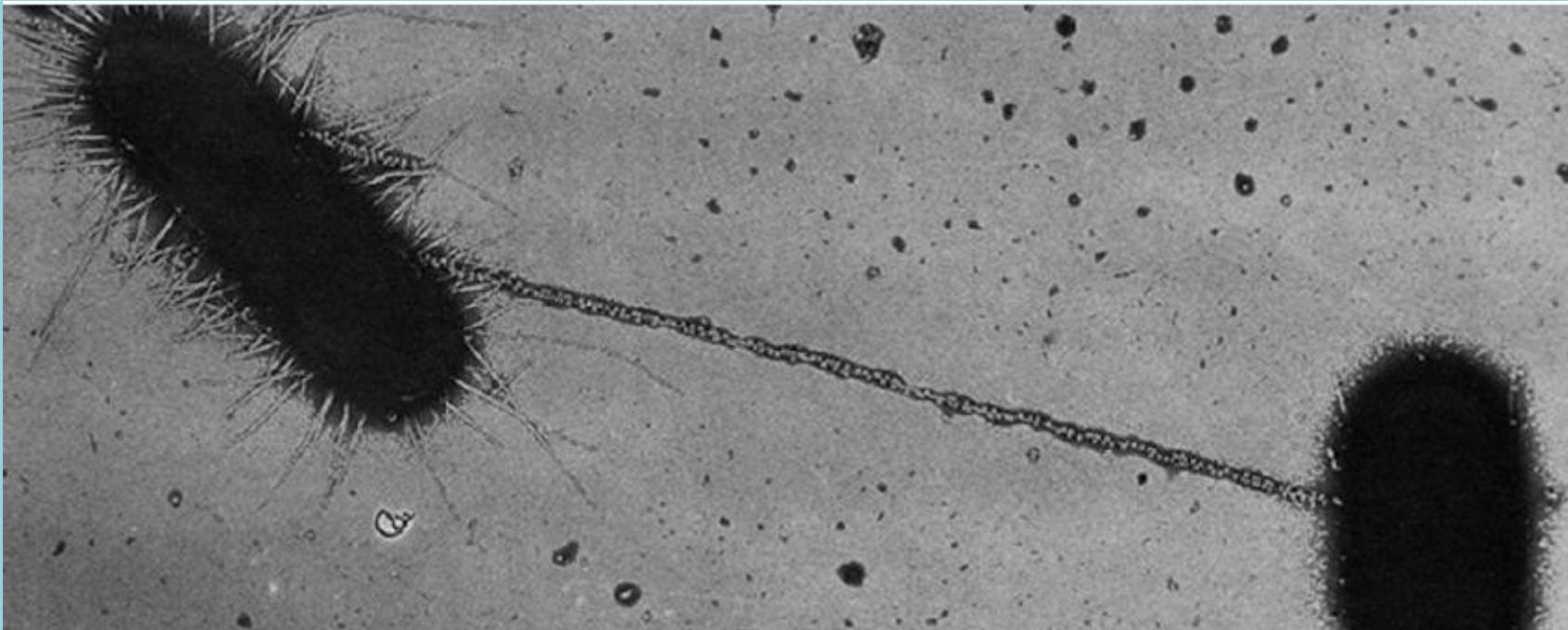
¿Comprobación experimental?

Transmisión horizontal de genes entre individuos separados físicamente.

“Horizontal gene transfer” mediante vitones.

G&W: “The world-wide spread of antibiotic resistance genes across distantly-related bacteria, crossing species and phylum boundaries and physical locations.”

Transferencia horizontal de genes



Conclusiones

o razones por las que la teoría del Campo C (CFT) merece ser tenida en consideración

- Alienta, favorece, dinamiza, da mayor velocidad y eficacia a los procesos darwinistas que pasan de ser **posibles** a ser también **probables**.
- Crecimiento de la complejidad en el proceso evolutivo. Existe “progreso”.
- Adaptación y complejización no son sinónimos.
- Origen y evolución** no son dos procesos distintos.

Conclusiones

o razones por las que la teoría del Campo C (TFT) merece ser tomada en consideración.

- El mismo origen de la vida: En menos de 200-400 My aparece LUCA (3000 reacciones distintas cada una con su catalizador, RNA, DNA, aprovechamiento de energía...
- Neo-panspermia
- Paso de la mutación de un individuo a la mutación de la especie.
- Co-evolución
- Comunicación rápida entre células para explicar fenómenos colectivos.
- Efectividad de “horizontal gene transfer (viton horizontal gene transfer)” acelera eficientemente la evolución.

Conclusiones

o razones por las que la teoría del Campo C (CFT) merece tenerse en consideración

-La complejidad crea complejidad.

-Rapidísima cerebralización de homínidos y hombres.

-Vitones en los medios inter planetario, interestelar, intergaláctico, pregaláctico.

Entropía magnitud cuantificada en el ADN

-Enallía. Heterogeneidad en el crecimiento de entropía en un sistema aislado.

Enallía

La TCC permite el crecimiento heterogéneo de la entropía.

Tendencia al equilibrio enallípico.

1. La energía del Universo se conserva
2. La entropía del Universo aumenta
3. La complejidad del Universo aumenta
4. La enallía del Universo aumenta

Definición de vida

Un ser vivo es un sistema termodinámico casi estacionario con una entropía casi cero a una temperatura prácticamente ambiente, con una piel que lo delimita, pero no lo aísla ...

...y que tiene una alta concentración de densidad C.

Muchas gracias

zacabau

TCC como filosofía

Reduccionista

Contingentista

Progresista

Catastrofista (tendencia)

“Enallista”

Neo-hilozoísta

Neo-panspermista (tendencia)

Emergentismo

Emergentismo reduccionista. (Anderson es reduccionista) O “emergentismo débil”

Entendido como una transición de fase (Muro et al. 2025)

Con disminuciones relativamente bruscas de la entropía o de su derivada

Bifurcaciones como tipo de emergentismo

Bifurcaciones y evolución

Vertebrados craniados → Peces + Tetrápodos

Tetrápodos → Anfibios + Amniotas

Amniotas → (Reptiles-aves) + Mamíferos

(Reptiles-aves) → Reptiles + Aves

Notas etimológicas: el alma es un fluido

ALMA: Lat. Anima. Además de “alma” es “aire”, “aliento” (que respira)

Derivados: animadversión < anima vertere.

Advertir (vertere)

En griego “alma”, “Ánima” es “ánemos”, de ahí “anemómetro”. “Ho hágios ánemos” (el aliento vital, el aliento santo)

ESPÍRITU: “Spirare” (soplo, respirar), inspiración, expirar, etc

El “Espíritu Santo” es el “Fluido Santo”.

Estructuras de Turing

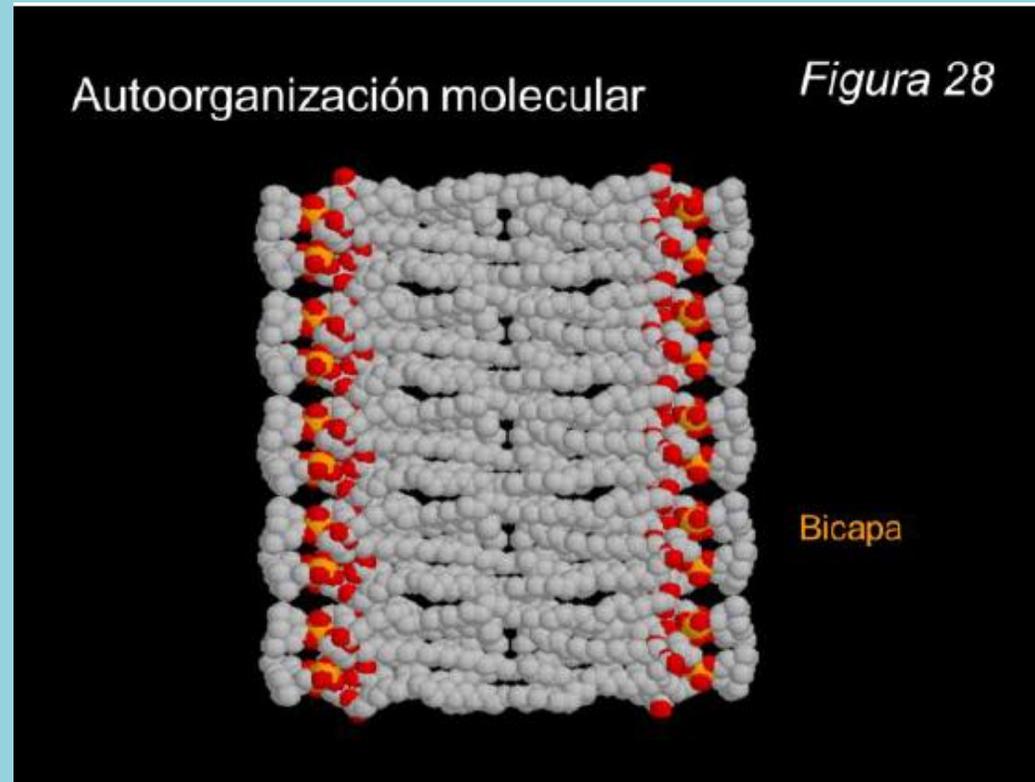
Están en la base de muchos procesos emergentistas (emergentismo débil: No salen nuevas leyes sino patrones creados por las leyes iniciales)

Procesos que combinan flujos de difusión de “morfógenos” con reacciones químicas.

Producen manchas animales (rayas del tigre) y segmentación, tan importantes en los seres vivos.

Gran incidencia en el proceso embrionario en el que de una célula simple surge todo un organismo complejísimo

Bicapa lipídica



Wickramasinghe, C.

En un juicio:

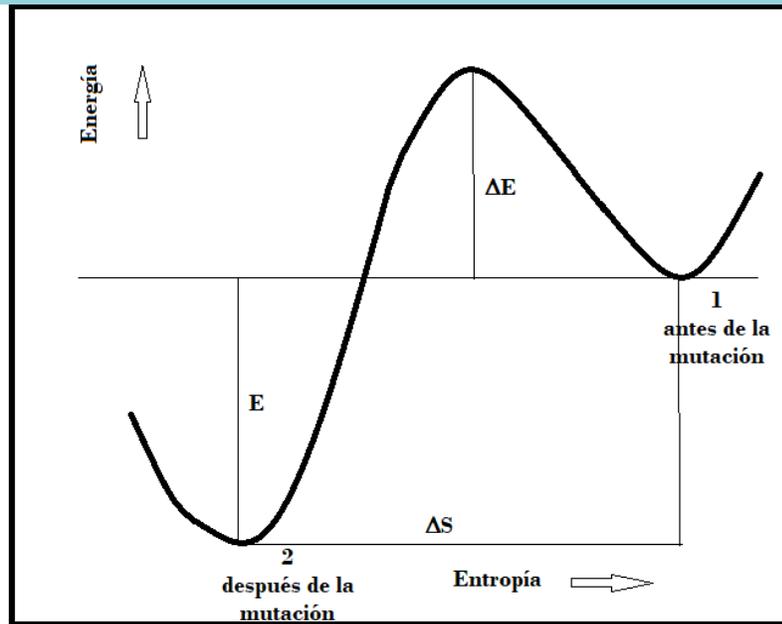
Abogado: ¿Qué piensa usted de la teoría de Darwin?

Wick: Tonterías.

Abogado: ¿Qué piensa usted de la idea de que la Tierra solo tiene diez mil años?

Wick: Tonterías todavía peores

mutación



Si hacemos $s = 0$

Obtenemos $s_0 = 2k_4\tau$

Donde τ es el tiempo de alcanzar la mínima entropía de la especie
MES

OMBE (Objeto de Muy Baja Entropía)

Flujos animal

