

# El crecimiento de la complejidad en el Universo

Eduardo Battaner

Prof. Emérito Honorífico de la Universidad de Granada

Instituto Carlos I de Física Teórica y Computacional

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

Hawking: “Me sorprende de la inmensa improbabilidad del fenómeno vital así como de la pronta aparición de la vida en la Tierra”.

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

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, sistemas complejos (Sí de complejización)

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

Sí de Astrobiología (pero de un capítulo poco hollado)

# 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*. Es una teoría correcta, pero incompleta.

Primer principio: La energía del Universo es constante

Segundo principio: La entropía del Universo siempre crece

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

¿Y si la entropía creciera de forma heterogénea?

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”.

# 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. Al menos todavía no”. (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.

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)

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

# ¿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 vital

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.

# Teoría del fluido vital

Fluido vital con una densidad vital y una velocidad vital 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 vital

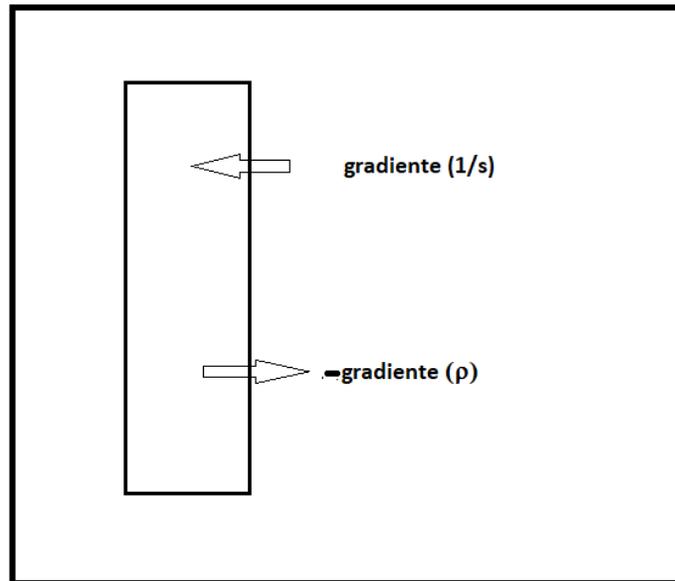
Quizá mejor: campo zotikós, fluido zotikós.

# Ecuación del movimiento

El flujo vital 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!

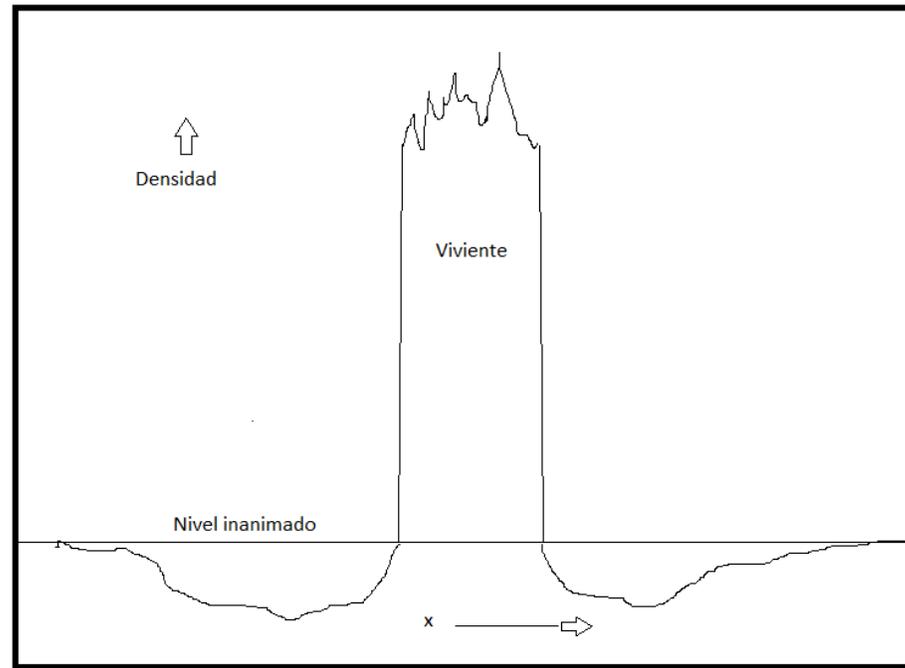
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + k_1 \nabla \rho - k_2 \nabla \frac{1}{s} = 0$$

# 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 VID* (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?

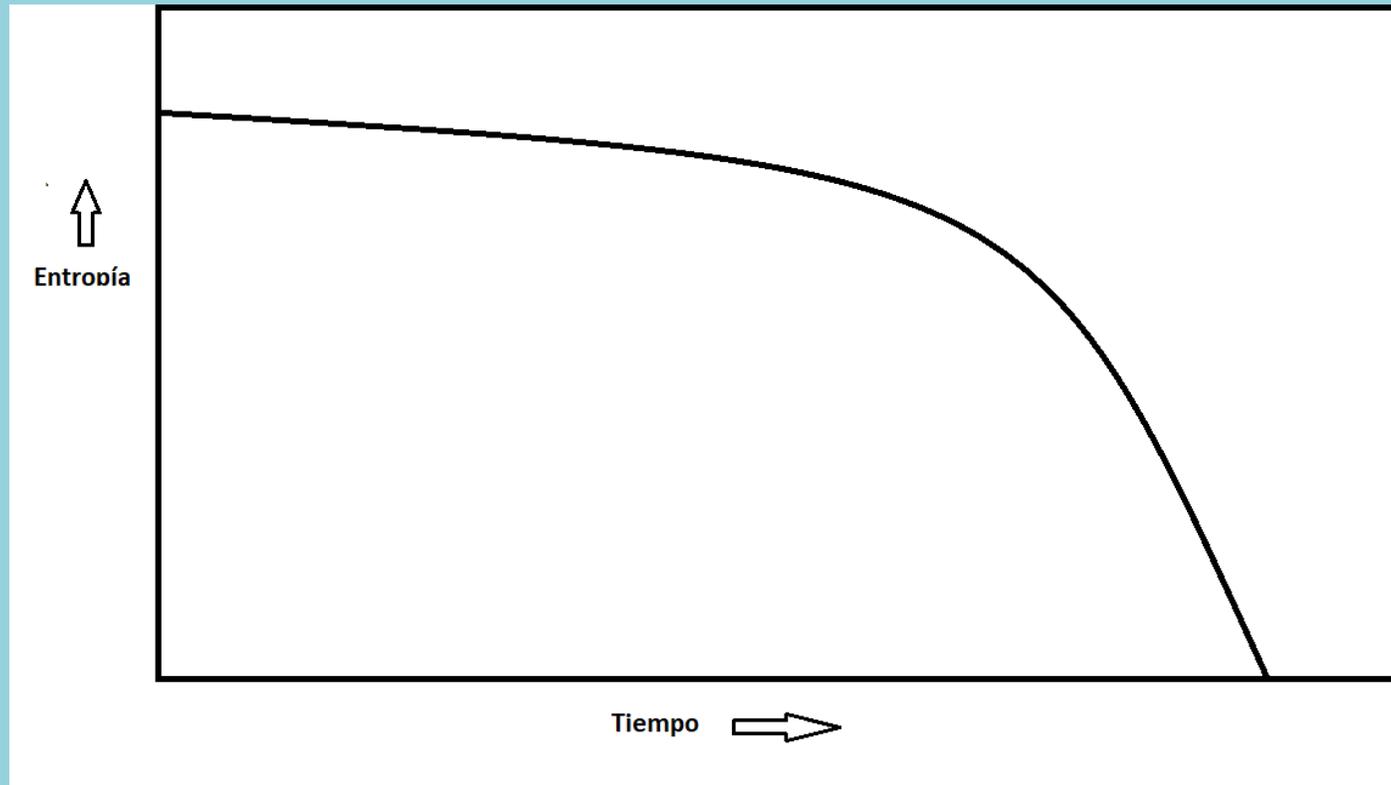
Con esta ecuación y con  $s = 1/\rho$

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

Integramos

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

# Efecto aislado de mutaciones VID



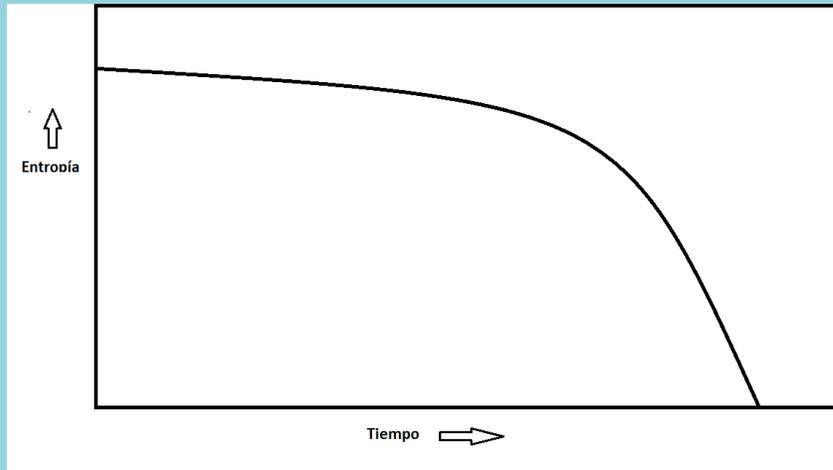
# Efecto aislado de mutaciones VID

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)

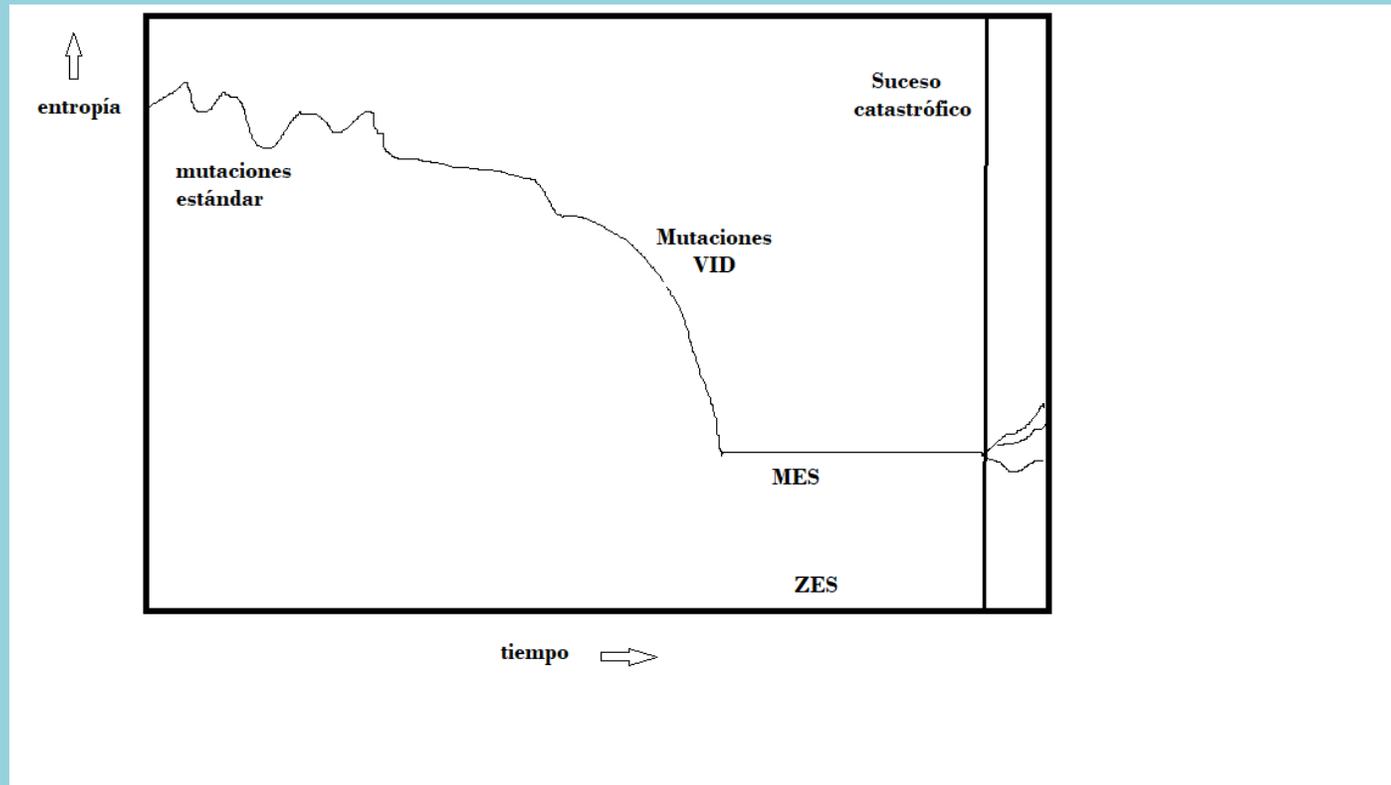
Efecto total debido a mutaciones VID y mutaciones estándar.

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

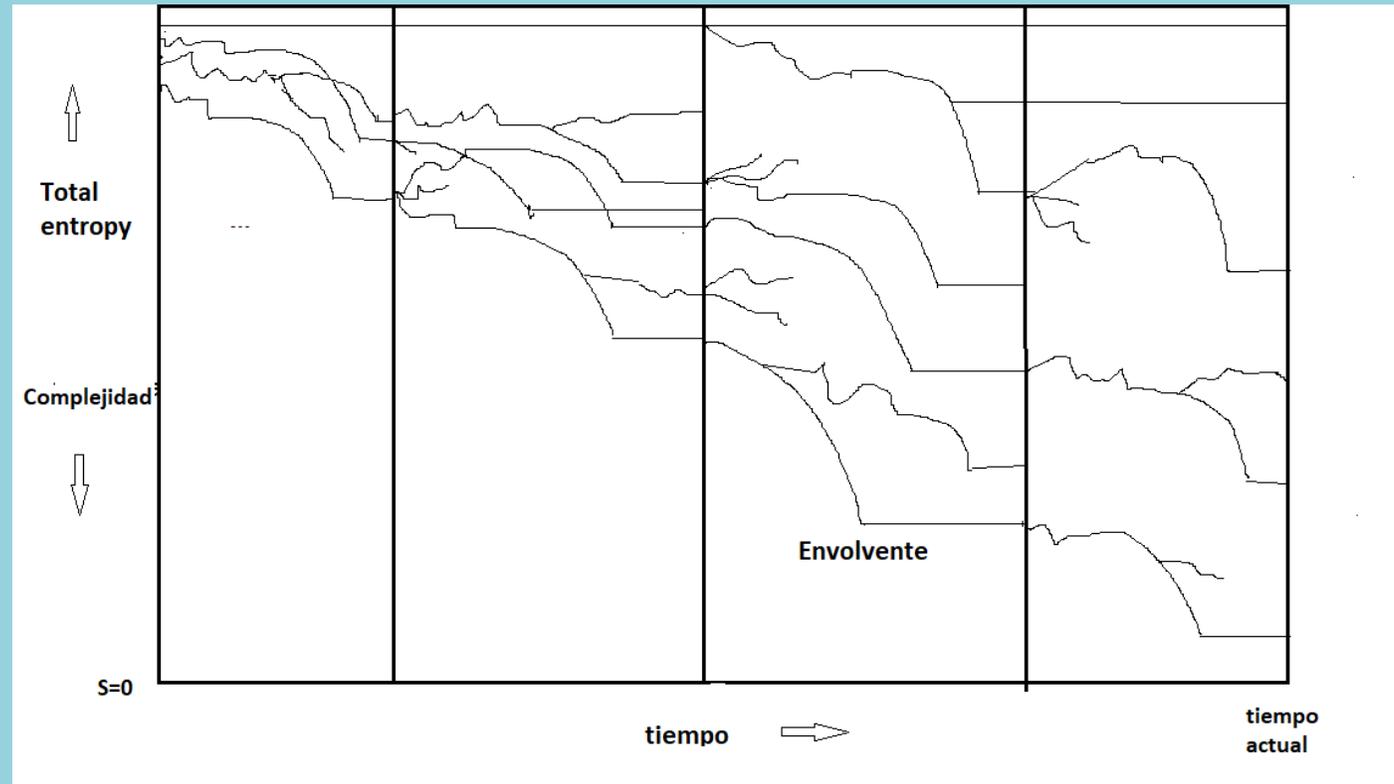


La complejidad crea  
complejidad

# 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

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

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

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  $\Delta S$  determinada

# Mutación potenciada

Un ADN podría emitir un cuanto de entropía  $\Delta S$  que podría ser absorbido por otro ADN vecino de la misma especie, exactamente en  $\Delta S$ , y este a su vez, emitiría  $\Delta S$ , 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 TFV, los vitones son partículas de  $-\Delta S$ , es decir, partículas de información.

# Panspermia

Un vitón viaja por el vacío y puede transmitir  $\Delta S$  en otro planeta.

Mucho mejor que una espora.

Y a mucha más velocidad.

# 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 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

La “gachirulopía” (la entropía de un sistema aislado crece siempre que la gachirulopía aumente)

Aquí hay un ser vivo; aquí, no.

Otros ejemplos:

El medio interestelar y las estrellas

La estructura a gran escala del Universo.

La población.

La riqueza

# 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 vital. 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, biomorfos (García-Ruiz)

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

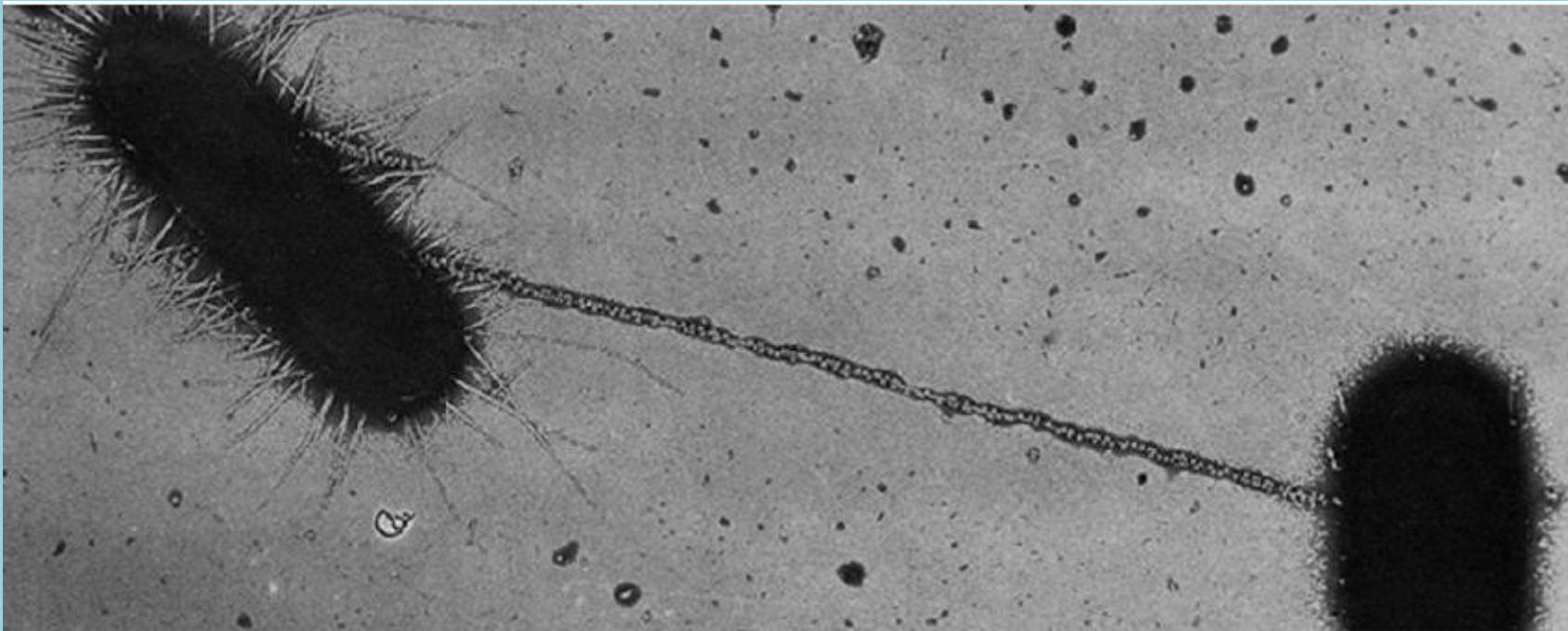
# ¿Comprobación experimental?

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

-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 (cianobacterias)...

Problema de la quiralidad: ¿aminoácidos racémicos? La vida es enantioselectiva. Se favorece uno de los enantiómeros.

- Paso de la mutación de un individuo a la mutación de la especie

-El proceso rapidísimo de cerebralización en primates (la complejidad crea complejidad)

-Efectividad de “horizontal gene transfer (viton horizontal gene transfer)” acelera eficientemente la evolución. La evolución darwiniana es lentísima.

-Neo-panspermia

# 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 vital.

# Muchas gracias

zacabau

# Notas etimológicas: el alma es un fluido

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

Derivados: animadversión < anima vertere.

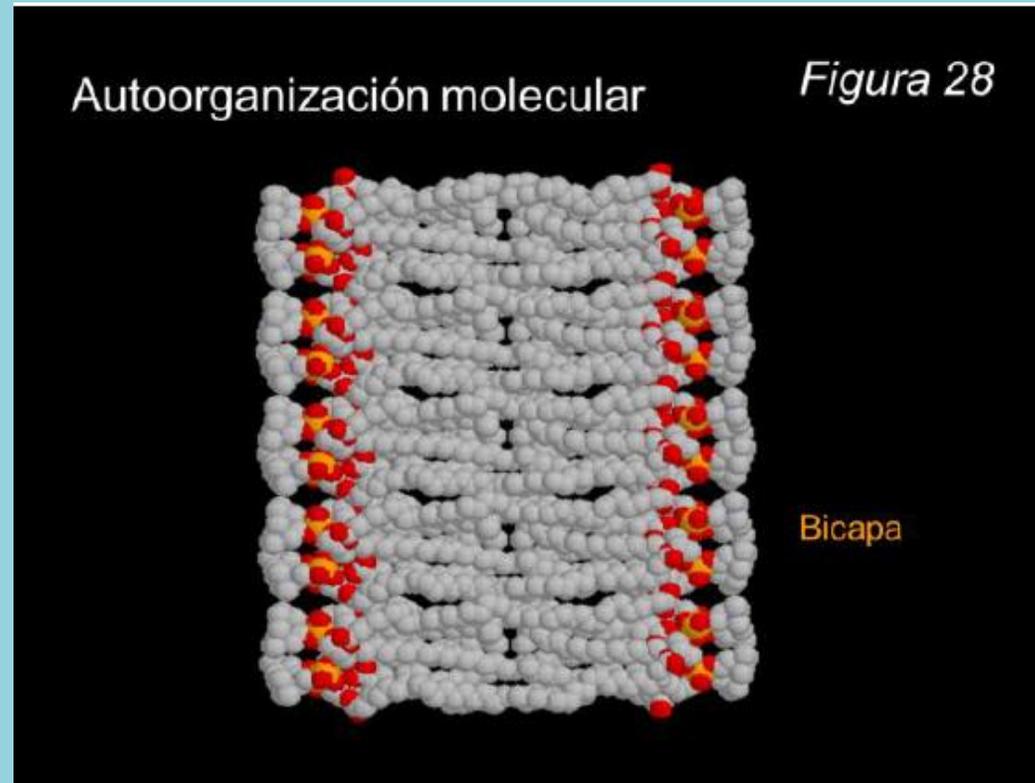
Advertir (vertere)

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”.

# Bicapa lipídica



# Wickramasinghe, C.

En un juicio:

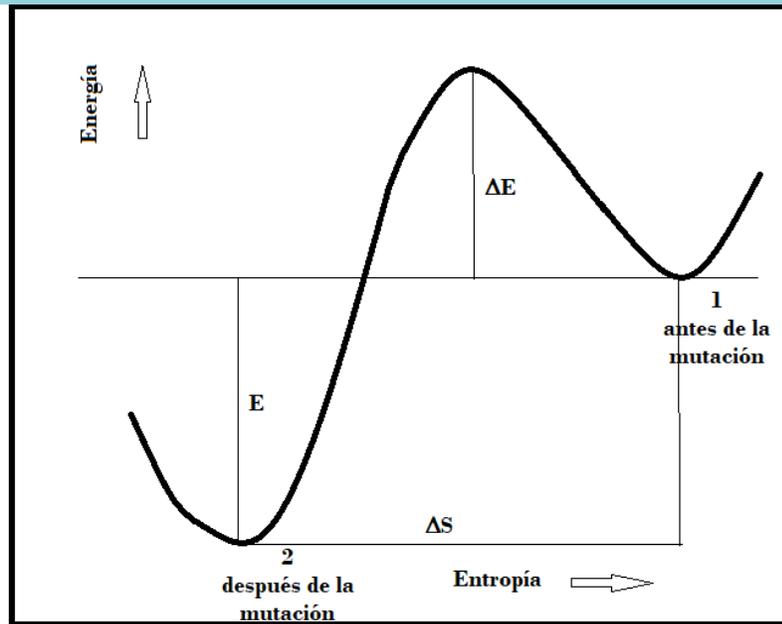
Abogado: ¿Qué piensa usted de la teoría de Darwin?

Wick: Tonterías.

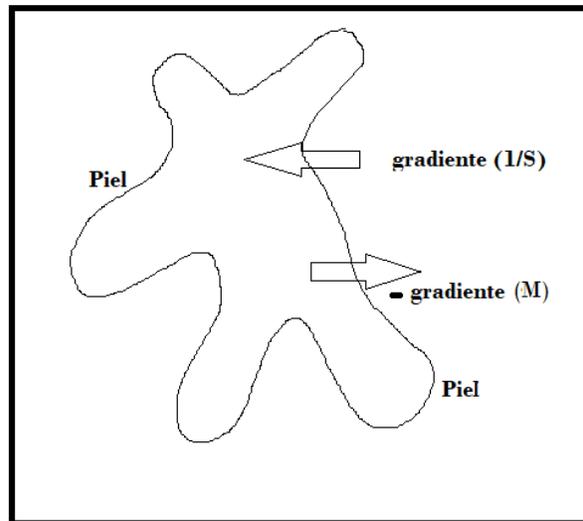
Abogado: ¿Qué piensa usted de la idea de que la Tierra solo tiene diez mil años?

Wick: Tonterías todavía peores

# mutación



# Flujos animal



Si hacemos  $s = 0$

Obtenemos  $s_0 = 2k_4\tau$

Donde  $\tau$  es el tiempo de alcanzar la mínima entropía de la especie  
MES

OMBE (Objeto de Muy Baja Entropía)