Evolución de los paradigmas científicos

Anejo ilustrado del artículo homónimo,
http://habitat.aq.upm.es/gi/mve/daee/eppcc.pdf

Mariano Vázquez Espí

Ondara (España), 21 de enero de 2010.

La arquitectura abarca como en un círculo todas las ciencias

VITRUVIO

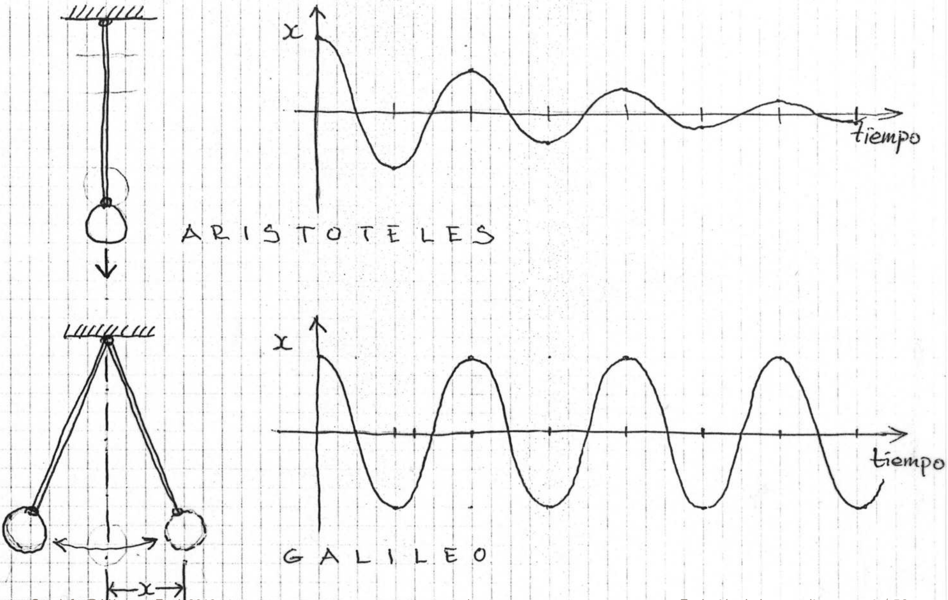
En estos tiempos de interpenetración generalizada de las técnicas científicas internacionales, propongo una única casa para todos los países y todos los climas: una casa con respiración exacta

LE CORBUSIER

Mitos autoritarios	Mitos democráticos
«hay lobos amarillos»	«no hay lobos negros»
- «lo que es» - inverificable habría que examinar a ***todos*** los lobos habidos y por haber - la verdad se decide por las autoridades con poder para ello - afirmaciones hacia el futuro - **superstición**	- «lo que no puede ser» - refutable bastaría con encontrar ***un*** lobo negro - cualquiera (si tiene ganas) puede participar en buscar una refutación - afirmaciones sobre el pasado - **ciencia**

la parte no puede entender el todo	dominar la ramera Naturaleza
VITRUVIO	ROGER BACON
la Naturaleza impone límites pero permite el libre albedrío	la mente inmaterial alberga nuestra libertad, mientras que nuestros cuerpos actúan como relojes
SPINOZA, HEISENBERG, ...	DESCARTES, LEIBNIZ, ...

El péndulo de Galileo



El péndulo de Galileo

- NEWTON: las ecuaciones de la gravitación universal y el cálculo de variaciones
- mecanicismo $\rightarrow$ determinismo

Pero. . .

- el problema del choque simultáneo de 'tres partículas' es *indeterminado*
- la solución práctica:

> LEMA: pequeñas diferencias en los datos sólo acarrean pequeñas diferencias en los resultados (no hay que preocuparse)

Entreviendo los límites. . .

La **Proposición VII** de GALILEO en sus *Discorsi*.

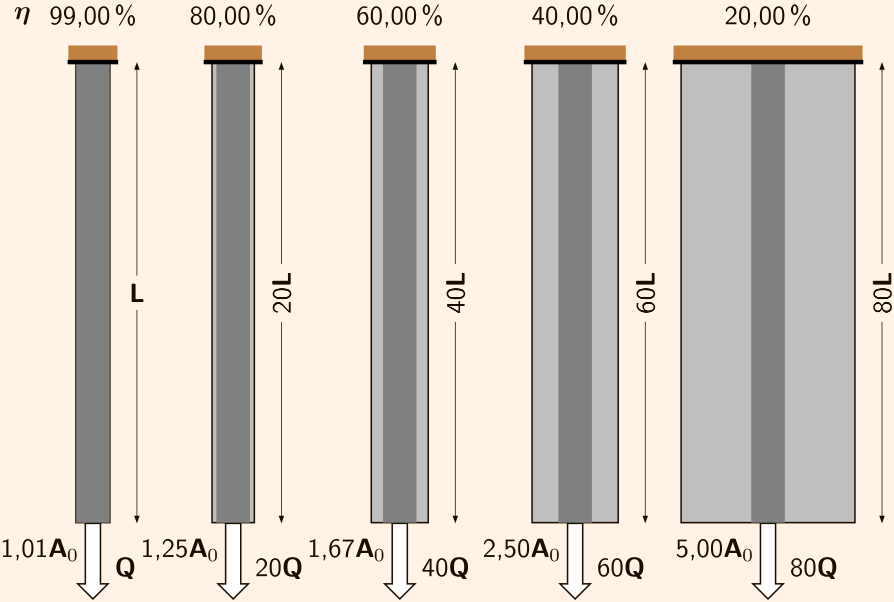
> Si imaginamos que un cuerpo crece proporcionalmente a su forma inicial, su peso [*stock*] crecera con el cubo de su tamaño (T^3), mientras que tendrá que equilibrarse con las tensiones [flujo] de su base, que sólo crece al cuadrado (T^2).
>
> Por tanto, existirá un tamaño máximo, en que el cuerpo es capaz de resistir *exactamente* su propio peso, sin poder soportar carga adicional.
>
> Para un tamaño mayor, el cuerpo se romperá.

Entreviendo los límites...

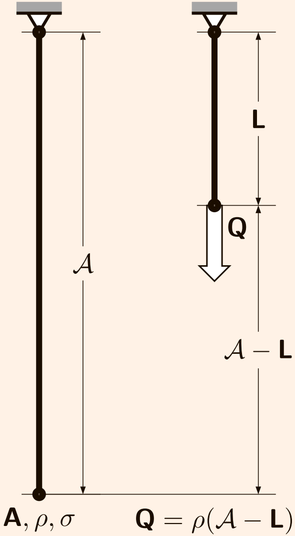
Rendimiento como $$\frac{\text{carga útil}}{\text{peso propio de la estructura}}$$
— puede ser mayor que la unidad (o que el 100 %).

Rendimiento como $$\frac{\text{carga útil}}{\text{peso total `movilizado'}} = \eta$$
— *es siempre menor que la unidad*.

El péndulo de Galileo



El péndulo de Galileo



El *alcance* de un material se define como:

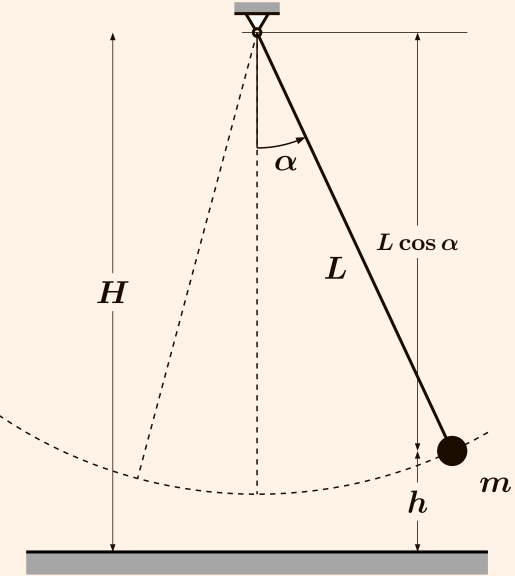
$$\mathcal{A} = \frac{\text{tensión de rotura } \sigma}{\text{peso específico } \rho}$$

Un cable de esa longitud sólo puede soportarse a sí mismo.

σ es un **flujo** de fuerza a través de una superficie, mientras que ρ representa un ***stock*** dentro de un volumen.

La ley de los cubos y los cuadrados de Galileo —una ley sobre *stocks* y flujos— sugiere que, en general, para cada morfología existe un tamaño *insuperable*, más allá del cual la morfología no puede funcionar; para ese tamaño en particular, todo el flujo sostiene a la propia morfología, sin ningún efecto útil adicional.

El principio de mínima energía potencial



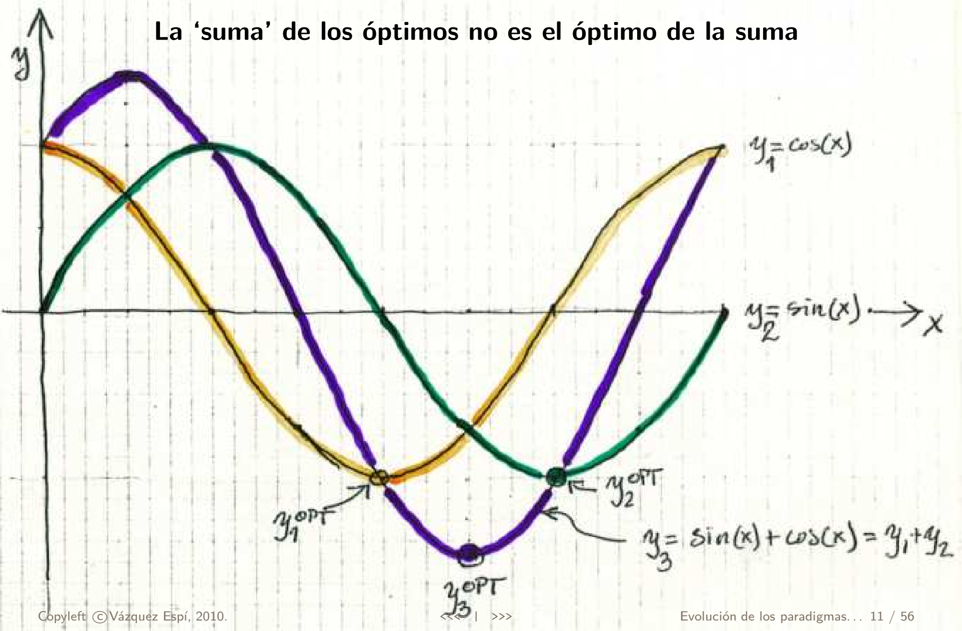
- Energía potencial:
$$\mathcal{E}(h) = mg \cdot h$$
- función 'altura':
$$h(\alpha) = H - L\cos\alpha$$
- **función potencial** para α:
$$\mathcal{E}(\alpha) = mg \cdot (H - L\cos\alpha)$$
- Aplicación del principio de mínima energía potencial: **cálculo del óptimo**

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \alpha} = mg \cdot L\sin\alpha$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \alpha} = 0 \Rightarrow \alpha = 0$$

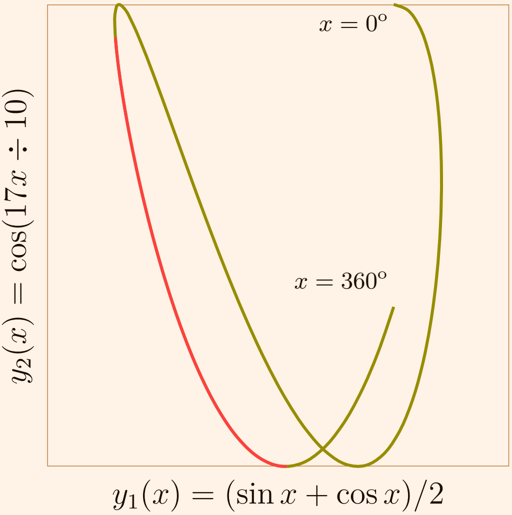
$$\mathcal{E}_{\min} = \mathcal{E}(0) = mg \cdot (H - L)$$

El principio de mínima energía potencial



El principio de mínima energía potencial

Optimación multifuncional o vectorial



Las leyes de la energía

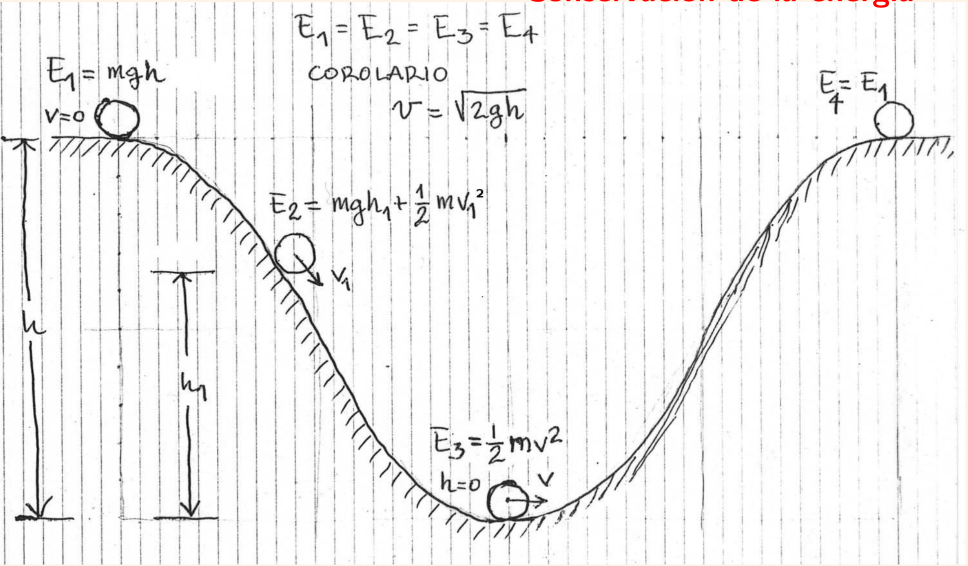
- Los distintos tipos de **energía potencial** pueden considerarse como *stocks* de energía. Su uso implica establecer un **flujo** a través de un gradiente y una transformación energética:
  - masa $\times$ diferencia de altura (caída)
  - carga eléctrica $\times$ diferencia de potencial eléctrico (corriente)
  - masa con velocidad relativa no nula (movimiento)
  - flujo de calor en un salto de temperatura (conducción, convención, etc)
  - flujo de disolvente en un salto de concentración (dilución, evaporación, etc)
  - etc
- La relación entre la energía potencial y el gradiente correspondiente **no siempre es lineal**. Un ejemplo de relación complicada es el de la velocidad, siendo la energía cinética igual a $0{,}5 \cdot m \cdot v^2$.

Las leyes de la energía

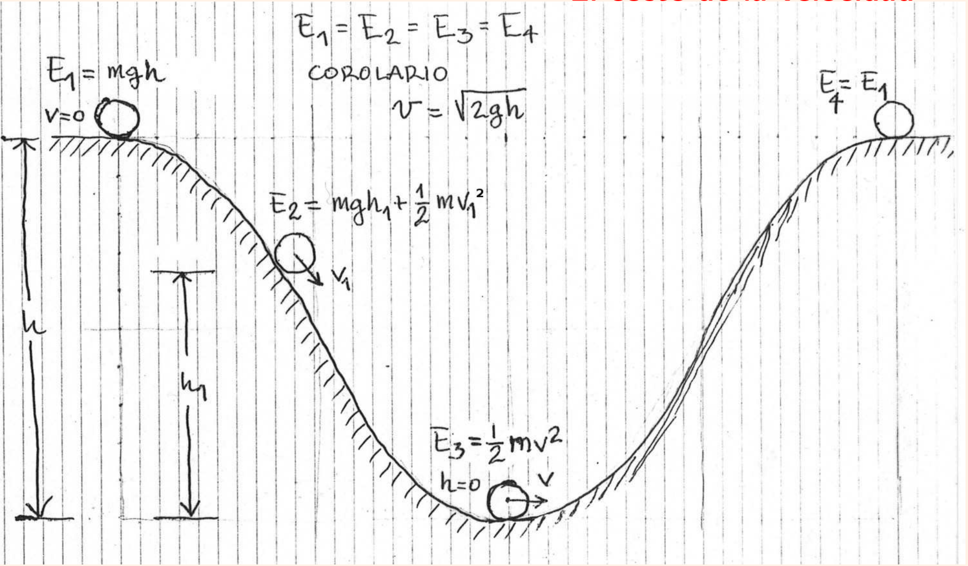
Con **1** kJ de energía y máquinas **perfectas** podemos actuar sobre **1** kg **de agua** y conseguir *muy distintos efectos*, aun cuando la energía empleada sea la misma:

- dispararlo a **161** km/h (44,7 m/s)
- elevarlo a **100** m **de altura**
- calentarlo **0,24** °C
- descomponer 37,9 g en hidrógeno y oxígeno, dejando el resto tal cual
- ...

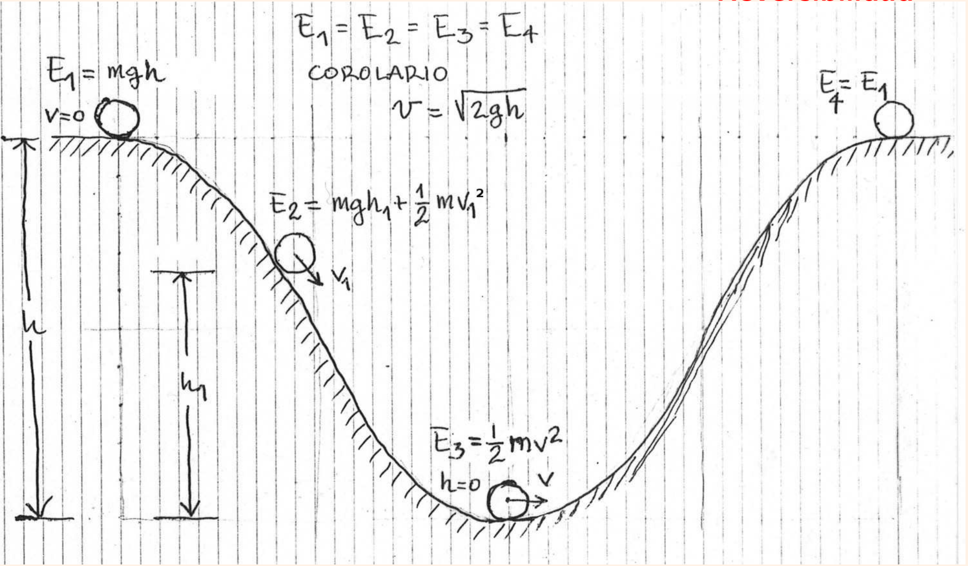
Conservación de la energía

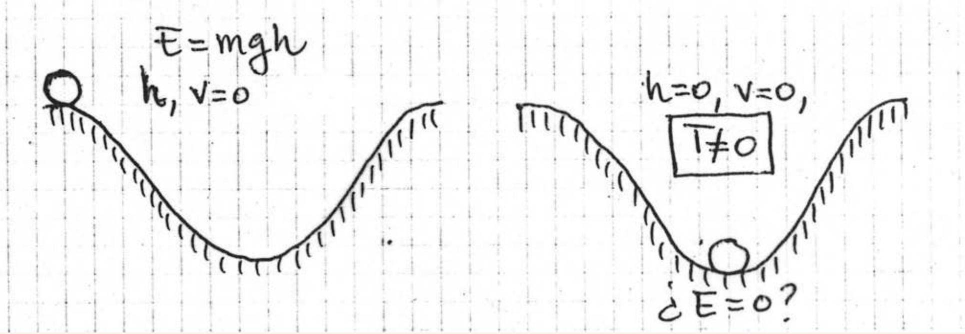


~~El coste de la velocidad~~

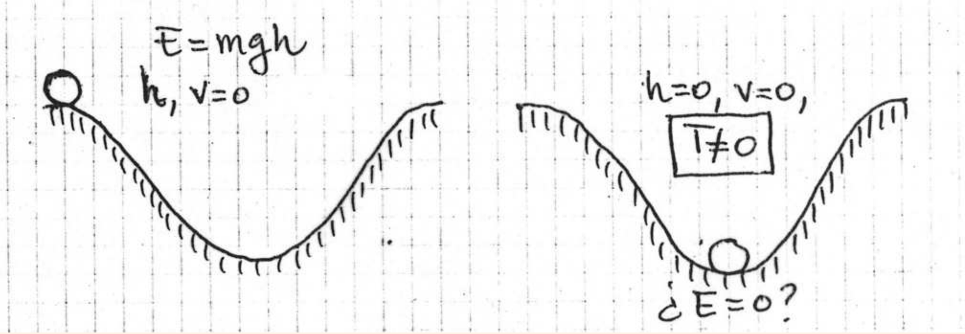


Reversibilidad



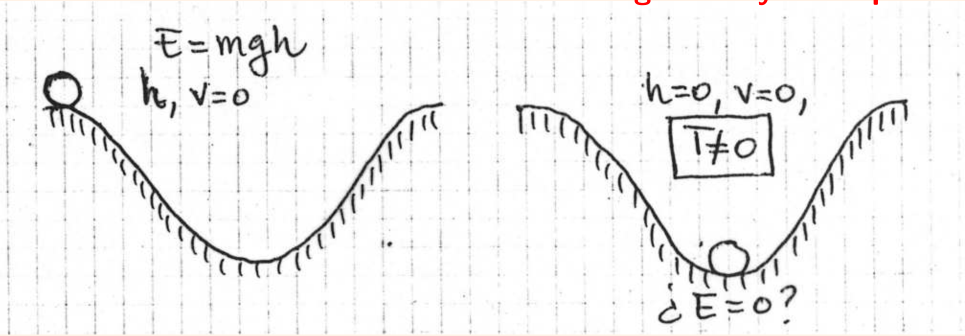


¿Dónde está la energía? Convertida en calor ($T \neq 0$). La equivalencia mecánica del calor resolvió por fin el misterio del 'calórico' y, de paso, aseguró la validez de la primera ley.



«Es imposible transferir calor de un punto frío a otro caliente sin realizar trabajo mecánico adicional»

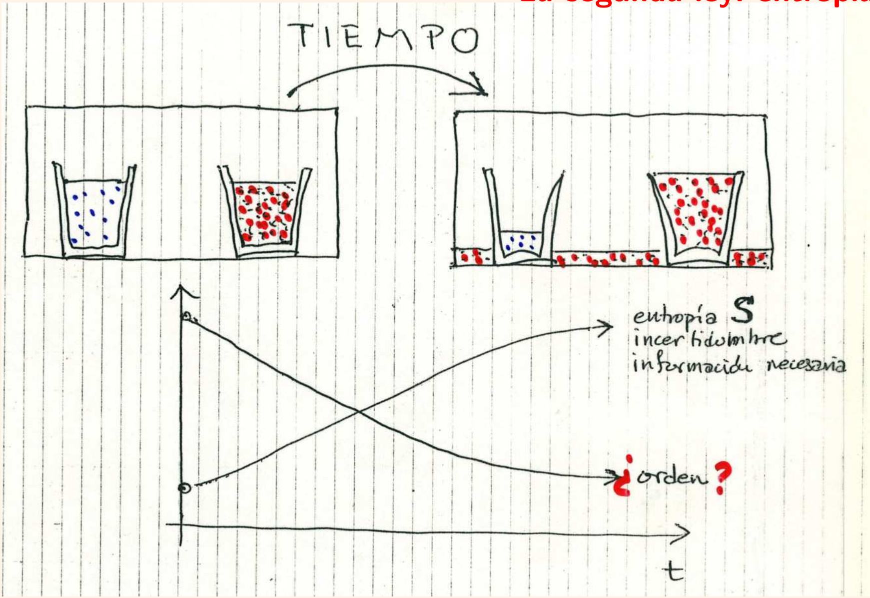
La segunda ley: entropía



«Es imposible transferir calor de un punto frío a otro caliente sin realizar trabajo mecánico adicional»

Las leyes de la energía

La segunda ley: entropía



En principio, podemos recuperar la **energía potencial** obtenida y volverla a convertir en trabajo con máquinas igualmente perfectas; con dos excepciones:

- del agua templada sólo obtendremos como mucho **0,0008** kJ de trabajo
- para cuando quisiéramos hacer trabajar el agua en movimiento, ya se habría detenido, habiendo disipado su energía cinética por fricción con el ambiente. . .

La conclusión es que aunque la energía, al transformarse, se conserva (primera ley), a poco que uno se descuide la posibilidad de reconvertirla en trabajo se pierde (segunda ley).
Ese trabajo 'potencial' se denomina técnicamente **exergía** (energía utilizable en forma de trabajo), es una magnitud que se **consume** (al reves que la energía, que se conserva). El rendimiento de una máquina industrial como **consumidora de exergía** es:

$$\text{rendimiento} = \frac{\text{exergía obtenida}}{\text{exergía consumida}} < \mathbf{1}$$

Siempre se pierde calor por disipación en la máquina.

La segunda ley: entropía

- $\mathcal{X} = Q \times \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$
- $\mathcal{X} = mg \times (h - h_0)$
- $\mathcal{X} = \frac{1}{2} m \times (v^2 - v_0^2)$
- ...
- $\mathcal{X} = \mathcal{E} \times \left\{1 - \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\alpha}\right\}$

En cualquier caso:

$$\mathcal{E} - \mathcal{X} > 0 \qquad \mathcal{E} - \mathcal{X} = \mathcal{I} \quad \text{(Irreversibilidad)}$$

Los procesos espontáneos sólo suceden en el sentido de aumentar la entropía o, mejor, *disminuir la exergía*; a la entropía se la denomina ''flecha del tiempo'', por ello.

La medida de la entropía requiere la medida de la incertidumbre

Termodinámica del (des)equilibrio

Aunque el proceso práctico es complicado, el funcionamiento teórico de una bomba de calor es análogo a una bomba de agua: se trata de bombear calor desde una fuente fría a una caliente, en sentido contrario al flujo espontáneo. Para ello, como en una bomba de agua, es necesario realizar un trabajo, consumiendo energía útil.

Cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas, menor será el rendimiento de la bomba. Y ese rendimiento es mayor que la unidad; por ejemplo para calefacción:

$$\frac{\textbf{calor}\text{ aportado}}{\text{energía }\textbf{eléctrica}\text{ consumida}} = 1 + \frac{T_{\text{Fría}}}{\Delta T}$$

Y para una bomba trabajando entre 0 y 20 ^{o}C, el **rendimiento teórico** es:

$$1 + \frac{273\,\mathrm{K}}{20\,\mathrm{K}} \approx 15$$

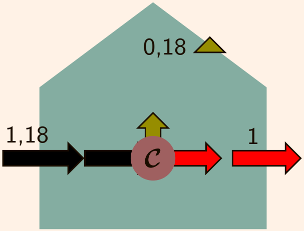
Termodinámica del (des)equilibrio

«Es infinitamente más rentable usar una cantidad mínima de esta energía de cinco estrellas [electricidad], altamente concentrada, para acumular la energía antigua desordenada y de baja calidad que yace en nuestros patios y concentrarla dentro de la casa. ¡Esto sí que constituye una gestión eficiente de los recursos energéticos!»

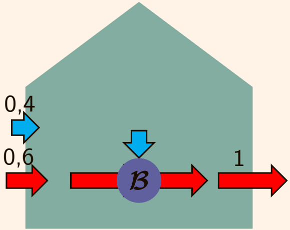
P.W. Atkins, *La segunda ley*, 1984.

	Caldera	**Bomba**
Rendimiento **del aparato**	0,85	2,5
Consumo	1,18	0,4
Pérdidas	1,18	1
- pasivas	0,18	
- activas	1	1
'Contaminación' térmica	1,18	0,4

Pero tras estas cifras tan optimistas hay más historias que contar...

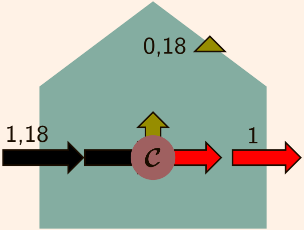


Caldera de gas



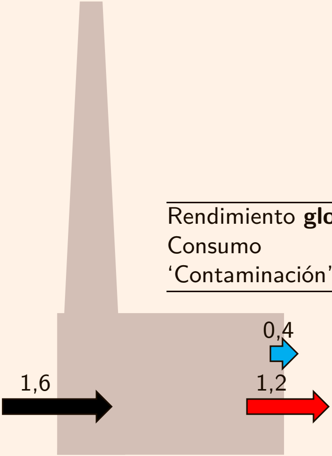
Bomba de calor

Termodinámica del (des)equilibrio

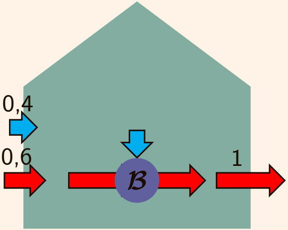


Caldera de gas

	Caldera	Bomba
Rendimiento **global**	0,85	0,63
Consumo	1,18	1,6
‘Contaminación’ térmica	1,18	1,6



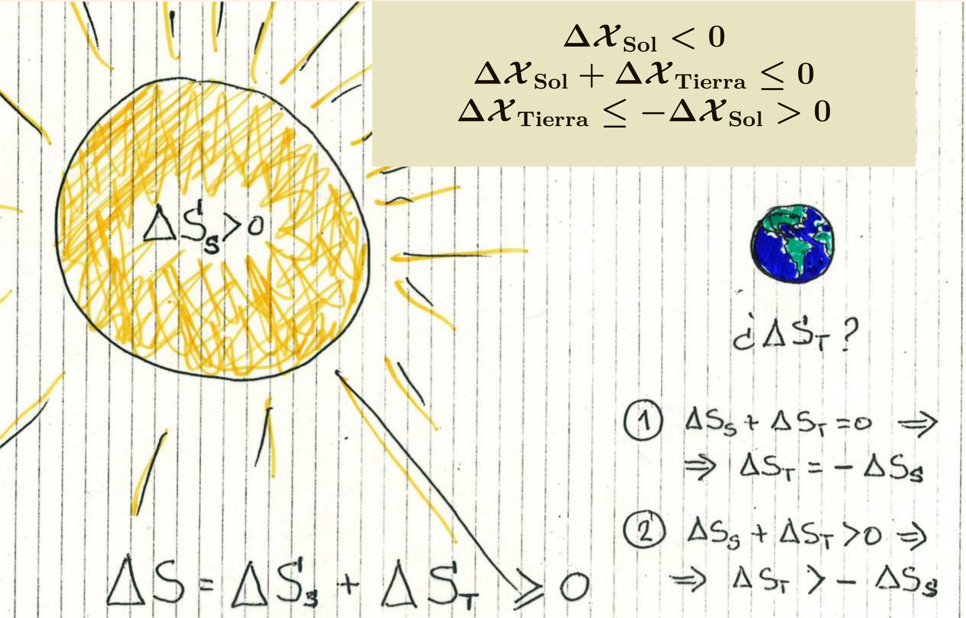
Central eléctrica



Bomba de calor

Termodinámica del (des)equilibrio

$$\Delta\mathcal{X}_{\text{Sol}} < 0$$
$$\Delta\mathcal{X}_{\text{Sol}} + \Delta\mathcal{X}_{\text{Tierra}} \leq 0$$
$$\Delta\mathcal{X}_{\text{Tierra}} \leq -\Delta\mathcal{X}_{\text{Sol}} > 0$$



Termodinámica del (des)equilibrio

Flujos de energía en la biosfera

La exergía utilizable se estima considerando que los flujos de entrada y salida son flujos térmicos con temperaturas para el Sol, la Tierra y el espacio exterior de 5.000 K, 293 K y 4 K, respectivamente.

	energía		exergía
	W/m^2	%	W/m^2
Flujo de radiación desde el Sol	1.353,00		1.352
— evaporación de agua del mar	311	23	
— movimientos de agua y aire	13,5	1	
— producción de biomasa	0,31	0,023	
Flujo desde el interior del planeta	0,034–0,078		
Flujo hacia el espacio exterior	1.352,74		1.334
Consumo de exergía			17,7

Pro memoria

— Superficie terrestre ≈ 509.000.000 km^2

— Consumo anual de energía primaria (2005), 447.000 PJ, equiv. 0,03 W/m^2

Fuente: Valero (1999) y elaboración propia.

Termodinámica del (des)equilibrio

- **Sistemas mecánicos:** **equilibrio estable: mínima energía potencial**

Termodinámica del (des)equilibrio

- Sistemas mecánicos: equilibrio estable: mínima energía potencial
- Sistemas aislados: equilibrio estable: $\boldsymbol{\mathcal{X}} = 0$

  Con el correr del tiempo toda la energía útil se habrá convertido en calor, toda diferencia (temperatura, presión, velocidad, etc) se habrá anulado. Para el universo como un todo se trata de su *muerte térmica*

Termodinámica del (des)equilibrio

- Sistemas mecánicos: equilibrio estable: mínima energía potencial
- Sistemas aislados: equilibrio estable: $\boldsymbol{\mathcal{X}} = 0$
- Sistemas cerrados: equilibrio estable: $\partial\boldsymbol{\mathcal{X}}_{\mathrm{in}} = 0$

Sólo hay intercambios de energía con el entorno. El sistema recibe un flujo exergético y disminuye su exergía interna (disipación). La exergía total puede aumentar, a costa de su disminución en el entorno que aporta el flujo. El equilibrio estacionario se alcanza cuando la exergía interna se hace mínima.

Termodinámica del (des)equilibrio

- Sistemas mecánicos: equilibrio estable: mínima energía potencial
- Sistemas aislados: equilibrio estable: $\boldsymbol{\mathcal{X}} = 0$
- Sistemas cerrados: equilibrio estable: $\partial\boldsymbol{\mathcal{X}}_{\text{in}} = 0$
- Sistemas abiertos estacionarios: estado estacionario ('cerca del equilibrio'): $\partial\boldsymbol{\mathcal{X}}_{\text{in+out}} = 0$

Ahora hay además intercambio (flujo) material con el entorno. Si el contexto fuerza al sistema a un sistema estacionario, las variables de estado *no dependen del tiempo*. En particular la variación de la exergía se hace nula: y el sistema consume la mínima exergía disponible en el entorno (que ve disminuir la suya en consecuencia).

Termodinámica del (des)equilibrio

- Sistemas mecánicos: equilibrio estable: mínima energía potencial
- Sistemas aislados: equilibrio estable: $\boldsymbol{\mathcal{X}} = 0$
- Sistemas cerrados: equilibrio estable: $\partial \boldsymbol{\mathcal{X}}_{\mathrm{in}} = 0$
- Sistemas abiertos estacionarios: estado estacionario ('cerca del equilibrio'): $\partial \boldsymbol{\mathcal{X}}_{\mathrm{in+out}} = 0$
- Sistemas abiertos ''lejos del equilibrio'': **¿?**

  Tras denonados esfuerzos no se ha encontrado una función potencial que permita predecir la evolución de tales sistemas. La hipótesis más extendida es ésta: tales sistemas son impredecibles (en cierto sentido son 'libres'). Tales sistemas consumen incesantemente exergía (estructuras disipativas), mientras puedan conseguirla de su entorno.

Termodinámica del (des)equilibrio

- Sistemas mecánicos: equilibrio estable: mínima energía potencial
- Sistemas aislados: equilibrio estable: $\boldsymbol{\mathcal{X}} = 0$
- Sistemas cerrados: equilibrio estable: $\partial\boldsymbol{\mathcal{X}}_{\mathrm{in}} = 0$
- Sistemas abiertos estacionarios: estado estacionario ('cerca del equilibrio'): $\partial\boldsymbol{\mathcal{X}}_{\mathrm{in+out}} = 0$
- Sistemas abiertos ''lejos del equilibrio'': **¿?**
  - **Las condiciones iniciales son determinantes de la evolución del sistema**
  - **Pequeñas diferencias pueden amplificarse: el sistema puede 'adaptarse' (también 'morirse')**
  - **El observador puede rastrear el pasado del sistema aunque no pueda predecir el futuro: el sistema 'guarda' memoria**

Termodinámica del (des)equilibrio

Estar vivo para un mamífero significa, entre otras cosas, mantener una diferencia de temperatura apreciable con el ambiente, es decir, disipar continuamente calor.

Nuestras casas y edificios operan de forma análoga, disipando calor de alguna forma, para mantenerse 'diferentes' a la calle o al campo.

Medir la eficiencia de un organismo vivo mediante la definición del rendimiento de una máquina y pretender mejorarla, acaba siempre con el organismo muerto para evitar que siga disipando y consumiendo exergía.

La vida es **irrepetible** a fuerza de ser disipativa, y caben pocas esperanzas de congeniar vitalidad y eficiencia.

De hecho, ¿existe alguna forma **más eficiente** de ser Mariano Vázquez que ser Mariano Vázquez?

Termodinámica del (des)equilibrio

Energía útil consumida en el ciclo hidrológico

(en terajulios anuales)

Evaporación del agua del mar	$\approx$	1.000.000.000.000 TJ
Pro memoria		
Valoración energética del agua dulce empleada por los ecosistemas artificiales	$>$	13.000.000.000 TJ
Fotosíntesis	$\approx$	3.600.000.000 TJ
Producción artificial de energía primaria		
2005–2006	$\approx$	447.000.000 TJ
1999	$\approx$	400.000.000 TJ
1960	$\approx$	134.000.000 TJ
Acumulación energética en la fotosíntesis	$<$	25.000.000 TJ

Fuente: Elaboración propia

Termodinámica del (des)equilibrio

- Sistem ... cial
- Sistem
- Sistem
- Sistem ... l equilibrio'):
  $\partial\boldsymbol{\mathcal{X}}_{\text{in+}}$
- Sistem

Producción de agua dulce

Proceso	Coste energético (MJ/m^3)
Evaporación (CN)	2.600
Ósmosis inversa	
— real (ca. 2000)	11
— límite teórico	3
Pro memoria:	
Trasvase del Ebro (2000)	
— proyecto para 1.000 Hm^3	15

Termodinámica del (des)equilibrio

- Sistemas mecánicos: equilibrio estable: mínima energía potencial
- Sistemas aislados: equilibrio estable: $\boldsymbol{\mathcal{X}} = 0$
- Sistemas cerrados: equilibrio estable: $\partial\boldsymbol{\mathcal{X}}_{\mathrm{in}} = 0$
- Sistemas abiertos estacionarios: estado estacionario ('cerca del equilibrio'): $\partial\boldsymbol{\mathcal{X}}_{\mathrm{in+out}} = 0$
- **Sistemas abiertos "lejos del equilibrio": ¿?**

Teoría del ‘caos’

Por un clavo se perdió una herradura
por una herradura se perdió una caballo
por un caballo se perdió un jinete
por un jinete se perdió un mensaje
por un mensaje se perdió una batalla.

(canción popular europea)

Teoría del ‘caos’

‘ecuación logística’

- $x_{i+1} = rx_i \cdot (1 - x_i)$

‘ecuación logística’

- $x_{i+1} = rx_i \cdot (1 - x_i)$
  - x_i: población en el tiempo i ($[0, 1]$)
  - r: parámetro característico de la población ($[0, 4]$)
  - rx: tasa de reproducción
  - $1 - x$: agotamiento de recursos

‘ecuación logística’

- $x_{i+1} = r x_i \cdot (1 - x_i)$
- ¿cuál será el tamaño estable de la población?

  ¿$x_{i+1} = x_i$?

  - solución: $x_{\text{eq}} = \dfrac{r - 1}{r}$ si $r \geq 1$

'ecuación logística'

- $x_{i+1} = rx_i \cdot (1 - x_i)$
- tamaño estable 'calculado': $x_{\mathrm{eq}} = \dfrac{r-1}{r}$ si $r \geq 1$
- comprobación:
  - $x_1 = rx_0 \cdot (1 - x_0)$
  - $x_2 = rx_1 \cdot (1 - x_1)$
  - ...
  - $x_n = rx_{n-1} \cdot (1 - x_{n-1})$

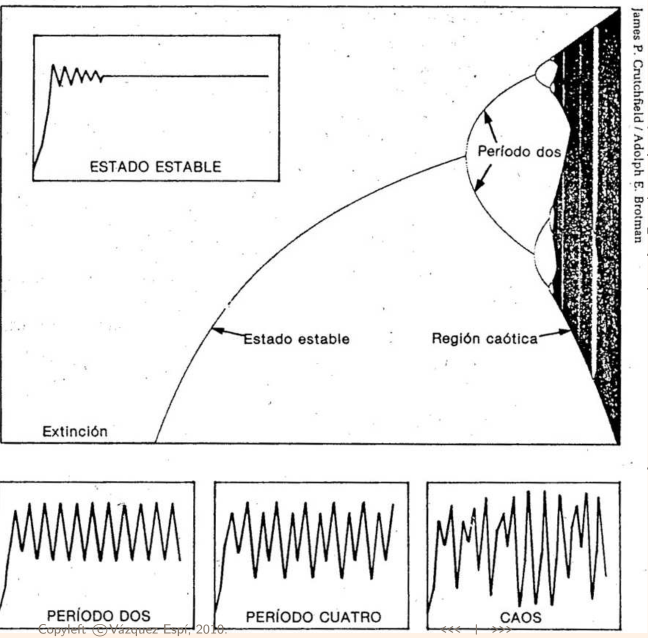
    con $x_n = x_{n-1} = x_{\mathrm{ev}}$
  - ¿$x_{\mathrm{eq}} = x_{\mathrm{ev}}$?

'ecuación logística'

- $x_{i+1} = r x_i \cdot (1 - x_i)$
- tamaño estable 'calculado': $x_{\text{eq}} = \dfrac{r-1}{r}$ si $r \geq 1$

r	2,7	3	3,25	3,5	3,6	3,83
x_{eq}	0,63	0,67	0,69	0,71	0,72	0,74
x_{ev}	0,63	0,67	0,50	0,38	'caos'	0,16
			0,81	0,83		0,50
				0,50		0,96
				0,87		

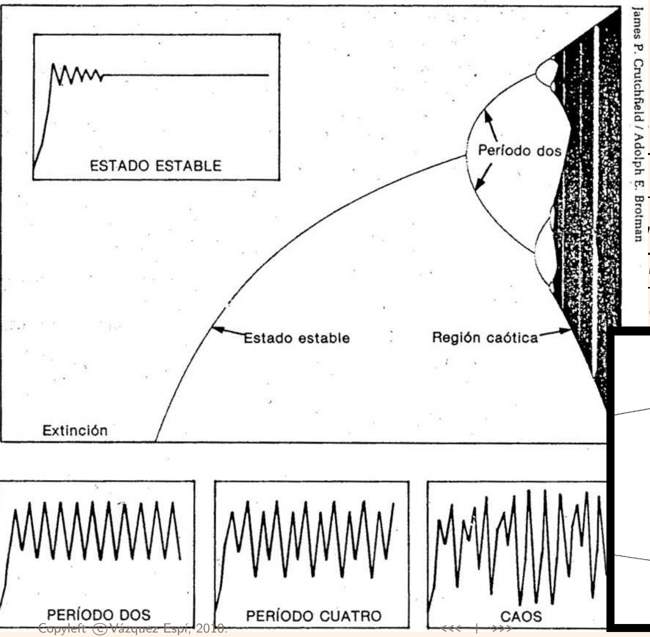
Teoría del 'caos'



$$\frac{-1}{r} \text{ si } r \geq 1$$

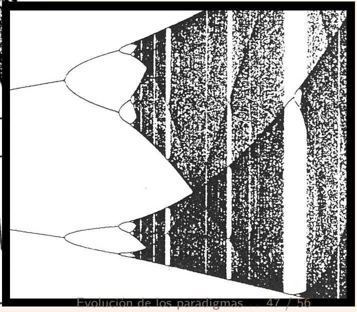
,6	3,83
72	0,74
os'	0,16
	0,50
	0,96

Teoría del 'caos'

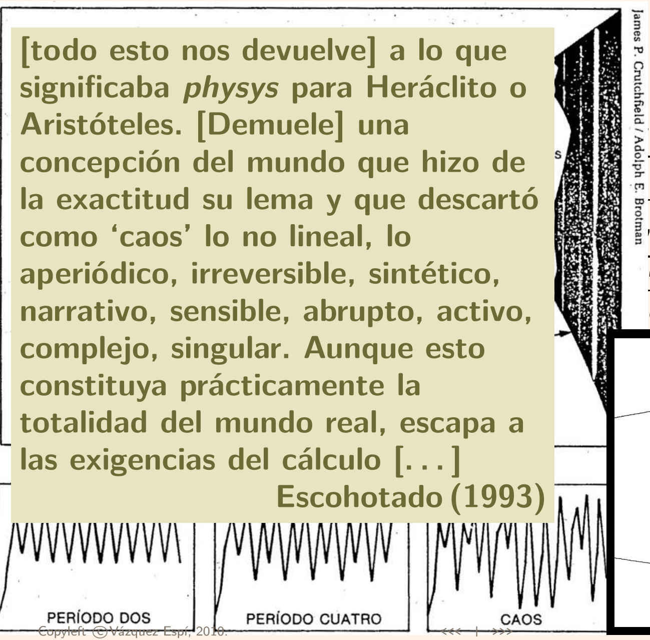


$$\frac{\;-1}{r} \text{ si } r \geq 1$$

,6	3,83
72	0,74
os'	0,16



Teoría del ‘caos’

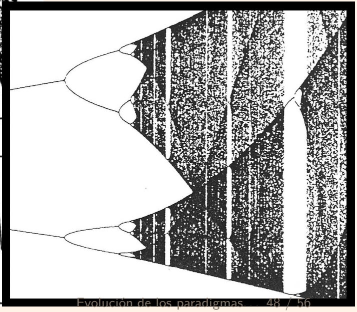


[todo esto nos devuelve] a lo que significaba *physys* para Heráclito o Aristóteles. [Demuele] una concepción del mundo que hizo de la exactitud su lema y que descartó como ‘caos’ lo no lineal, lo aperiódico, irreversible, sintético, narrativo, sensible, abrupto, activo, complejo, singular. Aunque esto constituya prácticamente la totalidad del mundo real, escapa a las exigencias del cálculo [. . .]

Escohotado (1993)

$\frac{\;-1}{r}$ si $r \geq 1$

,6	3,83
72	0,74
os’	0,16



La máquina de cálculo

- **El mecanicismo newtoniano prometía la resolución de problemas convenientemente representados matemáticamente mediante la optimación escalar, mediante la destilación de soluciones predecibles, *pero*. . .**

La máquina de cálculo

- El mecanicismo newtoniano prometía la resolución de problemas convenientemente representados matemáticamente mediante la optimación escalar, mediante la destilación de soluciones predecibles, *pero*. . .
- **Los sistemas 'caóticos' son una primera clase de problemas irresolubles**

La máquina de cálculo

- El mecanicismo newtoniano prometía la resolución de problemas convenientemente representados matemáticamente mediante la optimación escalar, mediante la destilación de soluciones predecibles, *pero*...
- Los sistemas 'caóticos' son una primera clase de problemas irresolubles
- **Los problemas 'atacables' mediante la óptimación vectorial son otra clase de indecidibles, de dificultad mayor**

La máquina de cálculo

- El mecanicismo newtoniano prometía la resolución de problemas convenientemente representados matemáticamente mediante la optimación escalar, mediante la destilación de soluciones predecibles, *pero*. . .
- Los sistemas 'caóticos' son una primera clase de problemas irresolubles
- Los problemas 'atacables' mediante la óptimación vectorial son otra clase de indecidibles, de dificultad mayor
- **Todavía, dentro de los resolubles, se encuentran los *intratables***

La máquina de cálculo

- El mecanicismo newtoniano prometía la resolución de problemas convenientemente representados matemáticamente mediante la optimación escalar, mediante la destilación de soluciones predecibles, *pero*. . .
- Los sistemas 'caóticos' son una primera clase de problemas irresolubles
- Los problemas 'atacables' mediante la óptimación vectorial son otra clase de indecidibles, de dificultad mayor
- Todavía, dentro de los resolubles, se encuentran los *intratables*

El viajante de comercio

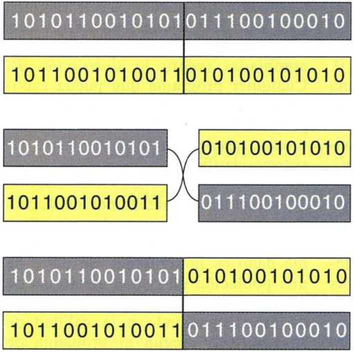
Ciudades	Itinerarios	Tiempo
3	1	$10 - 12$ s
6	60	6×10^{-11} s
12	19.958.400	2×10^{-5} s
24	1,29$\times 10^{22}$	4 siglos
48	1,29$\times 10^{59}$	4×10^{36} milenios

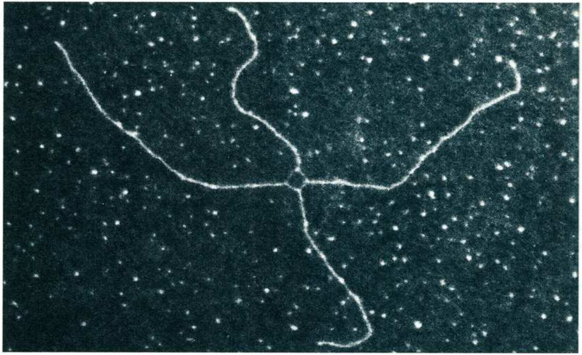
La máquina de cálculo

- El mecanicismo newtoniano prometía la resolución de problemas convenientemente representados matemáticamente mediante la optimación escalar, mediante la destilación de soluciones predecibles, *pero*. . .
- Los sistemas 'caóticos' son una primera clase de problemas irresolubles
- Los problemas 'atacables' mediante la óptimación vectorial son otra clase de indecidibles, de dificultad mayor
- Todavía, dentro de los resolubles, se encuentran los *intratables*

  Estos problemas sugieren abandonar la noción de 'sistema' y sustituirla por la de 'proceso'

La máquina de cálculo





por la de 'proceso'

v.g, algoritmos genéticos. . .

Consecuencias. . .

- Participar como parte en los procesos que nos rodean.
- Carácter local y temporal de los mitos científicos
- Necesidad de considerar los contextos que albergan los fenómenos y el análisis global de sus interrelaciones.
- No hay metas definidas a las que llegar: medios y fines deben integrarse: importa la acción que se escoge y sus consecuencias inmediatas, no las metas futuras que pudieran justificarla.
- El papel de la técnica, como camino objetivo hacia la mejor solución de los problemas, queda al descubierto como una superstición.

[. . .] **al igual que existe una ecología de las malas hierbas, existe una ecología de las malas ideas, y desafortunadamente una característica [del actual sistema] es que el error básico se propaga.**

Gregory Bateson (1972)

Evolución de los paradigmas científicos

Anejo ilustrado del artículo homónimo,

http://habitat.aq.upm.es/gi/mve/daee/eppcc.pdf

Mariano Vázquez Espí

GIAU+S (UPM)

Grupo de Investigación en Arquitectura, Urbanismo y Sostenibilidad

Universidad Politécnica de Madrid

http://habitat.aq.upm.es/gi

Edición del 25 de enero de 2010

Compuesto con *free software*:

GNULinux/LaTeX/dvips/ps2pdf