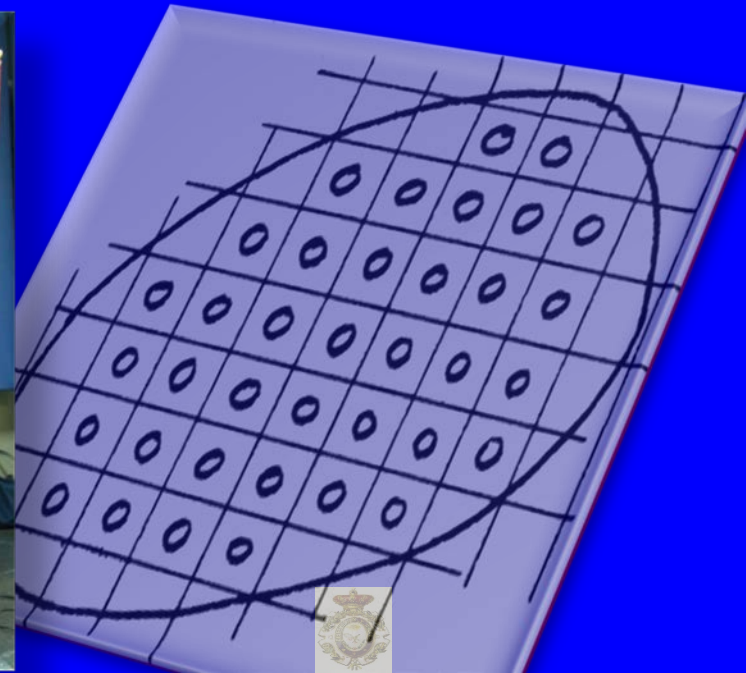
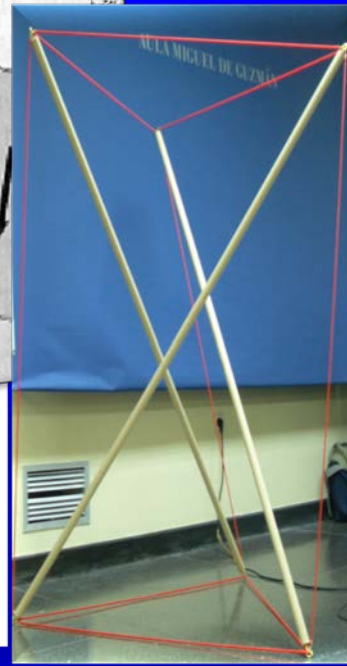
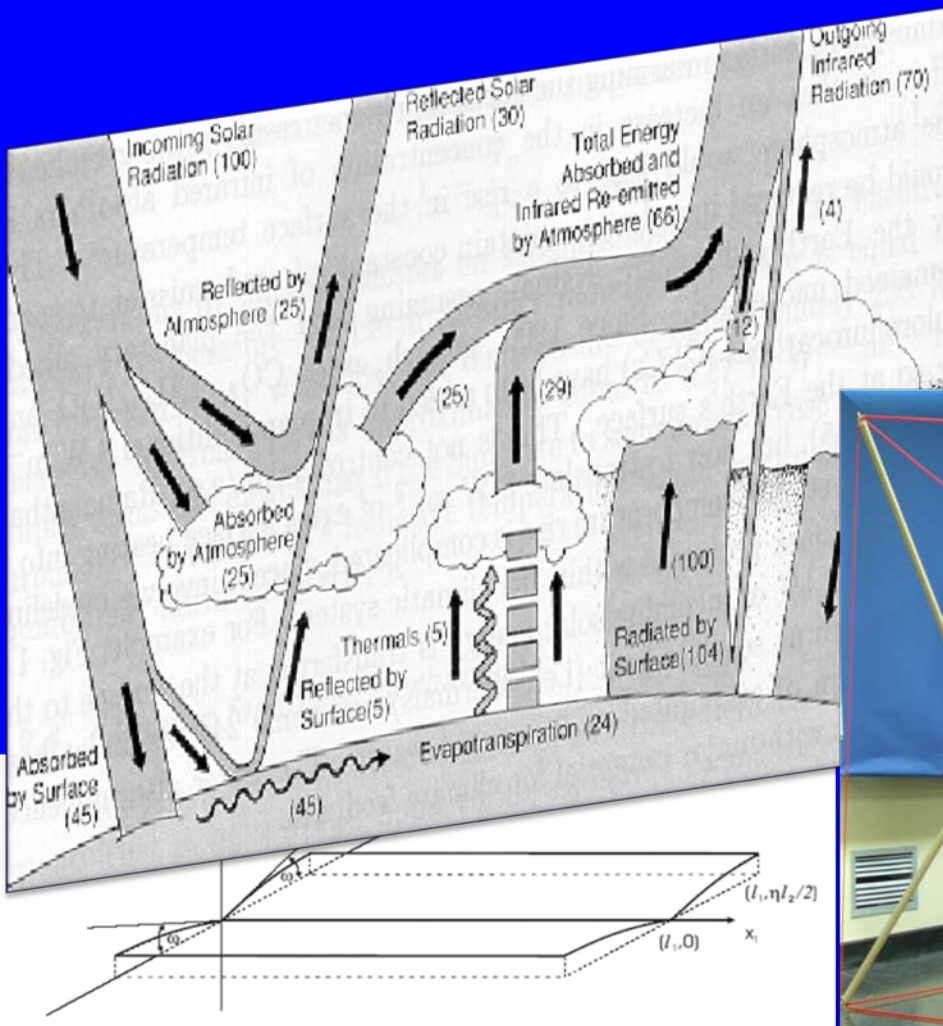


**Modelización matemática en climatología, nuevos materiales y estructuras elásticas peculiares:
¿analogías en el ámbito de la arquitectura?**

**J.I. Díaz,
Fac. Matemáticas, UCM y RAC**

18 de enero 2012

Master en Proyectos Arquitectónicos Avanzados
Laboratorio de Innovación y Tecnología (Lab3)
Escuela de Arquitectura
Universidad Politécnica de Madrid



0. Introducción

Energía, materia y geometría: 12 preguntas fundamentales

Se quiere tomar el pulso de los *procesos de creatividad* actuales ante la profunda influencia de las *nuevas tecnologías de la información y la comunicación*. Se quiere también establecer un marco adecuado para la generación de *nuevas ideas* o de *asociaciones entre ideas y conceptos* conocidos que puedan producir *soluciones inéditas*, e interesa la participación de interlocutores *ajenos a la arquitectura* o de colegas con enfoques acentuados.

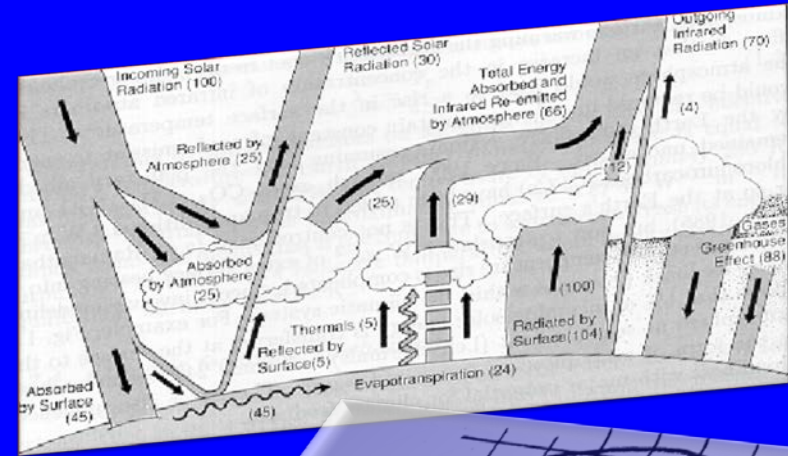
Para ello el Lab3 contará con la colaboración de 12 invitados procedentes de diversas disciplinas que a lo largo del curso expondrán ideas y formularán una serie de preguntas sobre *aspectos energéticos, materiales y geométricos* que serán respondidas desde nuestro puesto de arquitectos.

“Universalidad” de la Matemática: los tres temas en esta exposición

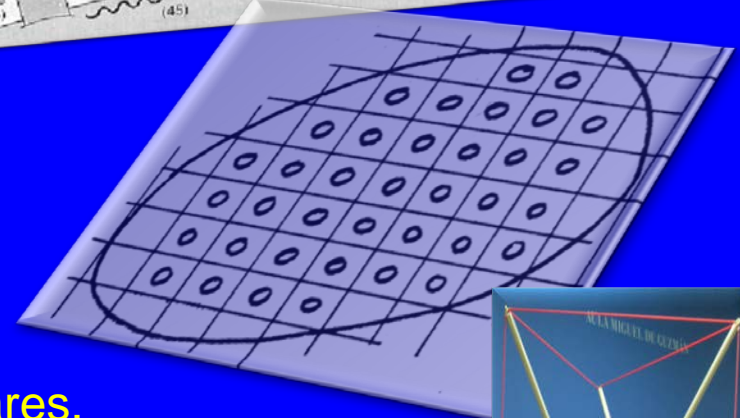


Ilustración de los temas de referencia:

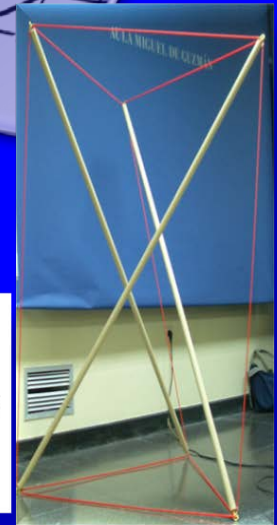
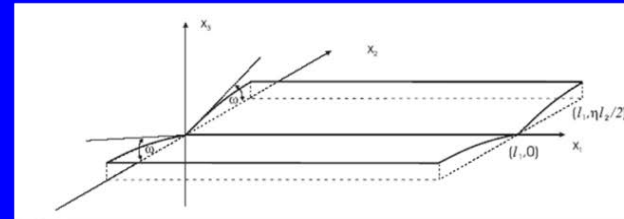
1. Energía: climatología
(en el planeta Tierra).



2. Materia: nuevos materiales.



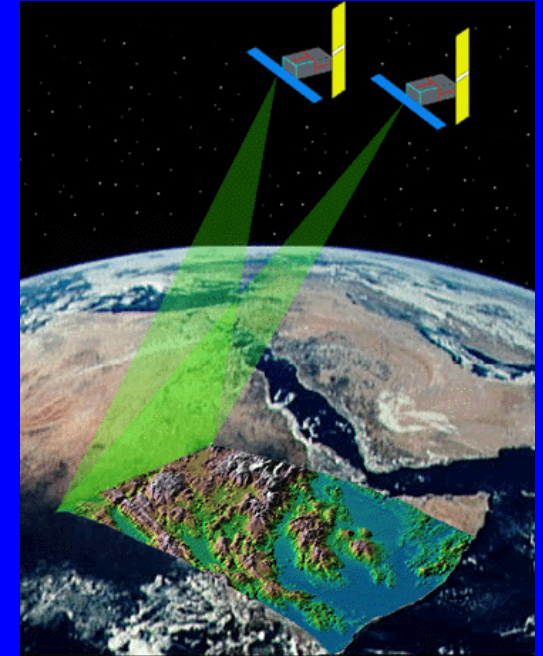
3. Geometría: estructuras elásticas peculiares.



4. ¿Analogías en el ámbito de la arquitectura?: Indicios ...



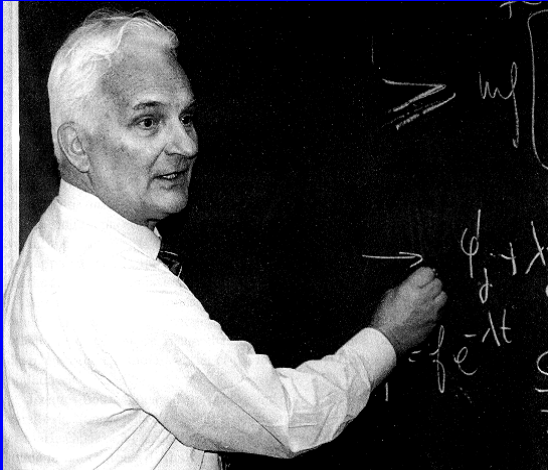
1. Energía: climatología (en el planeta Tierra).



Siglo XXI

4.500 millones de años

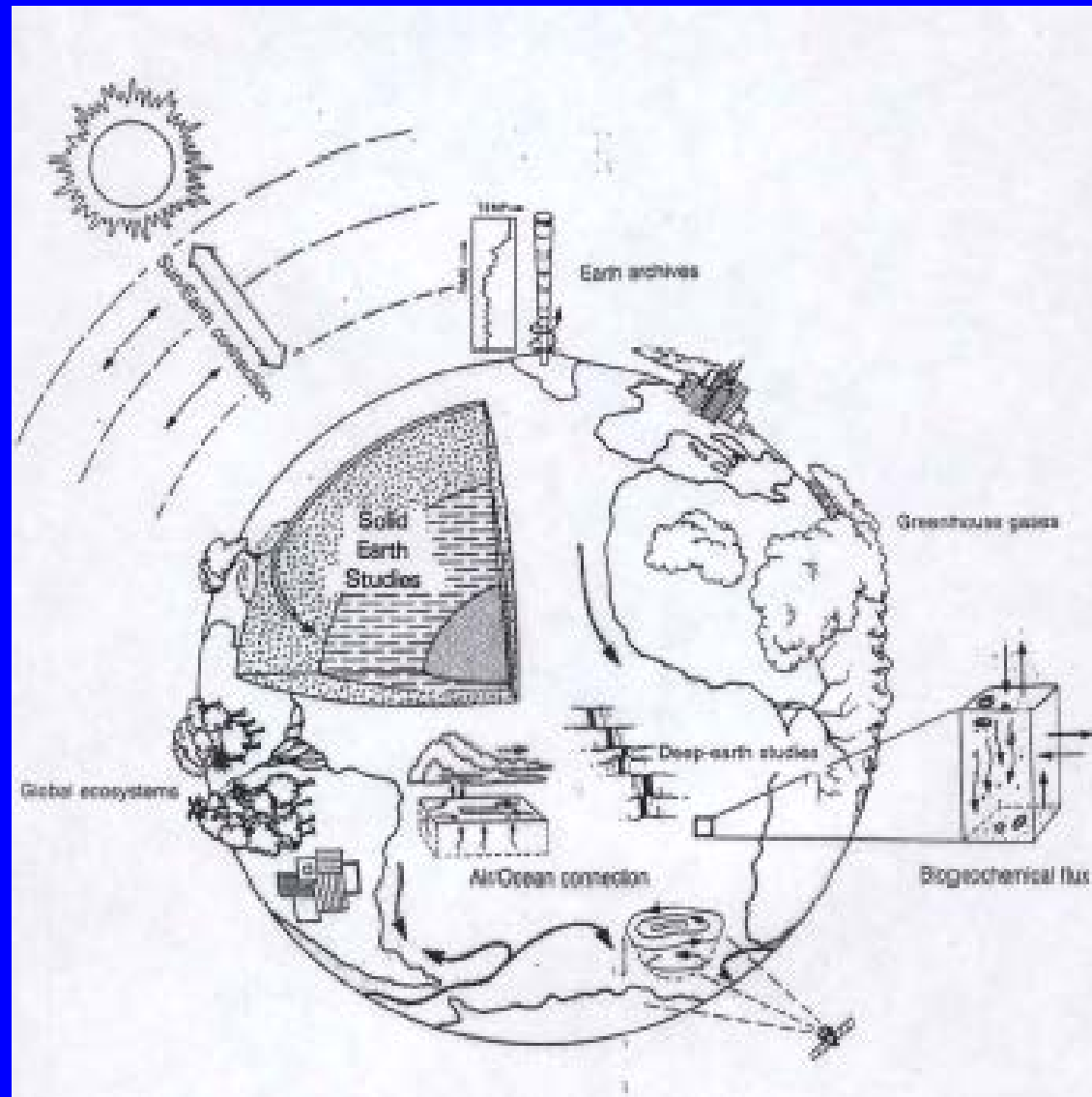
Guía para el viaje: La “Trilogía Universal” de la Matemática Aplicada



Sistema real

**J.L. Lions
(1928-2001)**

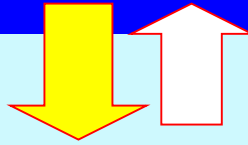
Planeta Tierra: sistema complejo



La “Trilogía Universal” de la Matemática Aplicada

Sistema real

Predicción



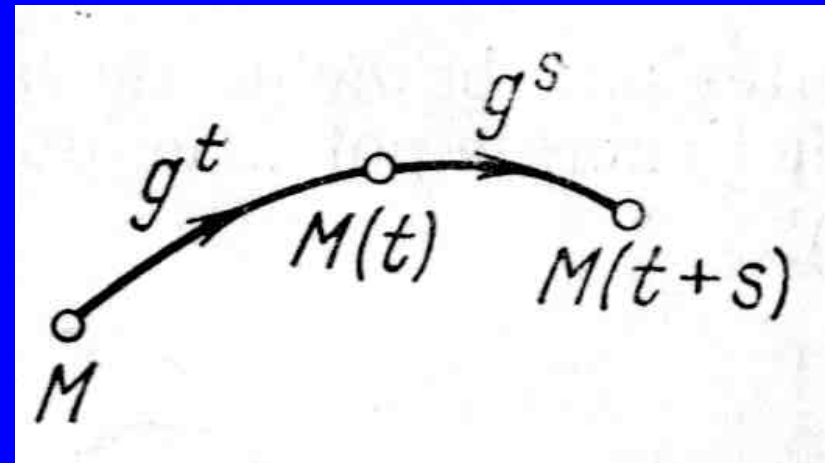
Modelización
matemática

Modelos matemáticos

- Deterministas
- Estocásticos
 - Mixtos
- Régimen transitorio (sistemas dinámicos)
- Régimen estacionario (estados de equilibrio)

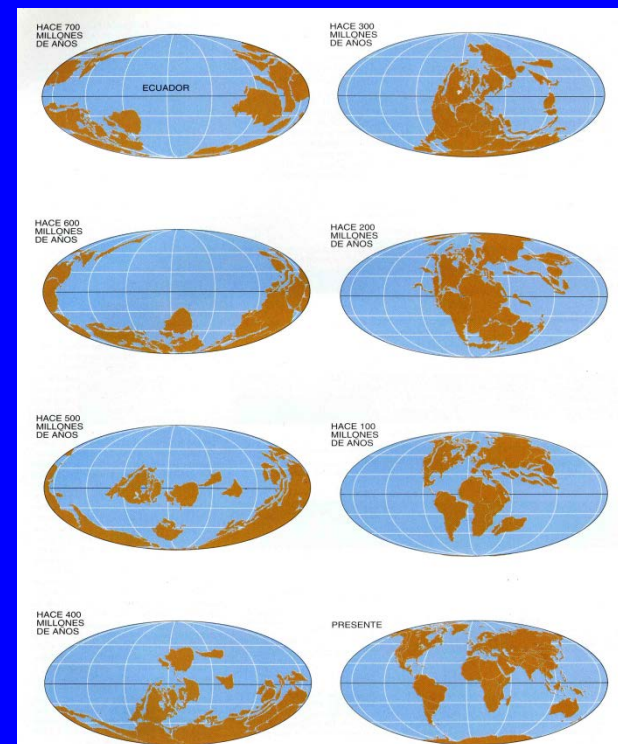
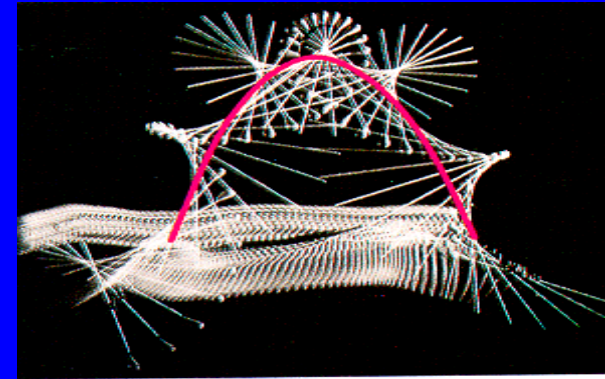
sistemas dinámicos

- Sistema
- Dinámica



- Espacio de los estados

Contínuos/Discretos

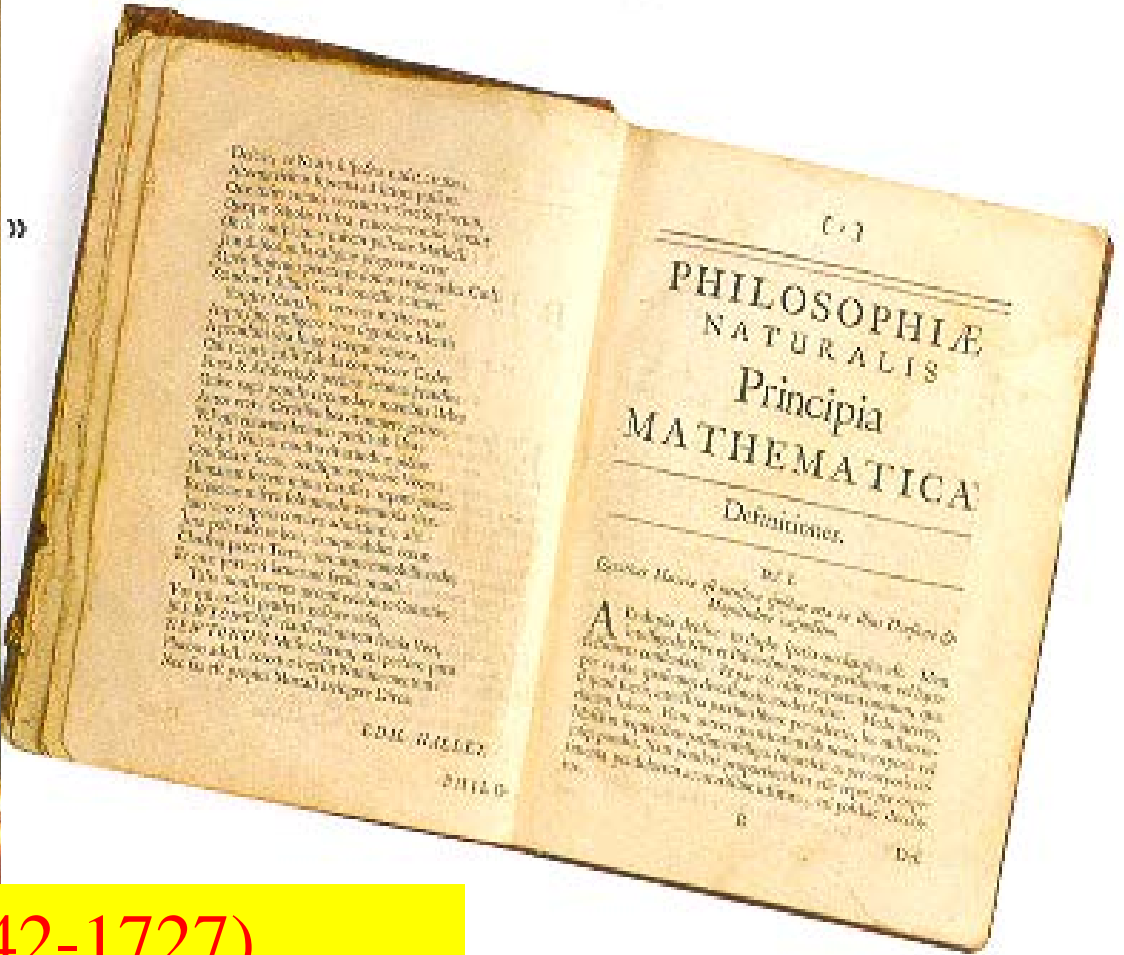


Takoma Narrows (Washington, 1940)

20/08/2023

J.I. Díaz

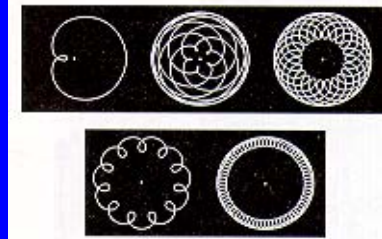
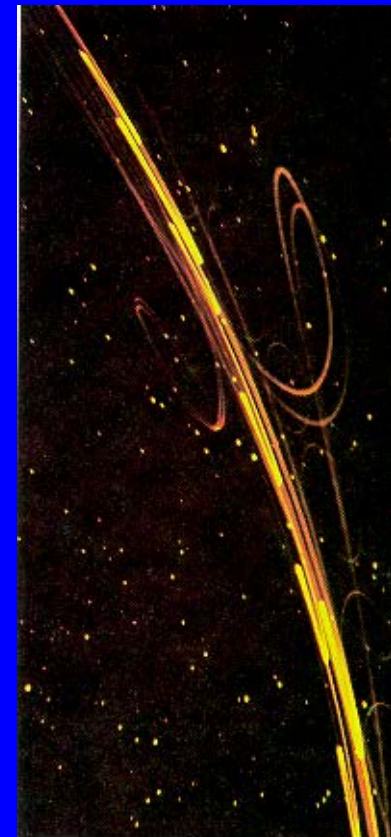
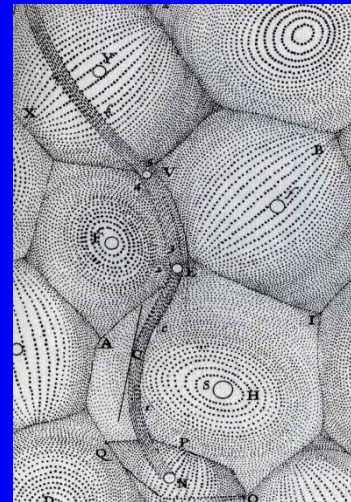
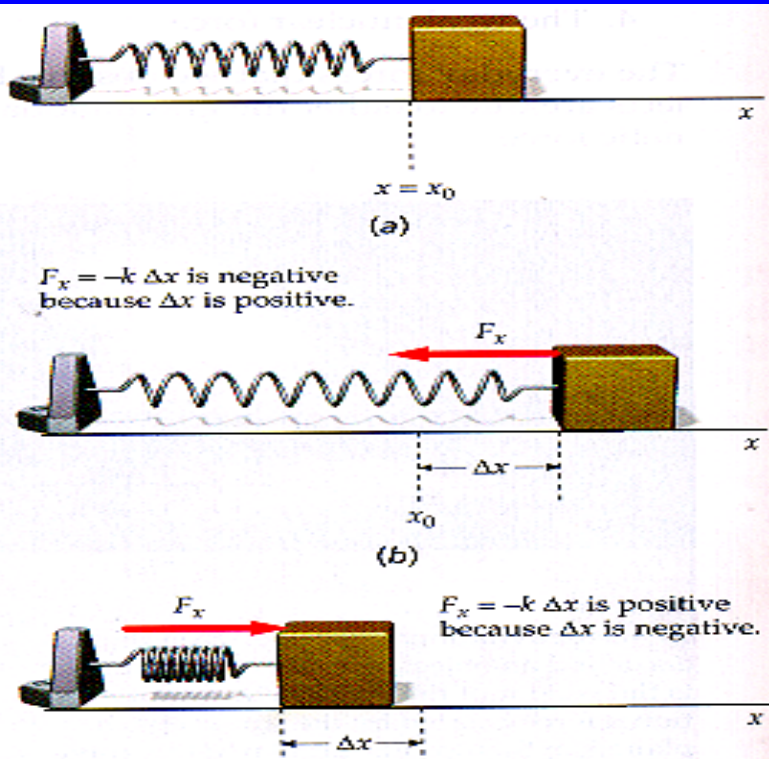
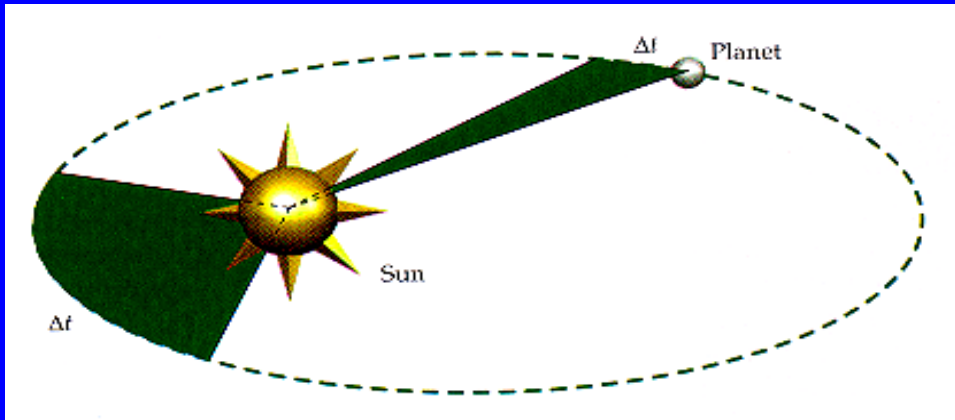




Sir Isaac Newton (1642-1727)

1687

Mecánica Clásica



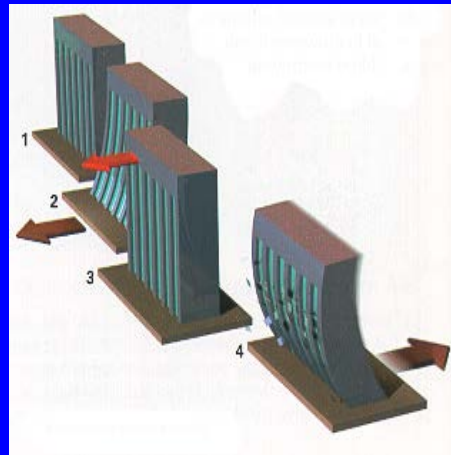
The apparent motion of the planets.

Mecánica de Medios Continuos

Fluidos



Elasticidad



Termodinámica

Ecuaciones: Sistemas dinámicos

Modelos de Circulación General

Claude Navier (1785-1836), Sir George Gabriel Stokes (1819-1903)

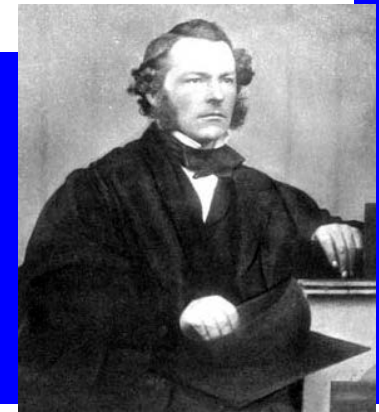
$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} - g\delta_{i3} + f_{ri}, \quad i = 1, 2, 3,$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 v_j \frac{\partial \rho}{\partial x_j} = -\rho \operatorname{div}(\vec{v}).$$

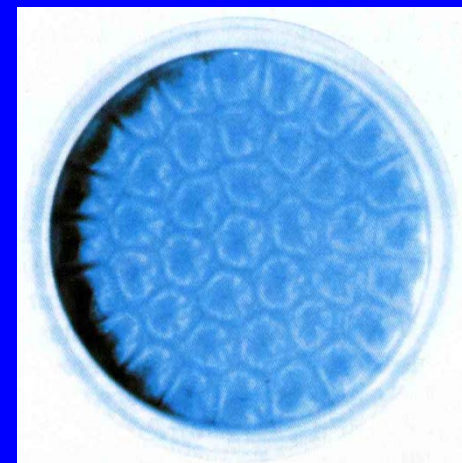
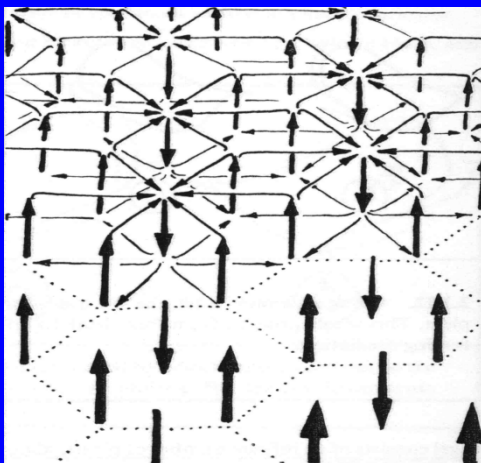
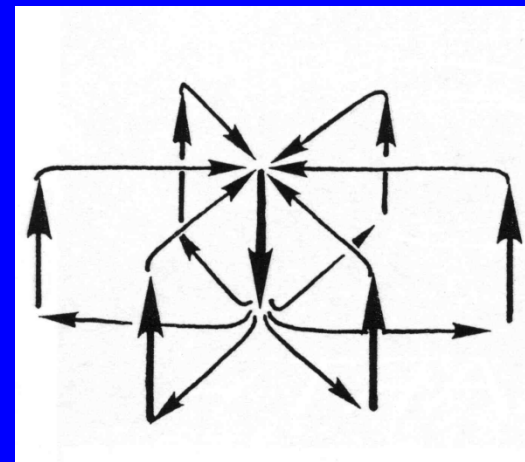
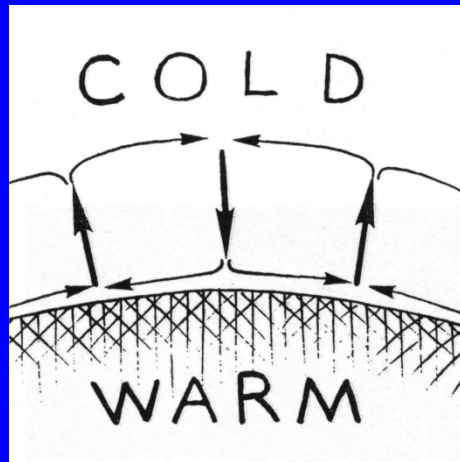
$$p = \rho R T.$$

$$C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 v_j \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = \frac{RT}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 v_j \frac{\partial p}{\partial x_j} \right) + Q,$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 v_j \frac{\partial q}{\partial x_j} = Q',$$

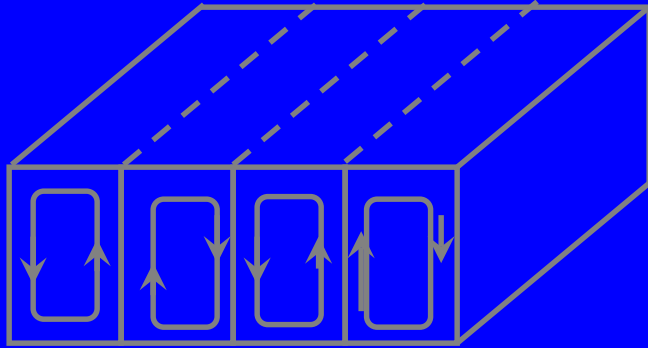


Células de Rayleigh-Benard



[26]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u = -\nabla p + \frac{1}{R_e} \Delta u + (T - T_0) g \quad \text{N-S}$$

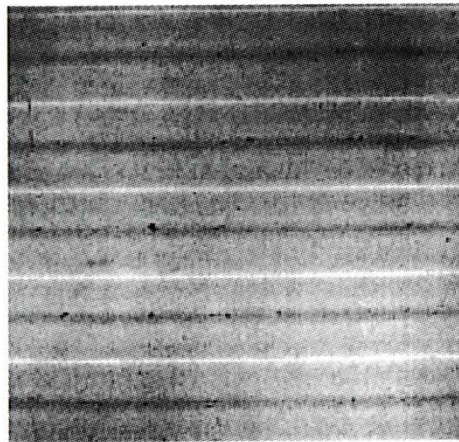


$$\frac{dy}{dt} = -xz + rx - y$$

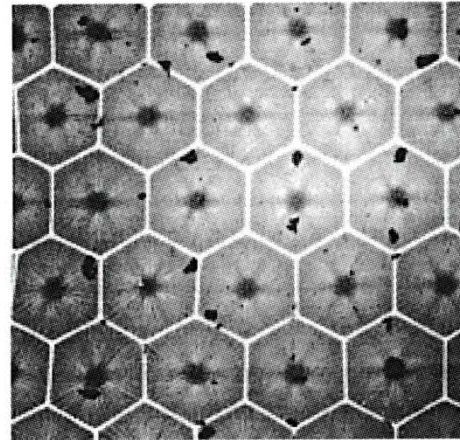
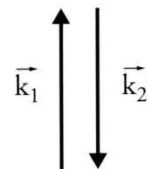
$$\frac{dx}{dt} = -\beta(x - y)$$

$$\frac{d^2 z}{dt} = xy - bz$$

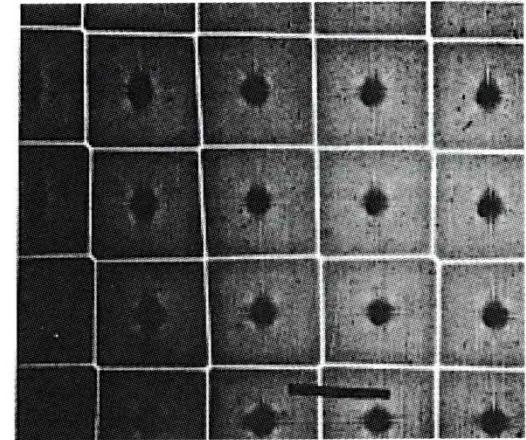
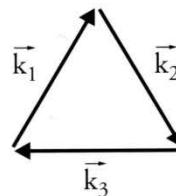
LORENTZ



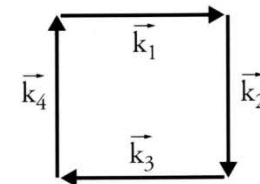
(a)



(b)

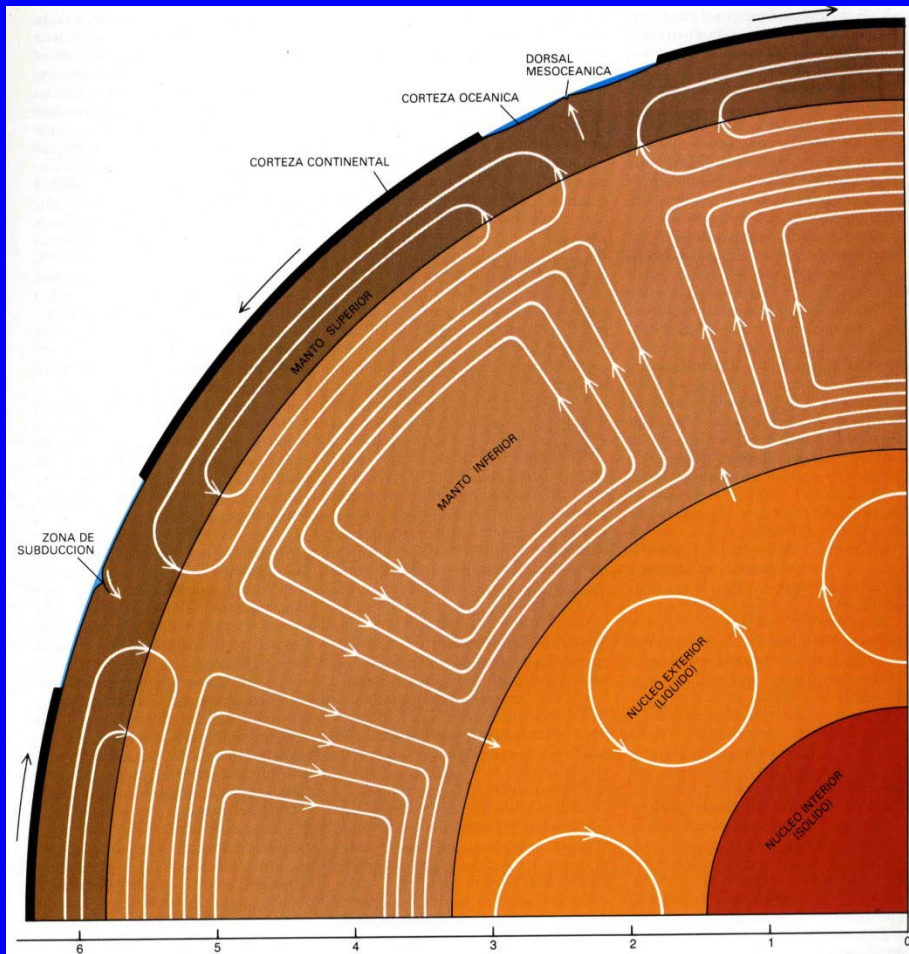


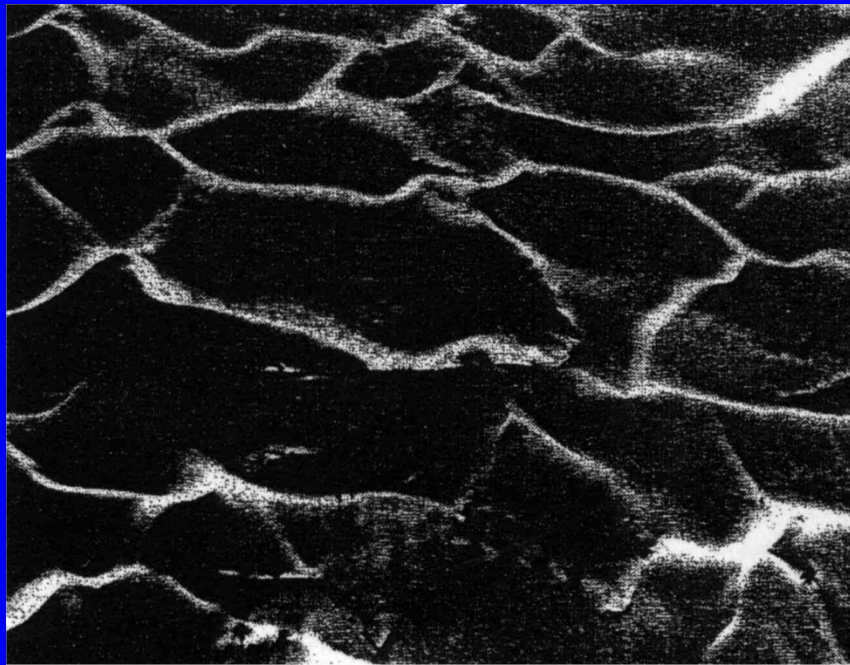
(c)



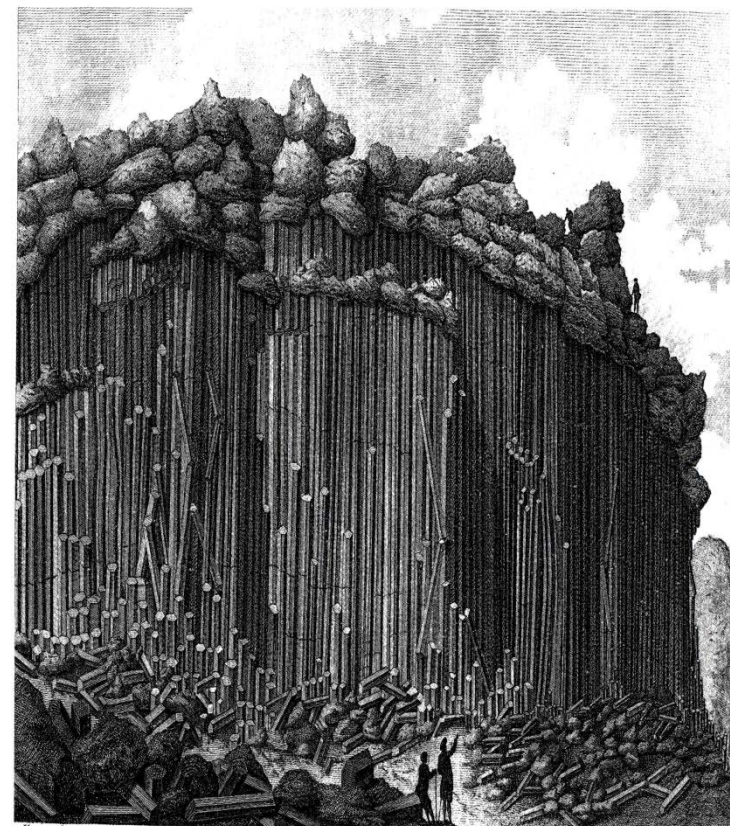
2 | Cellules convectives de Rayleigh-Bénard près du seuil d'instabilité dans un sirop dont la viscosité diminue fortement avec la température (visualisation dans le plan horizontal par ombroscopie). (a) Rouleaux obtenus lorsque la variation de viscosité est faible, de sorte que les deux parois jouent un rôle symétrique. La formation des rouleaux s'explique théoriquement par l'interaction de deux perturba-

tions de vecteur d'onde opposé $\vec{k}_1 + \vec{k}_2 = \vec{0}$. (b) Hexagones obtenus pour une viscosité variant fortement avec la température (dans un rapport 50), dont la formation s'explique par l'interaction de trois perturbations de vecteurs d'onde tels que $\vec{k}_1 + \vec{k}_2 + \vec{k}_3 = \vec{0}$. (c) Carrés obtenus dans un cas intermédiaire, et expliqués par l'interaction de 4 vecteurs d'onde tels que $\vec{k}_1 + \vec{k}_2 + \vec{k}_3 + \vec{k}_4 = \vec{0}$. D'après D. B. White, 1988.





Dune fields with a regular pattern, Lençóis Maranhenses National Park, on Brazil's north coast. Image courtesy of Earth Sciences and Image Analysis Laboratory, NASA Johnson Space Center, ISS007-E-15177. (See **Dune Formation; Geomorphology and tectonics; Pattern formation.**)



de Feytaud del. PAVÉ DES GÉANS DE CHENAVARI. *Cl. Faucher del.*

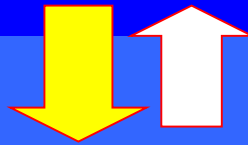
3 | Les cellules hexagonales des orgues de basalte ont de tout temps frappé l'imagination. Leur régularité est quelque peu idéalisée sur cette gravure tirée d'un ouvrage de Faujas de Saint-Fond (1778), un des premiers géologues ayant étudié les volcans d'Auvergne. Les orgues de basalte résultent des

craquelures formées (à l'état solide) par refroidissement d'une coulée de lave. Ces craquelures tendent à s'organiser en un réseau hexagonal, à la manière des cellules de convection. Collection P. Thomas.

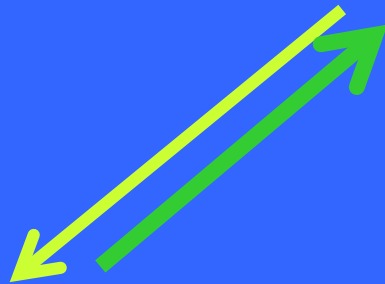
La “Trilogía Universal” de la Matemática Aplicada

Sistema real

Predicción



**Modelos
matemáticos**



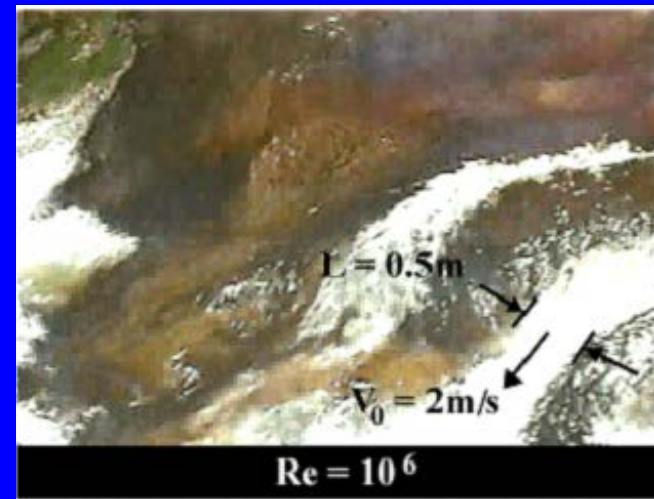
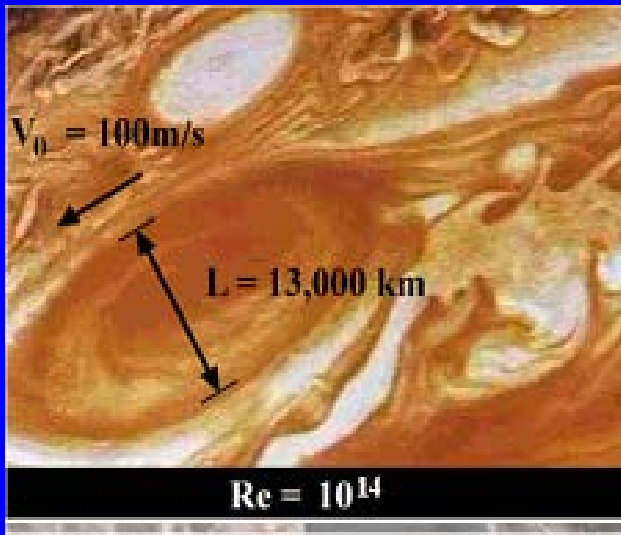
**Análisis
matemático**

Cuestión de escalas

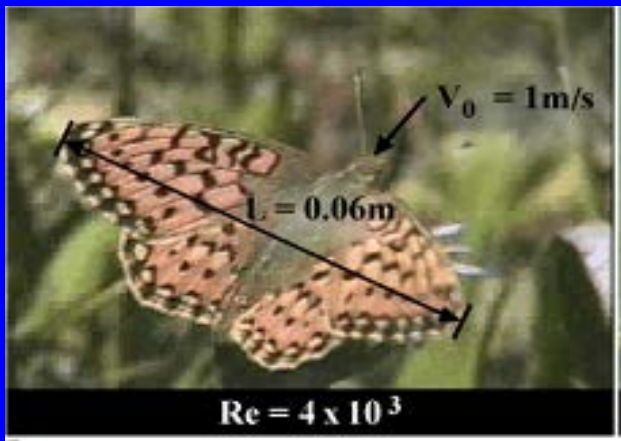
Richard Feymann:

Peso/tensión superficial

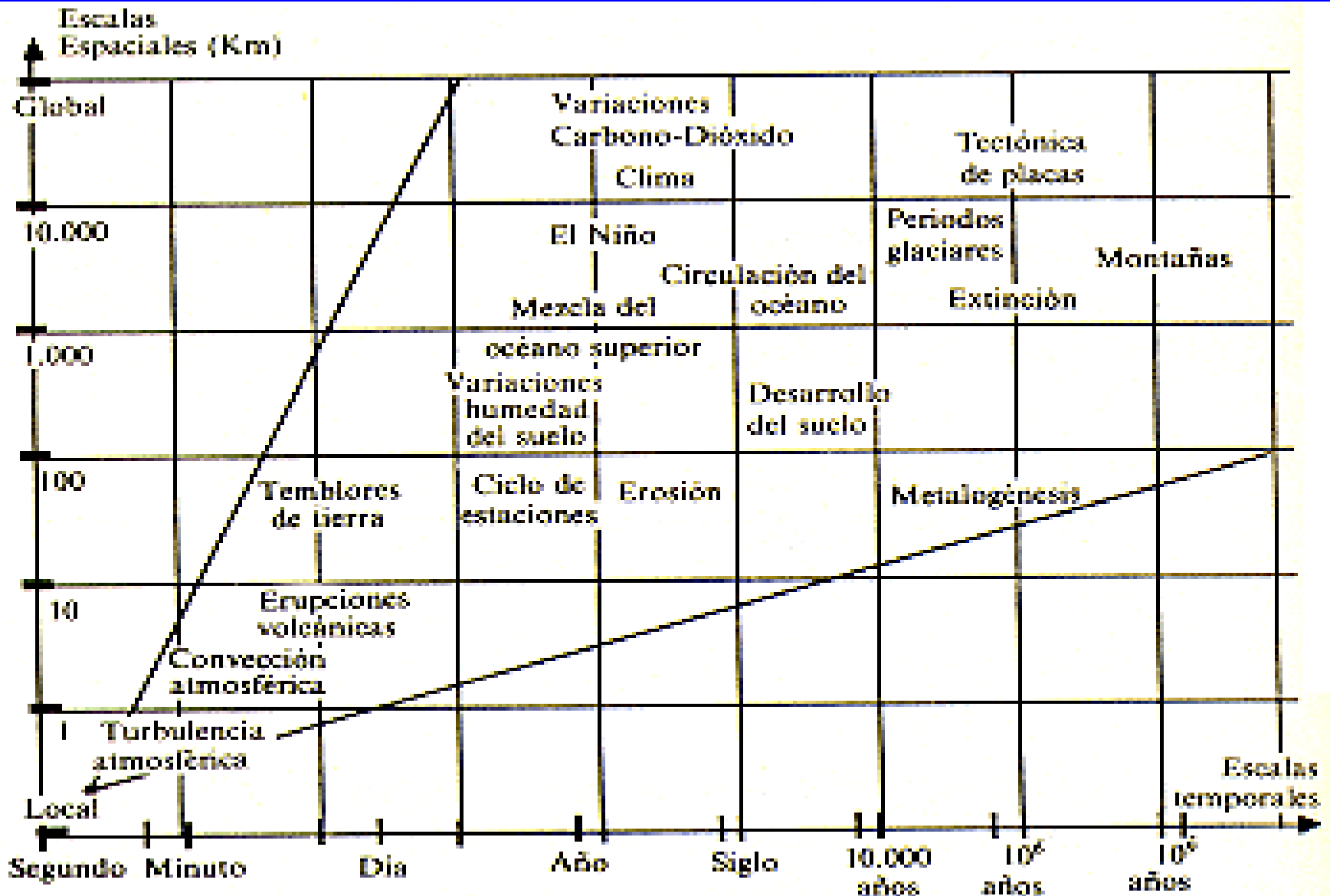




$$Re = \frac{VL}{\nu}$$



Escalas características



Análisis dimensional

Órdenes de magnitud de fluidos en Ciencias de la Tierra

Symbole	Nom	Unité	Atmosphère	Océan	Man-teau	Noyau
d	épaisseur de fluide	m	10^3 à 10^4	10^3	10^6	10^6
α	coefficient de dilatation	K^{-1}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}
κ	diffusivité thermique	$m^2 s^{-1}$	10^{-5}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}
ν	viscosité cinématique	$m^2 s^{-1}$	10^{-5}	10^{-6}	10^{-17}	10^{-6}
ΔT_{pot}	différence de température potentielle	K	1	10	10^3	1
V	vitesse du fluide	$m s^{-1}$	10	10^{-2}	10^{-8}	10^{-4}
ρ	flux convectif	W/m^2	100	100	10^{-1}	10^{-2}

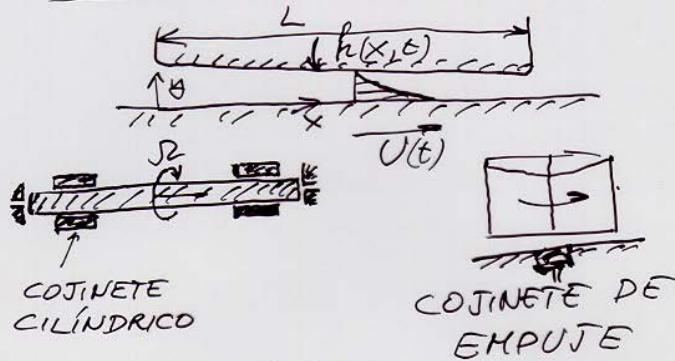
Números adimensionales y su magnitud

Symbole	Nom	Expres-sion	Atmos-phère	Océan	Man-teau	Noyau
Ra	Rayleigh	$\frac{\alpha g \Delta T_{pot} d^3}{\kappa \nu}$	$0-10^{20}$	$0-10^{20}$	10^6	0 à 10^{25}
Pr	Prandtl	ν/κ	1	10	10^{23}	10^{-1}
Re	Reynolds	Vd/ν	10^9 à 10^{10}	10^7	10^{-19}	10^8
E	Ekman	$\nu/\Omega d^2$	10^{-9} à 10^{-7}	10^{-8}	10^9	10^{-14}

El arte de la modelización

TEORIA DE LA LUBRICACIÓN FLUIDODINÁMICA (REYNOLDS)

LUBRICACIÓN HIDRODINÁMICA



ZAPATA BIDIMENSIONAL

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$U_c/L = V_c/h_0$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)$$

$\rho U_c t_0$ $\rho U_c^2/L$ $\rho_x P/L$ $\mu U_c/h_0$ $\mu U_c/L^2$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right)$$

$\rho V_c t_0$ $\rho U_c V_c/L$ $\rho_y P/h_0$ $\mu V_c/h_0$ $\mu V_c/L^2$

$$y=0: u=U(t), v=0$$

$$y=h(x,t): u=0, v=\frac{\partial h}{\partial t}$$

$U(t) \leftarrow U_c$ $h(x,t) \rightarrow h_0, t_0$
 $\leftarrow t_0$ $\rightarrow L$

$$h_0/L \ll 1, h_0^2/\nu t_0 \ll 1; h_0^2/\nu U_c \ll 1$$

HIPÓTESIS DE LA TEORIA DE LA LUBRICACIÓN

$$h_0/L \ll 1 \quad (\text{CAPAS DELGADAS})$$

$$h_0^2/\nu t_0 \ll 1 \quad (\text{ACELERACION LOCAL DESPREC.})$$

$$\frac{U h_0}{\nu} \frac{h_0}{L} \ll 1 \quad (\text{ACELERACION CONVECTIVA DESPRECIABLE})$$

ECUACIONES (DE STOKES) SIMPLIFICADAS

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$0 = \frac{\partial p}{\partial y} \rightarrow p = p(x, t)?$$

$$y=0: u=U(t), v=0$$

$$y=h(x,t): u=0, v=\frac{\partial h}{\partial t}$$

$$u = \underbrace{U \left(1 - \frac{y}{h}\right)}_{\text{Couette}} + \underbrace{\frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} y(y-h)}_{\text{Poiseuille}}$$

$$v = -\int_0^h \frac{\partial u}{\partial x} dy \rightarrow \frac{\partial h}{\partial t} = -\int_0^h \frac{\partial u}{\partial x} dy$$

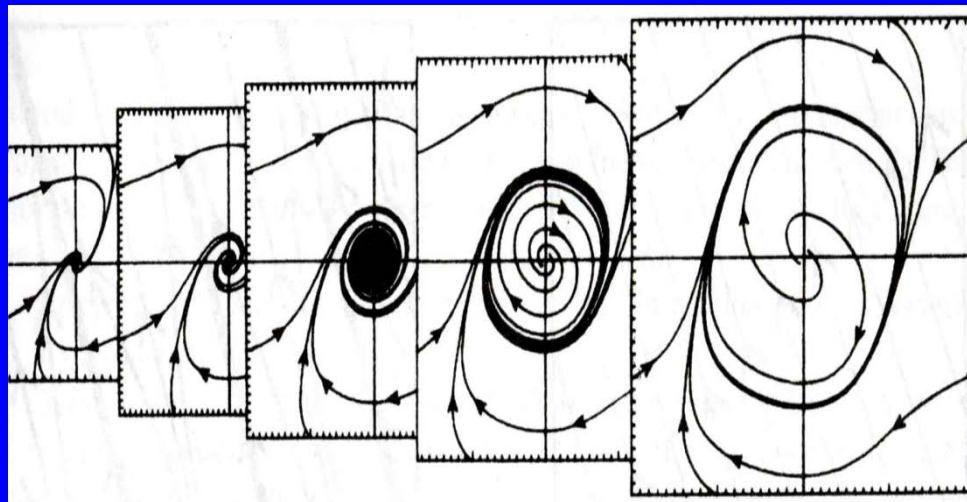
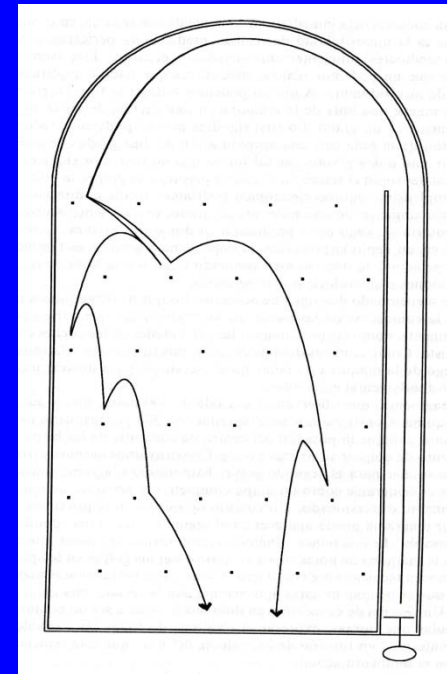
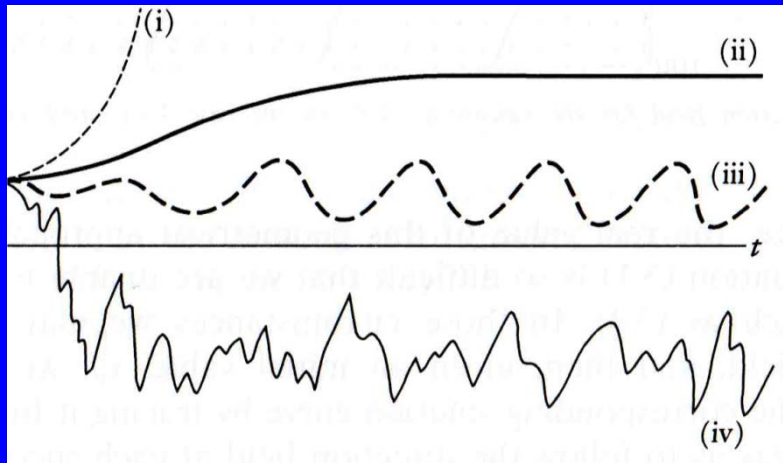
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h u dy = 0 \quad q_x = \int_0^h u dy$$

$$q_x = \frac{U h}{2} - \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x}$$

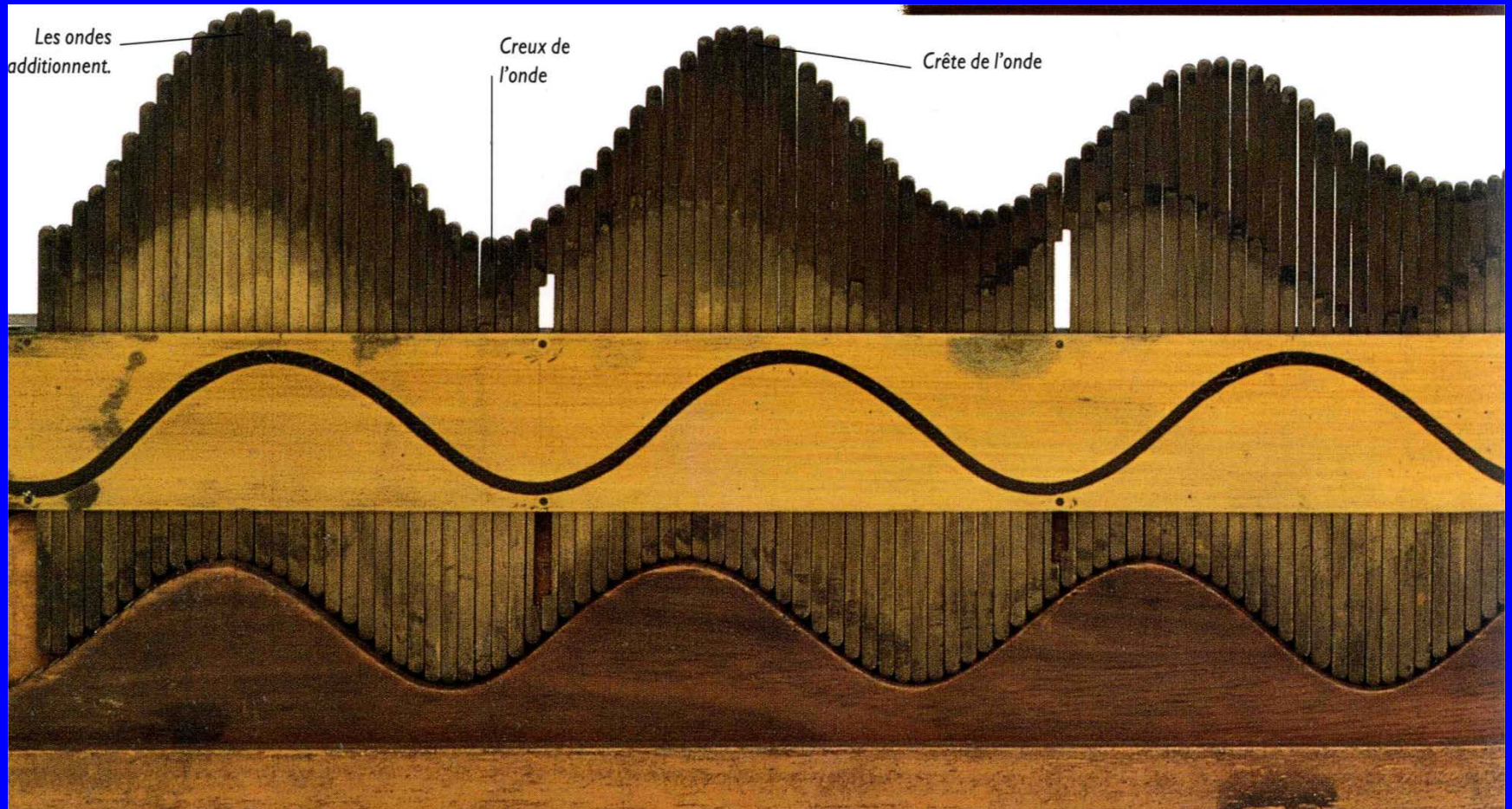
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{U h}{2} - \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = 0$$

(ECUACIÓN DE REYNOLDS DE LA LUBRICACIÓN)

Análisis matemático

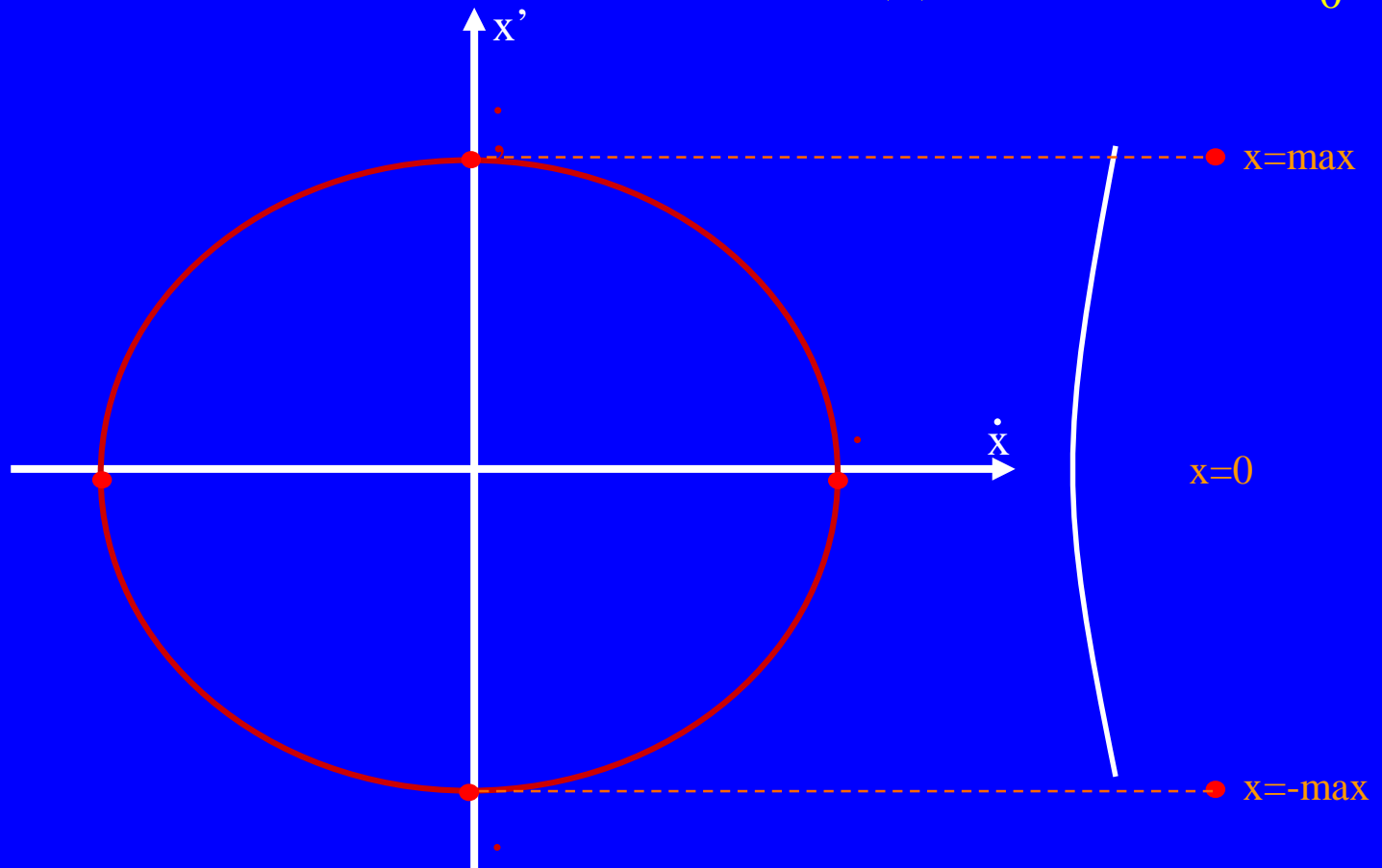


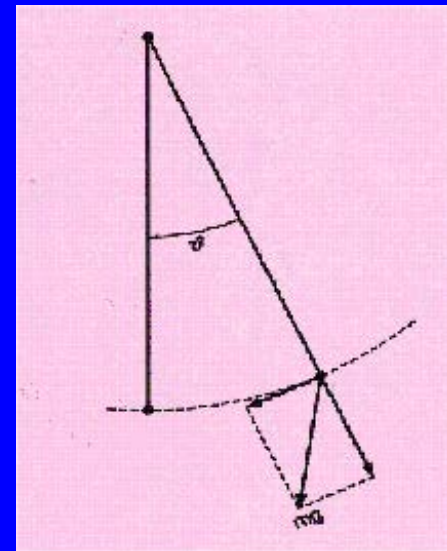
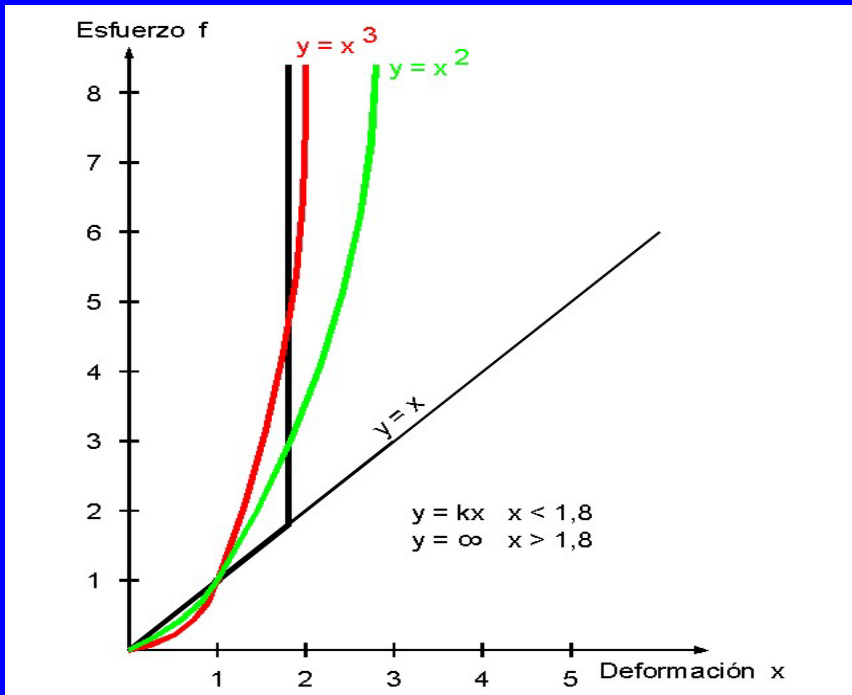
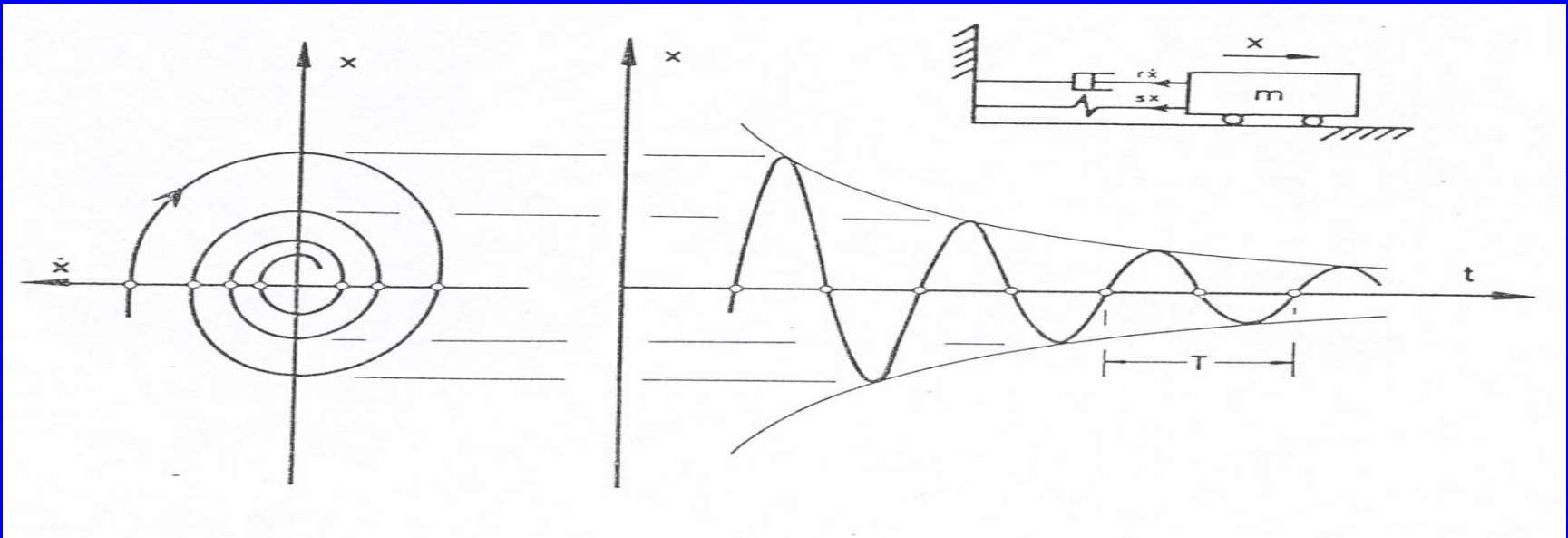
Modelos Lineales / no lineales



$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\omega_0 \lambda \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

$$\lambda = 0 \quad x(t) = \text{sen } \omega_0 t \quad \lambda \neq 0 \quad x(t) = e^{-kt} \text{sen } \omega_0 t$$





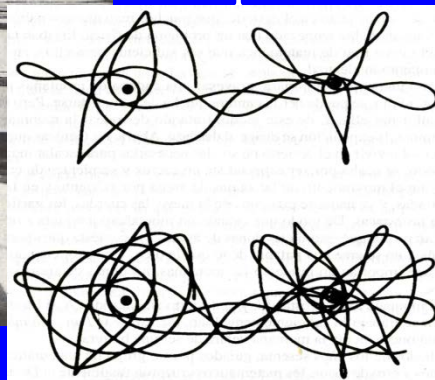
Sistemas dinámicos caóticos

Problema de los
3 cuerpos, ...

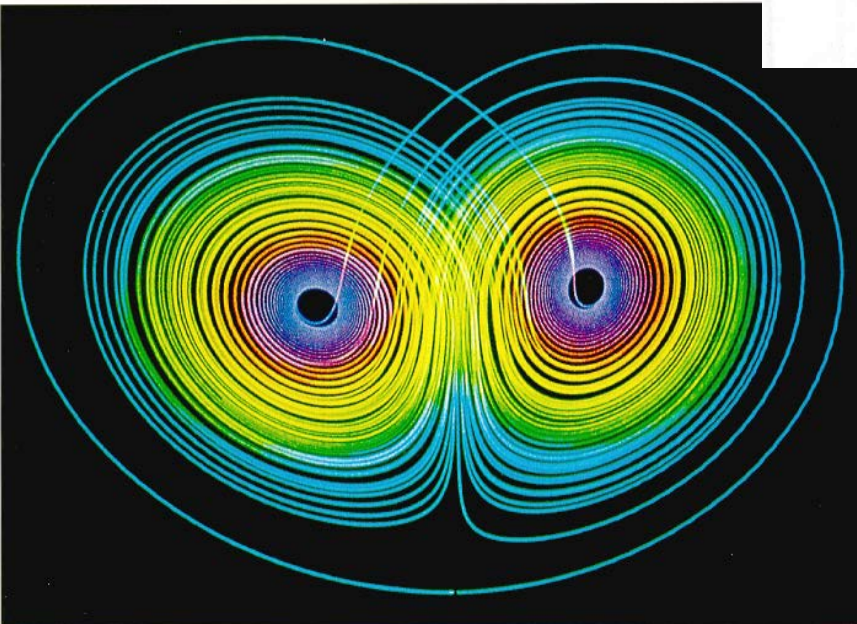
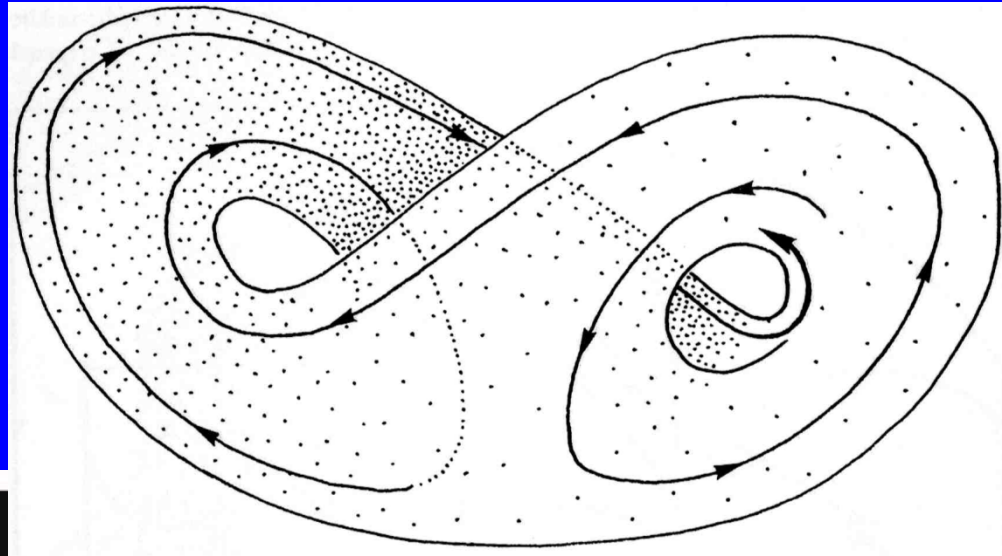
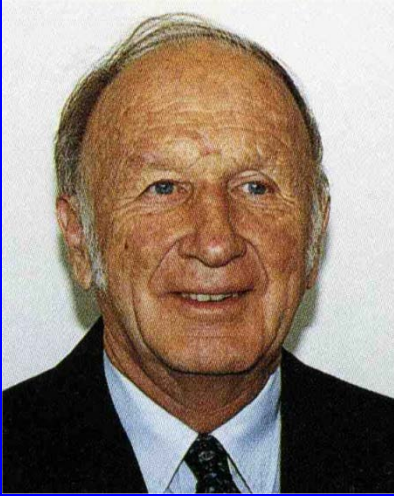
Henri Poincaré (1854-1941)

En 1908, H. Poincaré (1854-1912),

“puede ocurrir que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales produzcan otras muy grandes en el fenómeno final. Un pequeño error en las primeras producirá otro enorme en las últimas. La predicción resulta imposible”



1917-



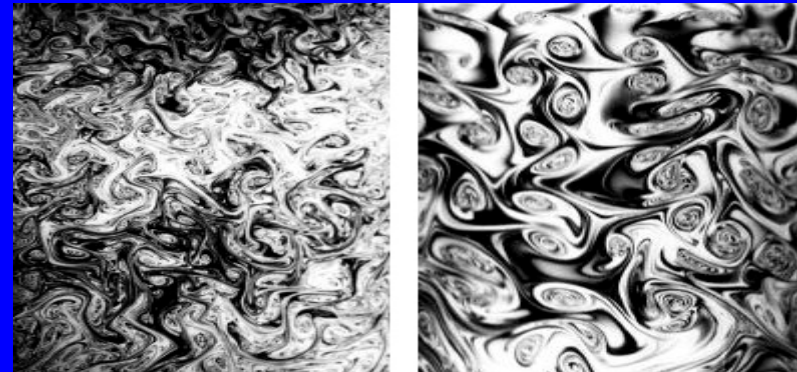
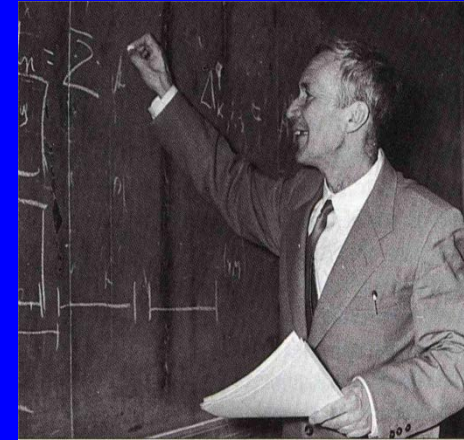
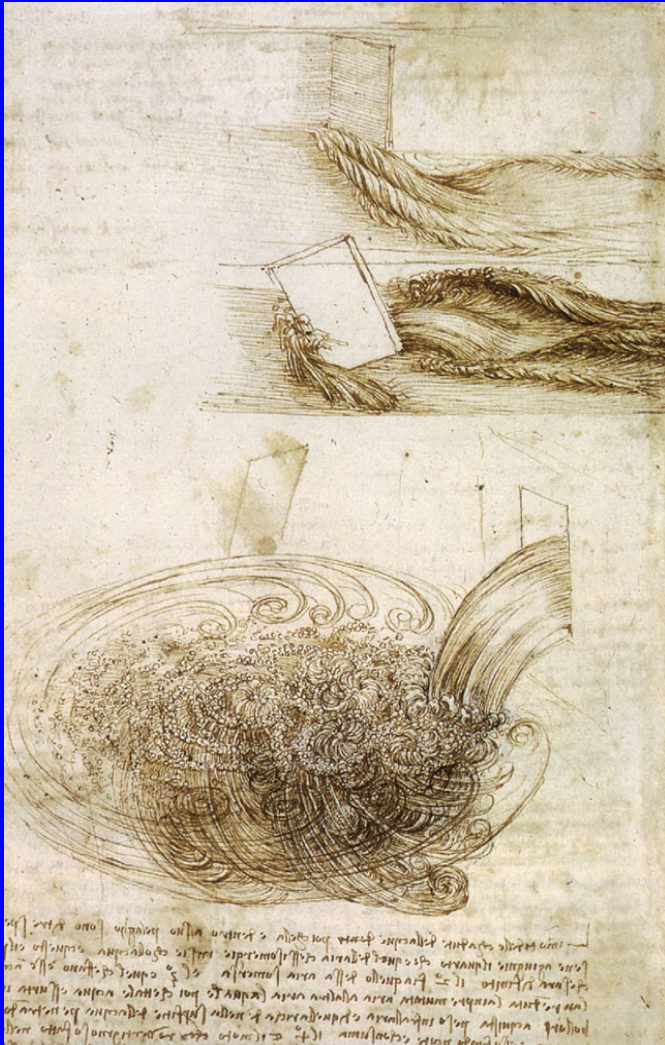
El atractor de Lorenz. Ilustración de Chaos and Fractals. New Frontiers of Science. Edit. Springer-Verlag.

$$\frac{dx}{dt} + \sigma(x - y) = 0$$

$$\frac{dy}{dt} + y - rx + xz = 0$$

$$\frac{dz}{dt} + bz - xy = 0$$

Turbulencia (Kolmogorov)



Características del Caos

Proceso determinista

Sistemas dinámicos no lineales

Trayectoria errática

Atractor

Hipersensible a las condiciones iniciales

Objeto fractal

S. IX – XX

HENRI POINCARÉ (1854-1912)

ESCUELA RUSA

S. XX

KOLMOGOROV (1903 – 1987)

LORENZ (USA) 1961

1961 – 75

EXPLOSIÓN DE LA TEORÍA DEL CAOS

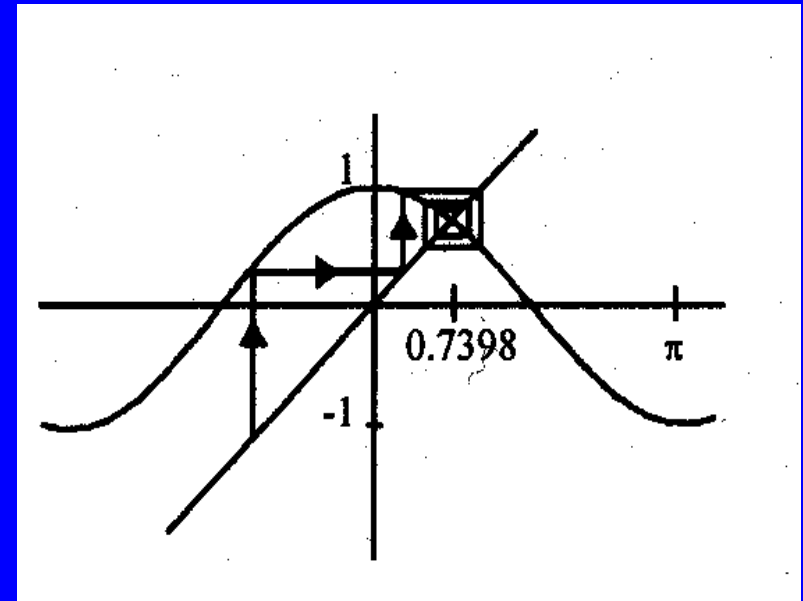
1975 - 2000

POPULARIZACIÓN

El ejemplo más simple de sistema dinámico discreto definido en un conjunto X es el obtenido iterando una aplicación de X en sí mismo:

Si $f: X \longrightarrow X$ y se define

$$\begin{aligned}\Phi(n, x) &= f(f(f(\dots(f(x))\dots)) \\ &= f^n(x)\end{aligned}$$



obtenemos un sistema dinámico sobre X .

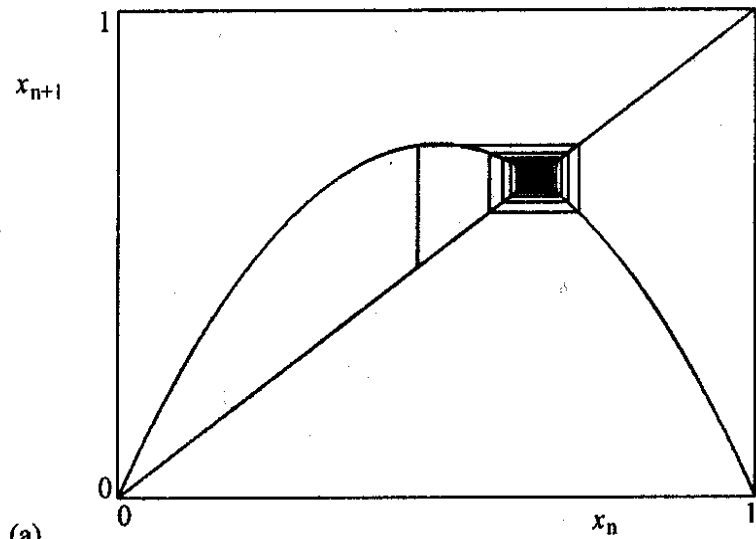
Sistemas caóticos

Un sistema dinámico discreto es caótico si:

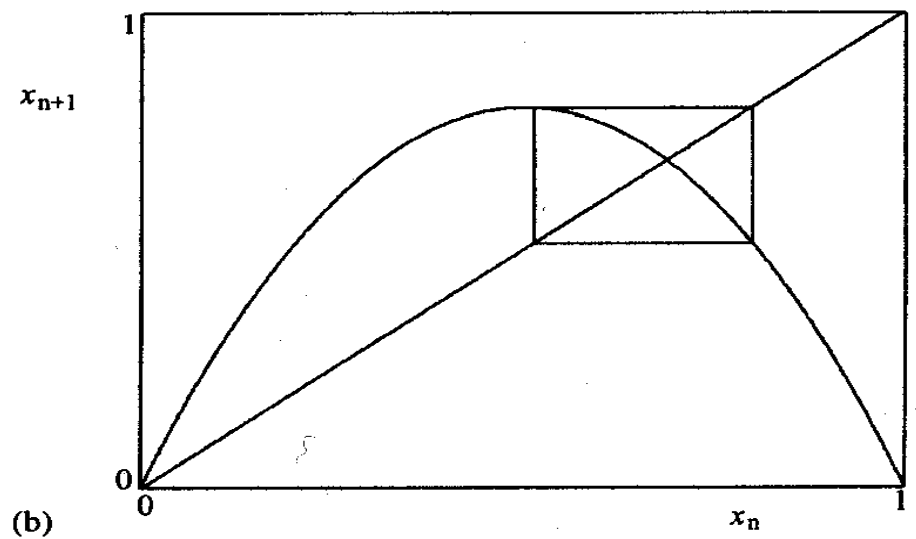
- Es sensible a las condiciones iniciales
- Es transitivo
- Las órbitas periódicas son densas en el espacio

$$x_{n+1} = ax_n(1 - x_n)$$

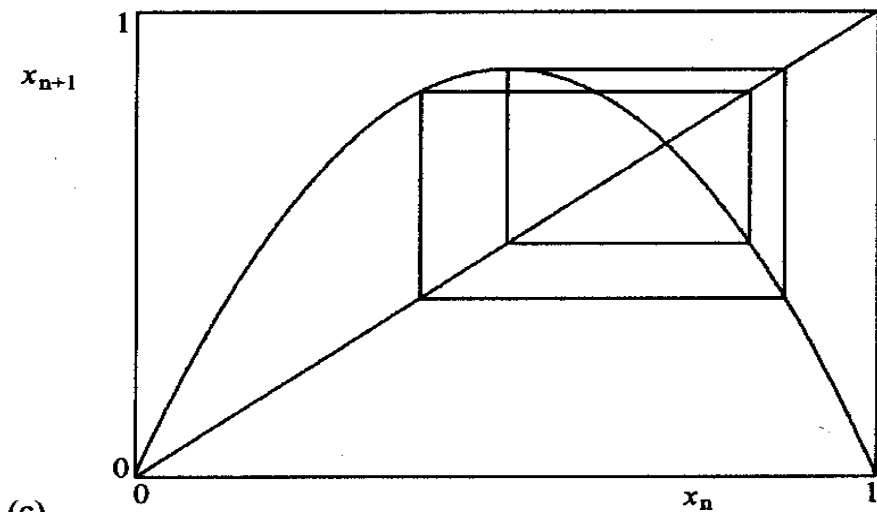
Ecuación logística



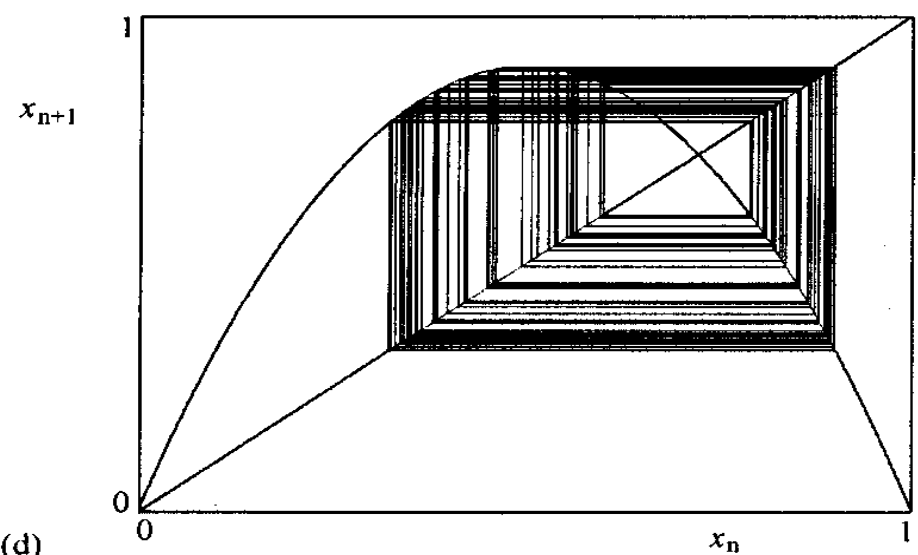
(a)



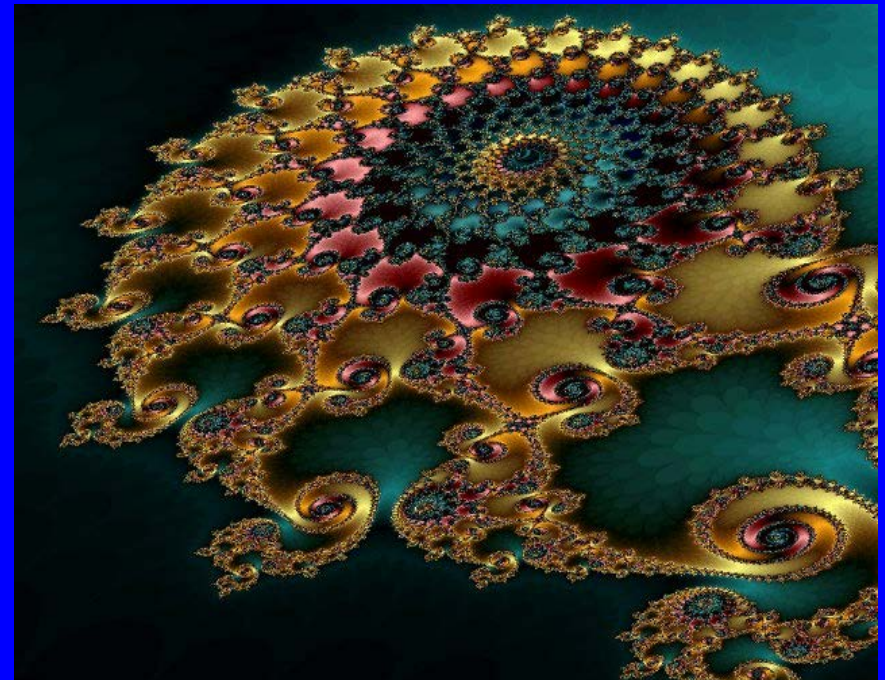
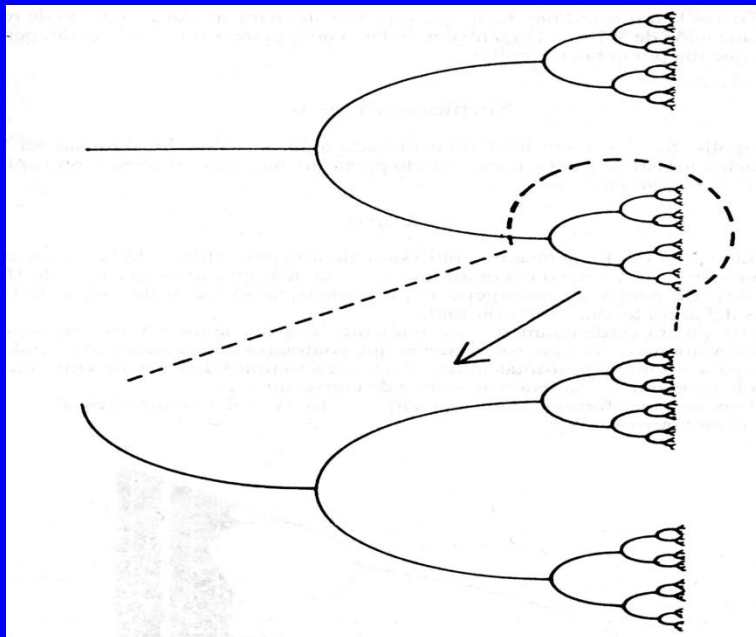
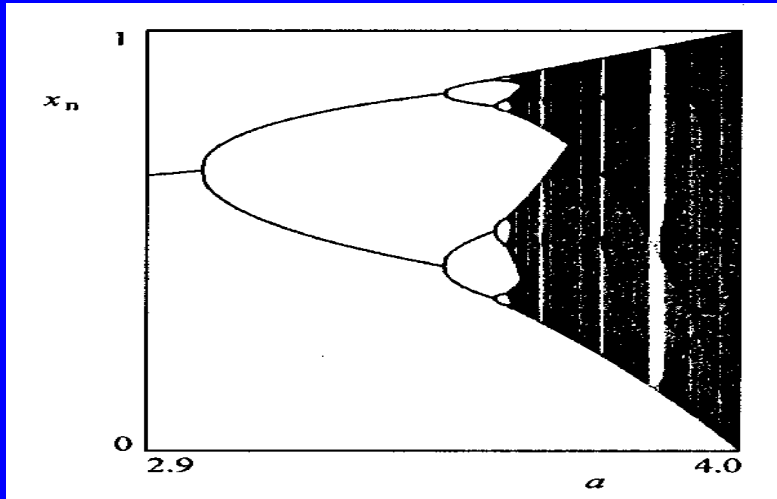
(b)

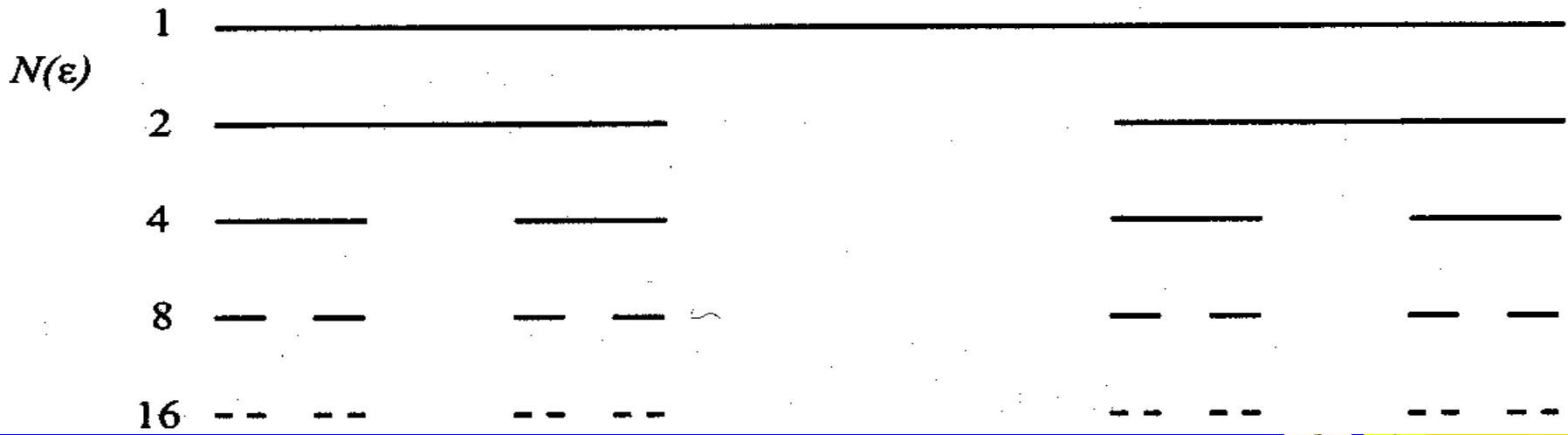
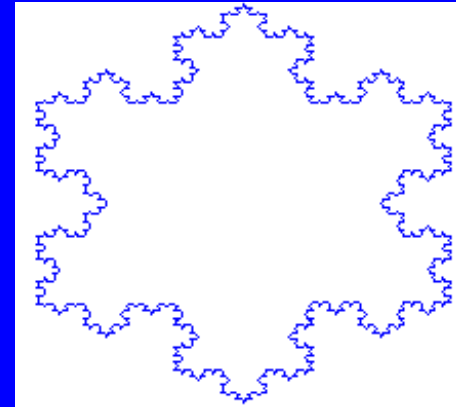


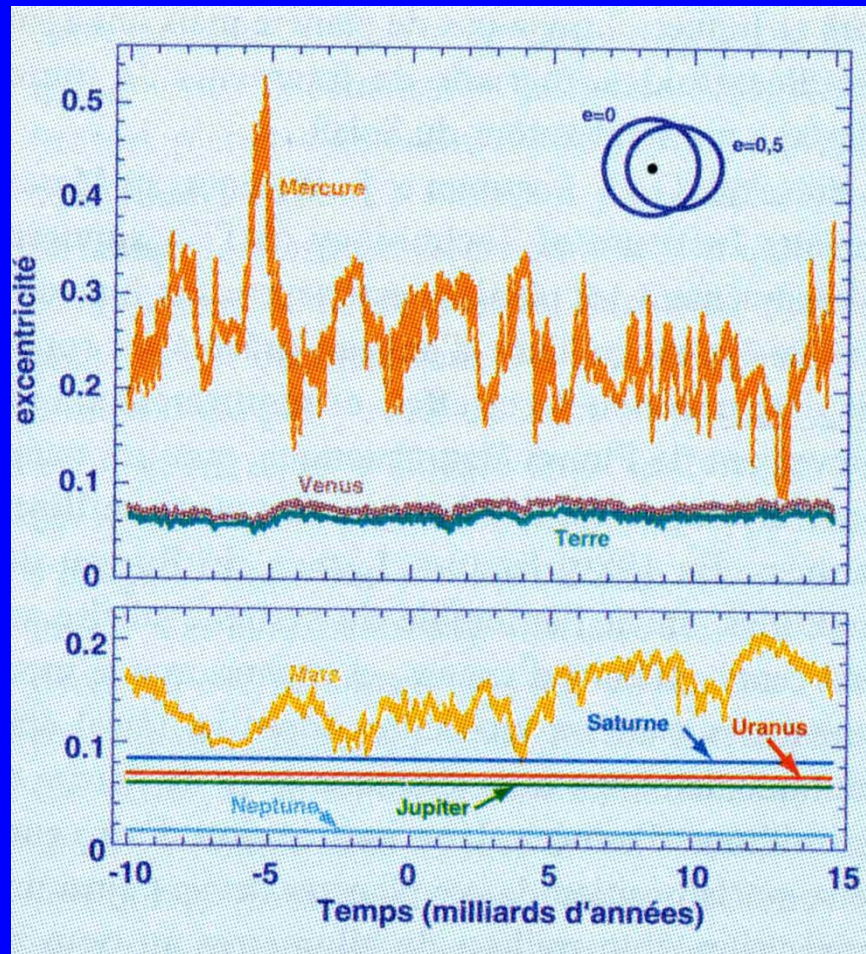
(c)



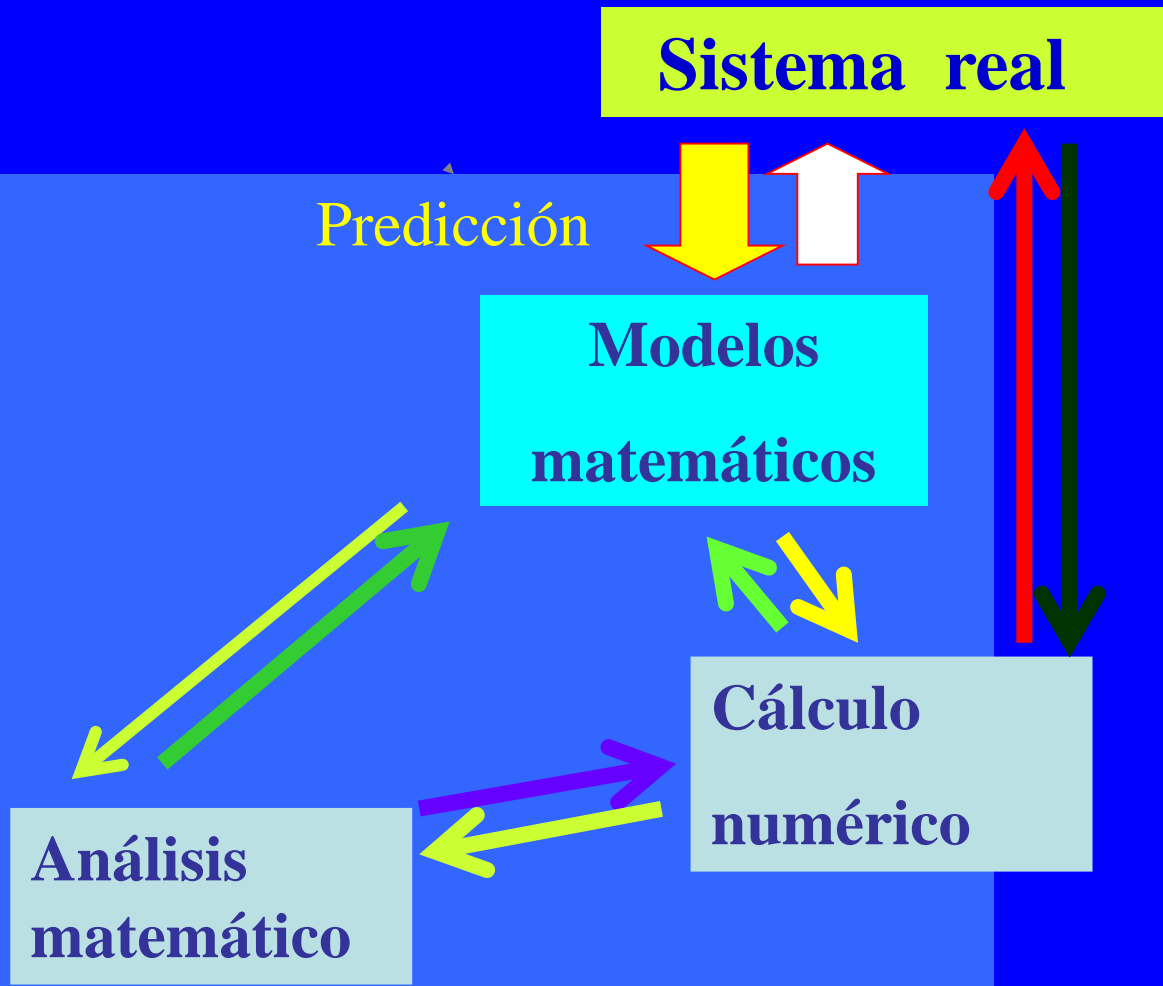
(d)



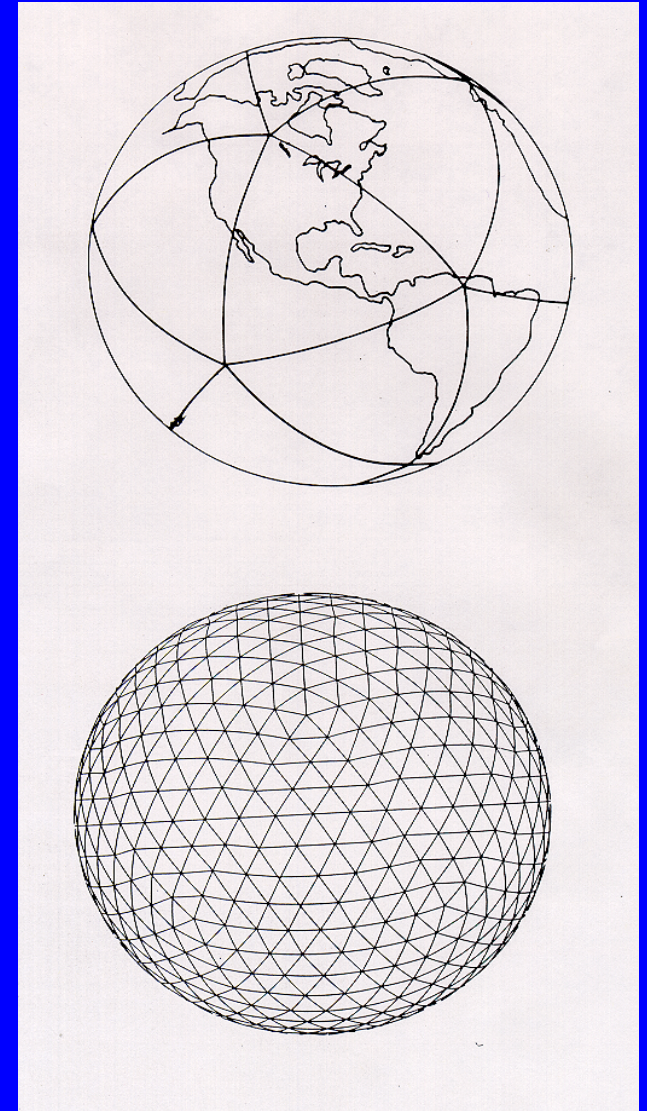
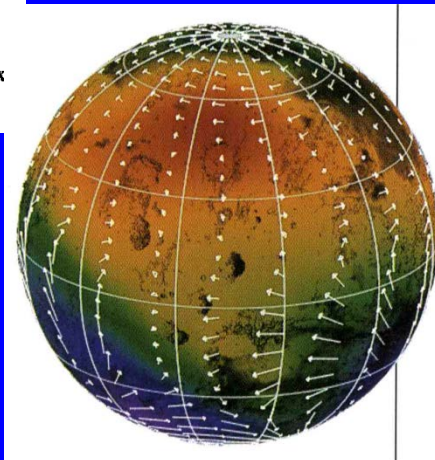
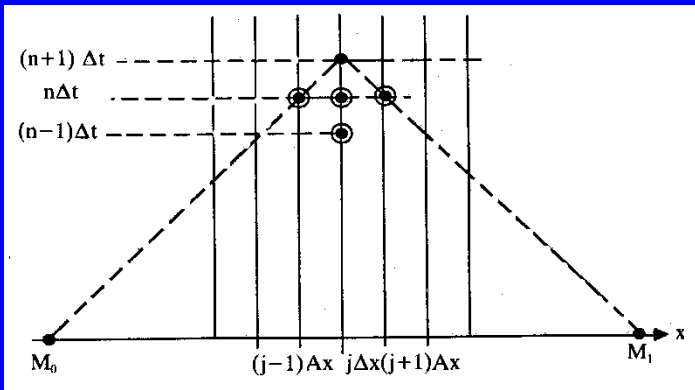
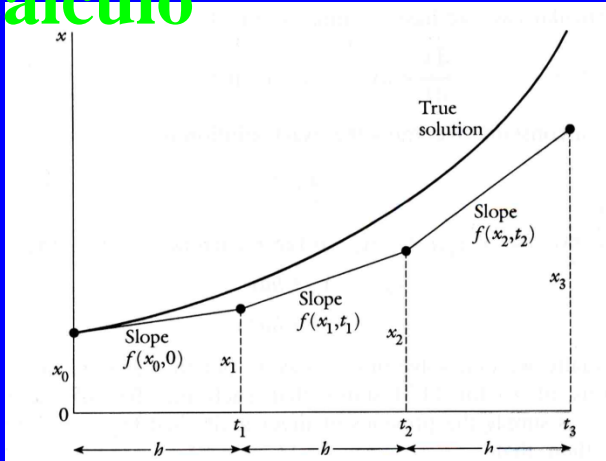




La “Trilogía Universal” de la Matemática Aplicada



Cálculo



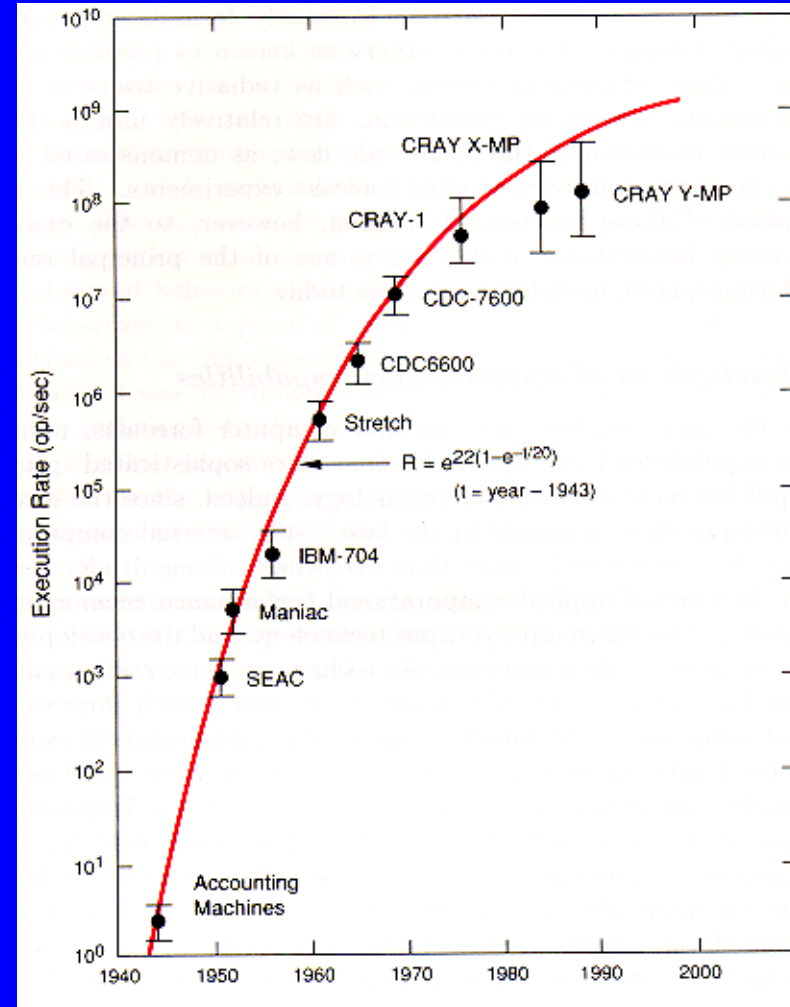
Super-ordenadores: Cálculo paralelo.

Las 64.000 máquinas de
Richardson



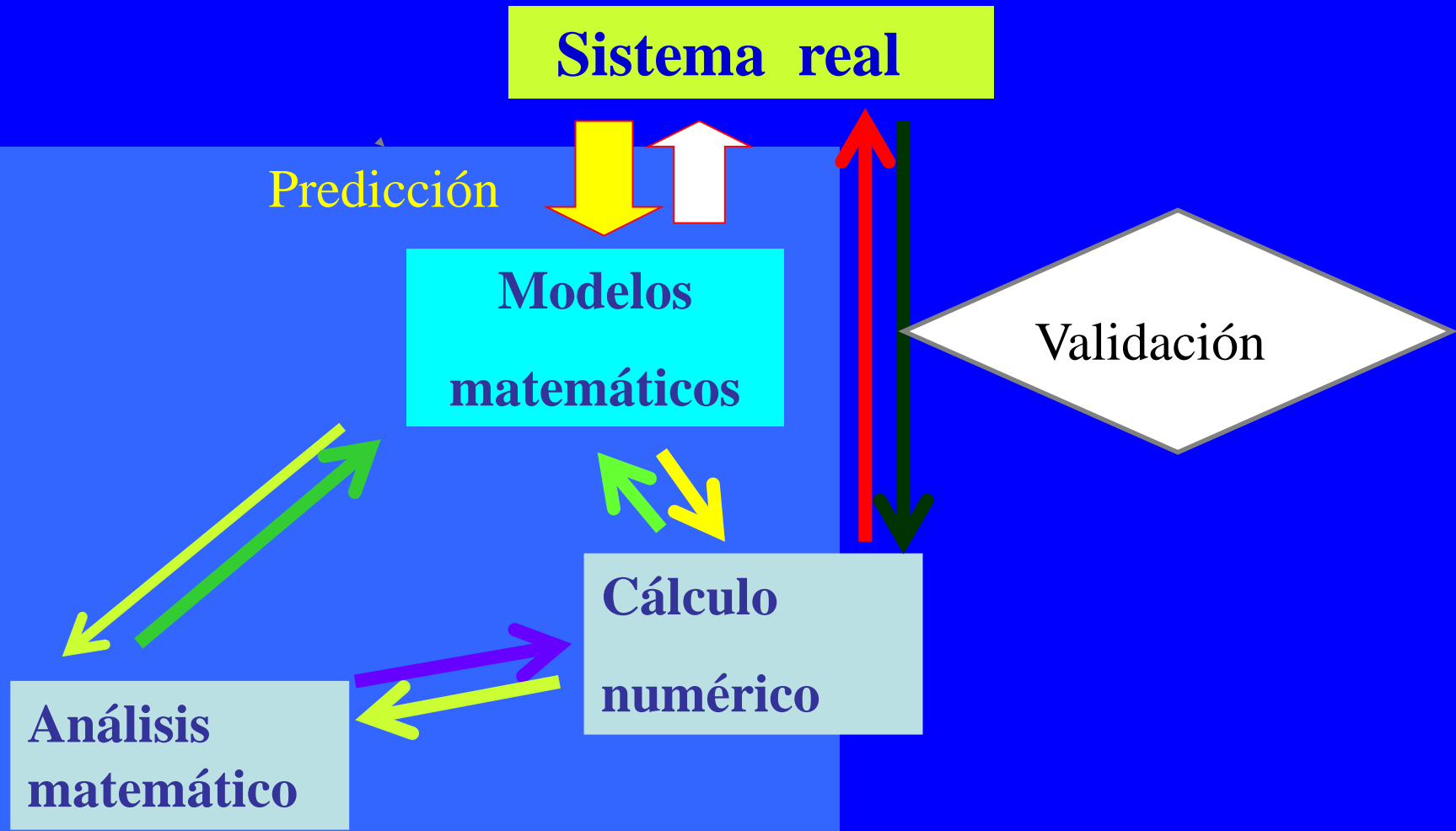
Lewis Fry Richardson

1881 – 1953



Ley de G.E. Moore (1965) : “La
potencia de computación se duplica
cada año”

La “Trilogía Universal” de la Matemática Aplicada

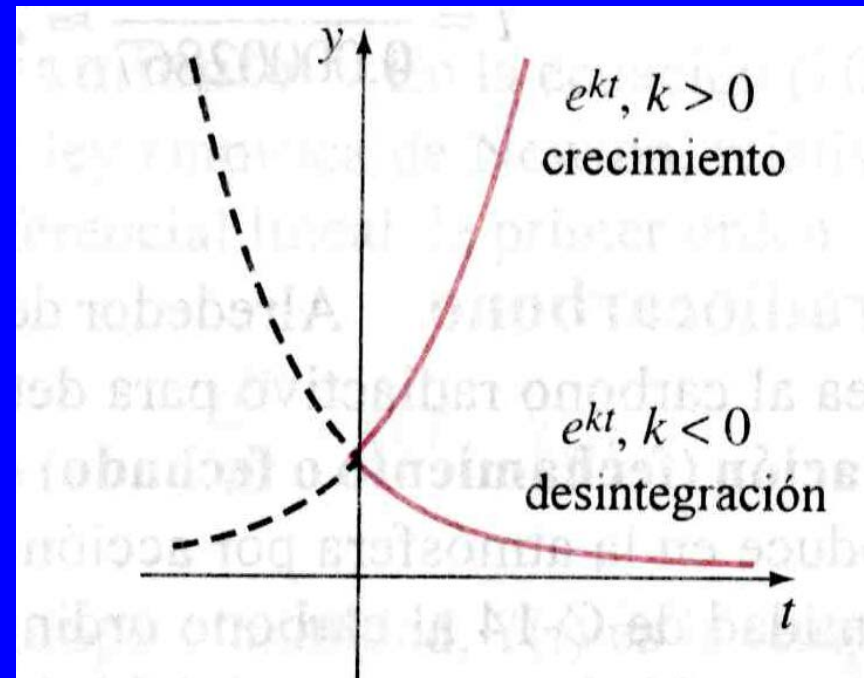


Validación...

Willard Frank Libby
1947

C14: 5.730 años de vida media

U 238: 4.500 millones de años
de vida media





Teoría de las Glaciaciones de Milankovitch (1879-1958)

irradiación solar en distintas latitudes a lo largo de las estaciones, cálculo de tablas de gran precisión.

estimaciones globales sobre la evolución de lo que él llamó *el clima matemático*

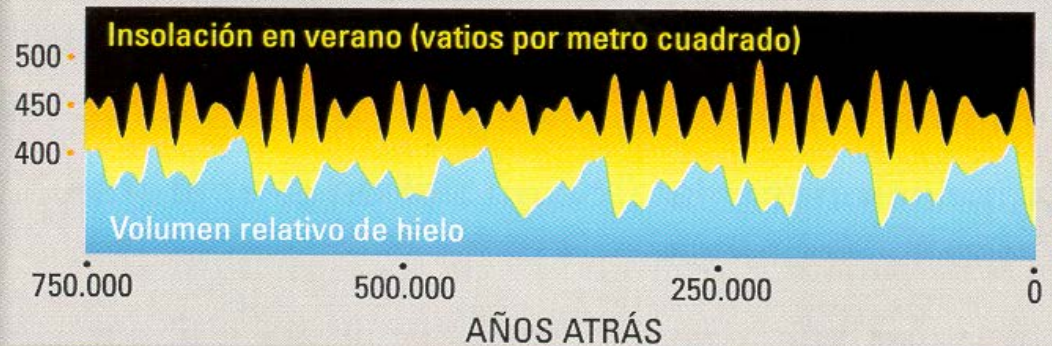
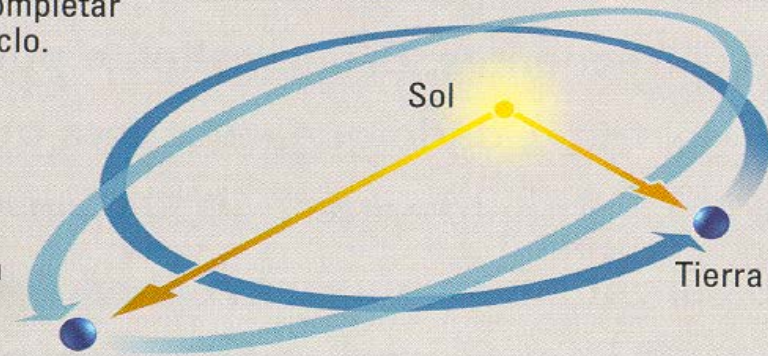
Trilogía

CICLOS DE MILANKOVITCH



Una oscilación como de peonza del eje de la Tierra crea un ciclo de 23.000 años.

Las variaciones en la órbita de la Tierra alrededor del Sol siguen un ciclo de 100.000 años.



Modelos globales/locales:

a. Modelos globales de Balance de Energía.

Clima: Estado promediado de la atmósfera observado como tiempo meteorológico sobre un periodo finito de tiempo a lo largo de los años (S.H. Schneider,1992)

$$u(x,t) = \frac{1}{2\tau |B(x)|} \int_{t-\tau}^{t+\tau} \int_{B(x)} T(y,s) dy ds$$

Predicción del tiempo
meteorológico

Modelos climáticos

Pronóstico

Modelos realistas

Métodos computacionales

Diagnóstico

Modelos simplificados

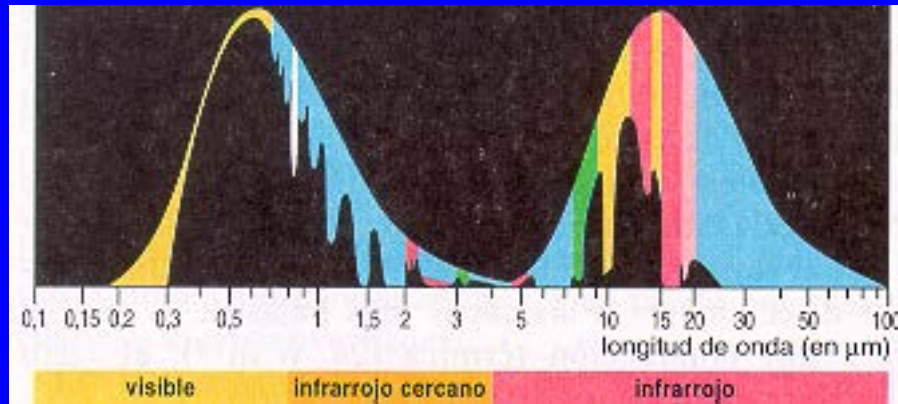
Métodos cualitativos

Balance de radiación de energía

S. Arrhenius (1896), ...

W.D. Sellers(1969),

M.I. Budyko (1969),....



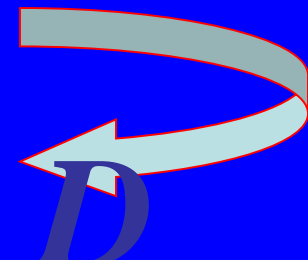
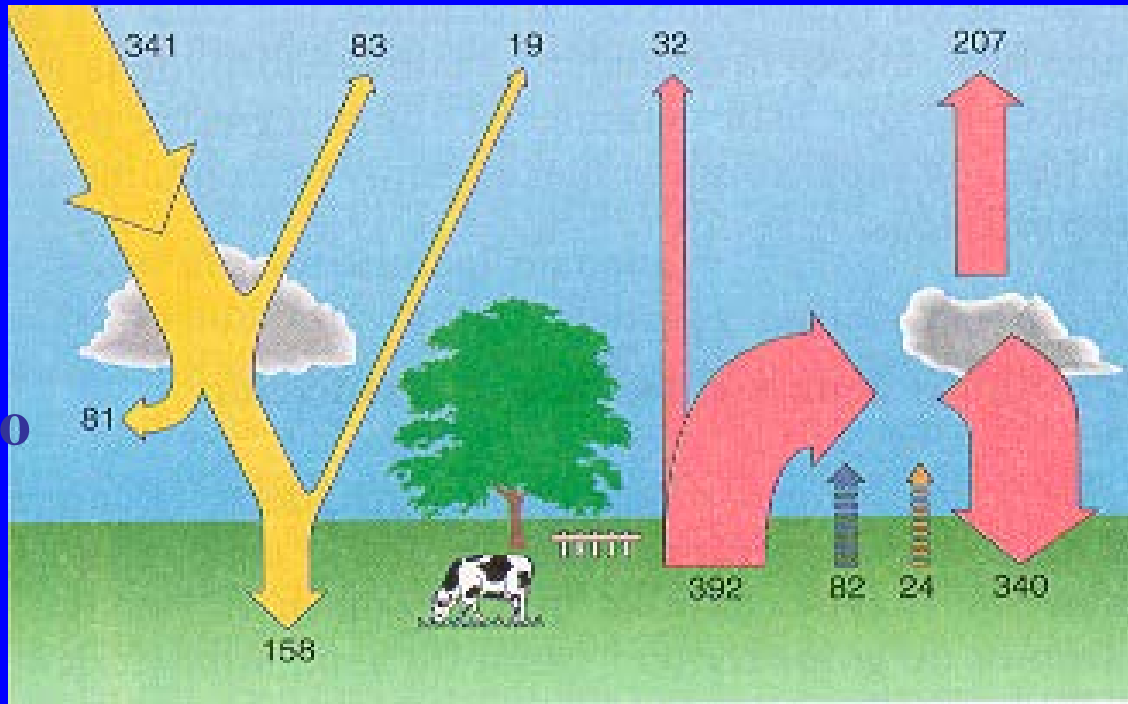
$$c \frac{\partial u}{\partial t} = R_a - R_e +$$

R_a

R_e

Albedo

Efecto invernadero



Leyes de estado

$$R_a = QS(x)\beta(u)$$

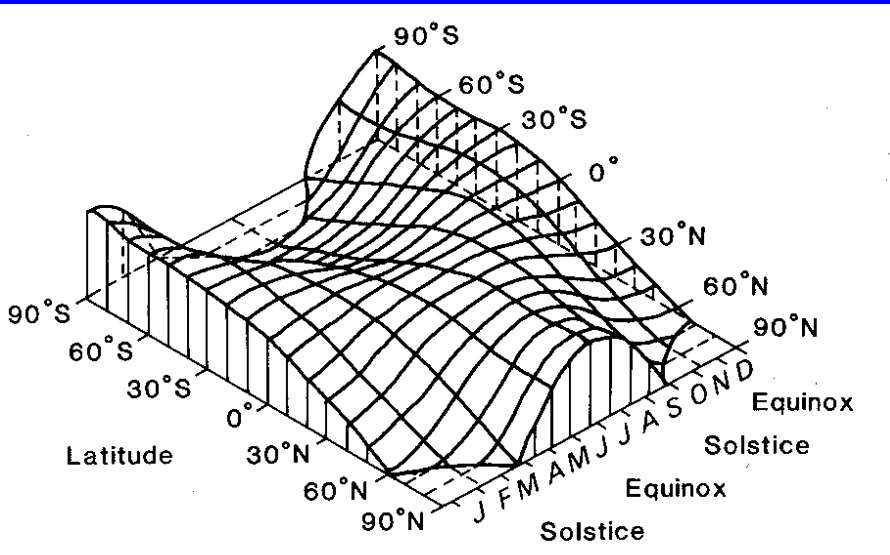
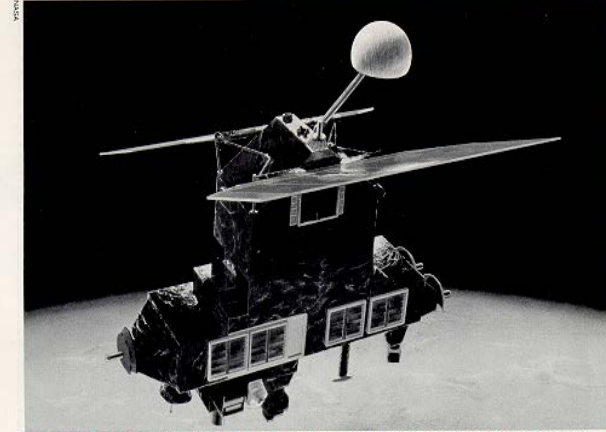


Fig. 2.8. The variation of insolation (at the top of the atmosphere) as a function of

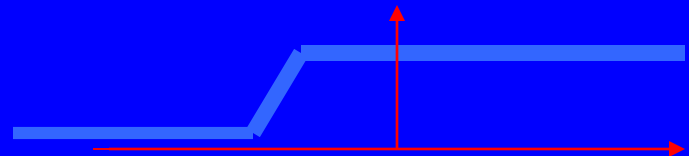
$$\beta(u) = (1 - a(u)) \text{ coalbedo}$$

$$\beta(u) = \begin{cases} 0.38 & \text{si } u \ll -10 \\ 0.71 & \text{si } u \gg -10 \end{cases}$$

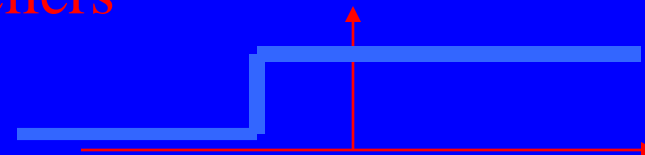


Eye in the sky. The Earth Radiation Budget Satellite, a space age effort to measure the radiation balance between the earth and the sun.

Earth Radiation Budget Satellite



Sellers



Budyko $u = -10^\circ$

$R_e = \sigma u^4$ Ley de Stefan-Boltzman Sellers

$R_e = A + Bu$ Ley de enfriamiento de Newton Budyko

Relación empírica, Depende de gases de invernadero, cambios antropogénicos,... (variables internas)

Sobre el operador de difusión D

Jerarquía

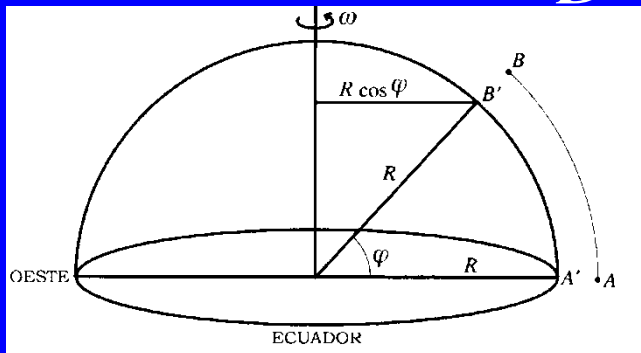
Modelo 0-dimensional $D=0$

$$c \frac{du}{dt} = Q\beta(u) - R_e(u)$$

Modelo 1-dimensional

$$D = \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(k \cos \varphi \frac{\partial u}{\partial \varphi} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(1-x^2) \frac{\partial u}{\partial x} \right)$$

$$x = \cos \varphi$$



Difusión bidimensional

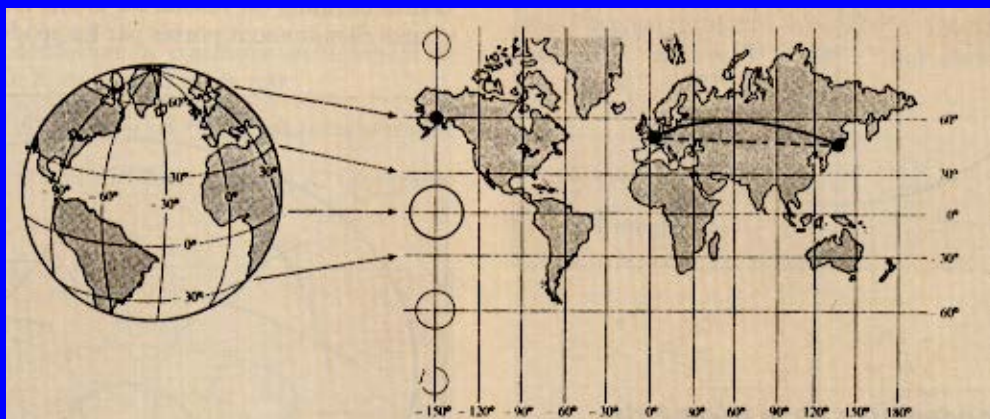
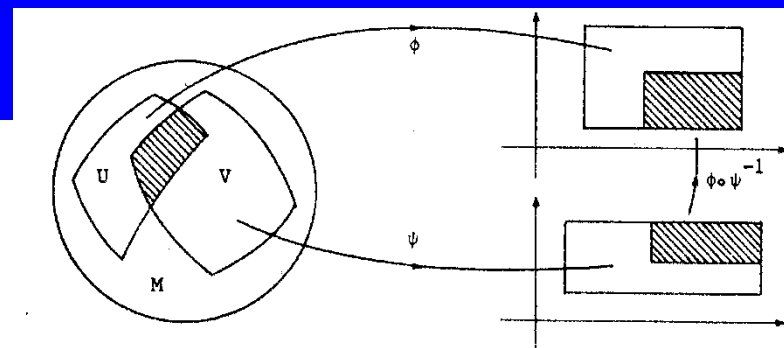
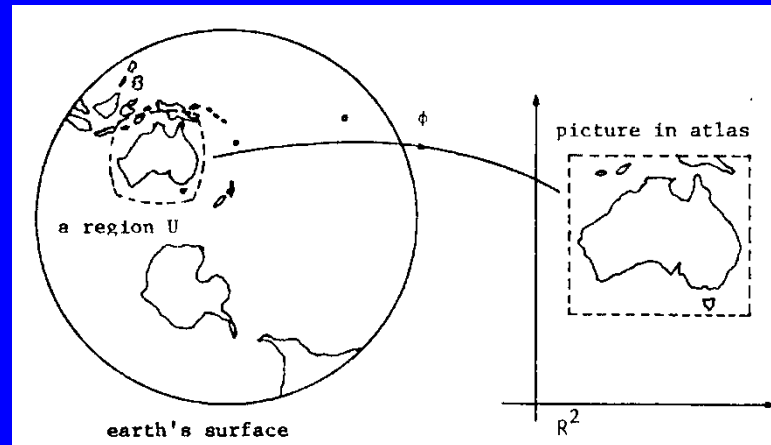
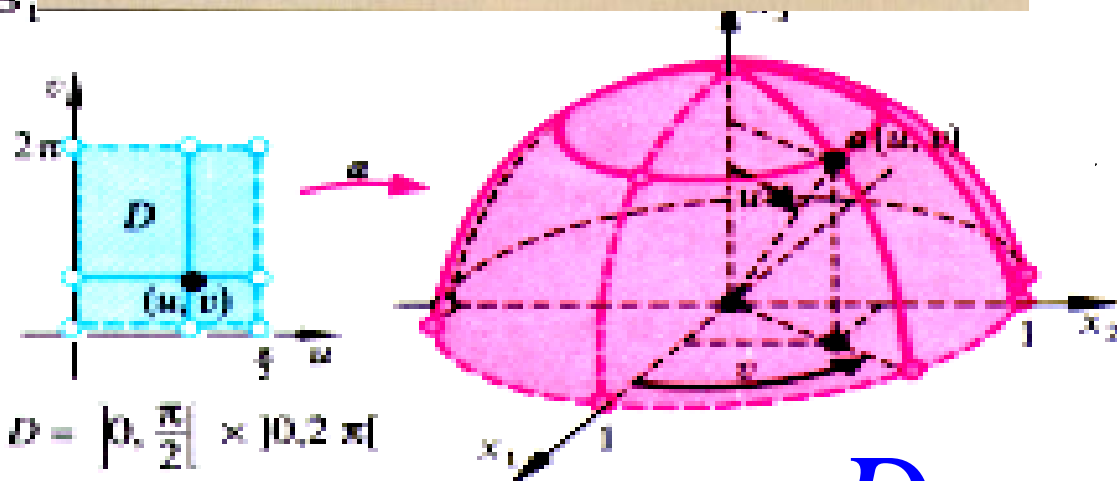


Figure 10 Projection de Mercator : $(\varphi, \theta) \rightarrow (u = \varphi, v = \log(\tan(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{4})))$



B₁



$$D = \left] 0, \frac{\pi}{2} \right[\times \left] 0, 2\pi \right[$$

$\alpha : D \rightarrow \mathbb{R}^3$ déf. par $(u, v) \mapsto \alpha$

$$\alpha(u, v) = \begin{pmatrix} \sin u \cos v \\ \sin u \sin v \\ \cos u \end{pmatrix}$$

$$D = \operatorname{div}(k(x) \nabla u)$$

$$c \frac{\partial u}{\partial t} = Q\beta(u) + R_e(x, u) + \text{div}(k(x)\nabla u)$$

$$u(x, t_0) = u_0(x)$$

Modelos estocásticos : Volcanes



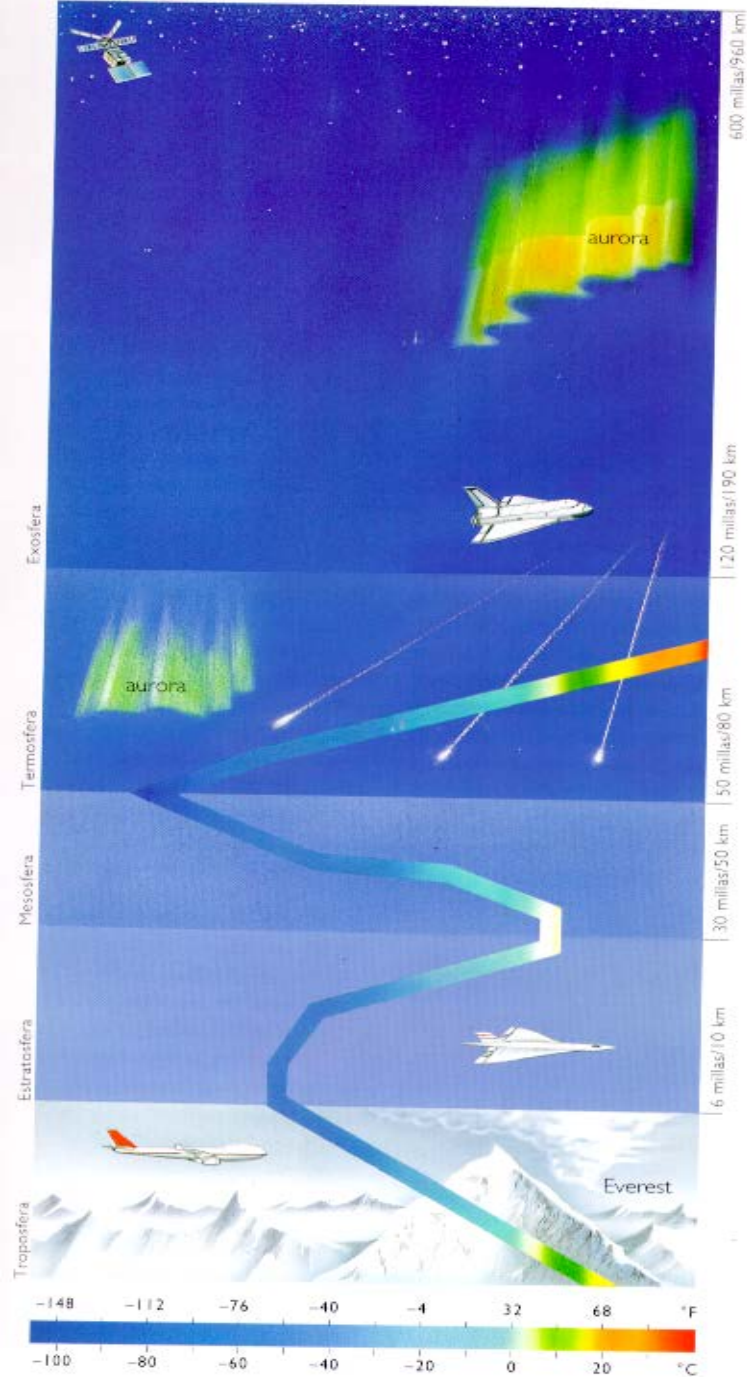
FUENTE: USGS Y SERVICIO GEOLOGICO DE CANADA
DISEÑO DE C. INGRID MORSELL

$R_e(x, u)$

Término estocástico (Ruido blanco)

Cahalan-North, 1982

b. Modelos radiativos-convectivos



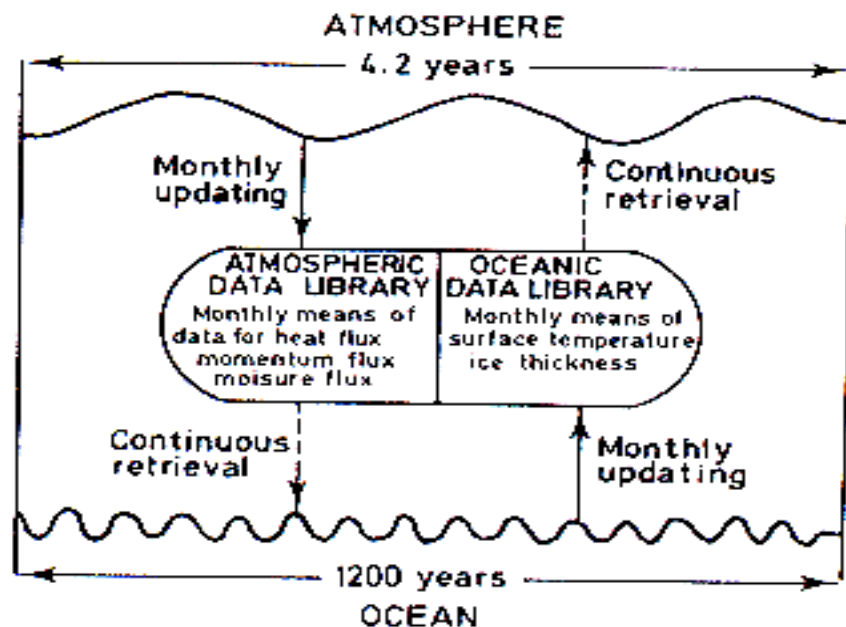
$$\frac{\partial F^{\uparrow}}{\partial z} = -k\rho(F^{\uparrow} - \pi\sigma T^4)$$

$$\frac{\partial F^{\downarrow}}{\partial z} = -k\rho(F^{\downarrow} - \pi\sigma T^4)$$

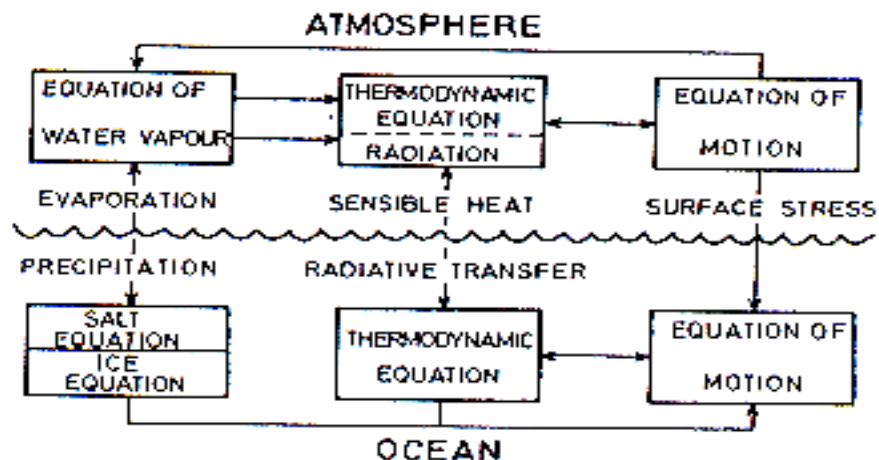
$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}(F^{\uparrow} - F^{\downarrow})$$

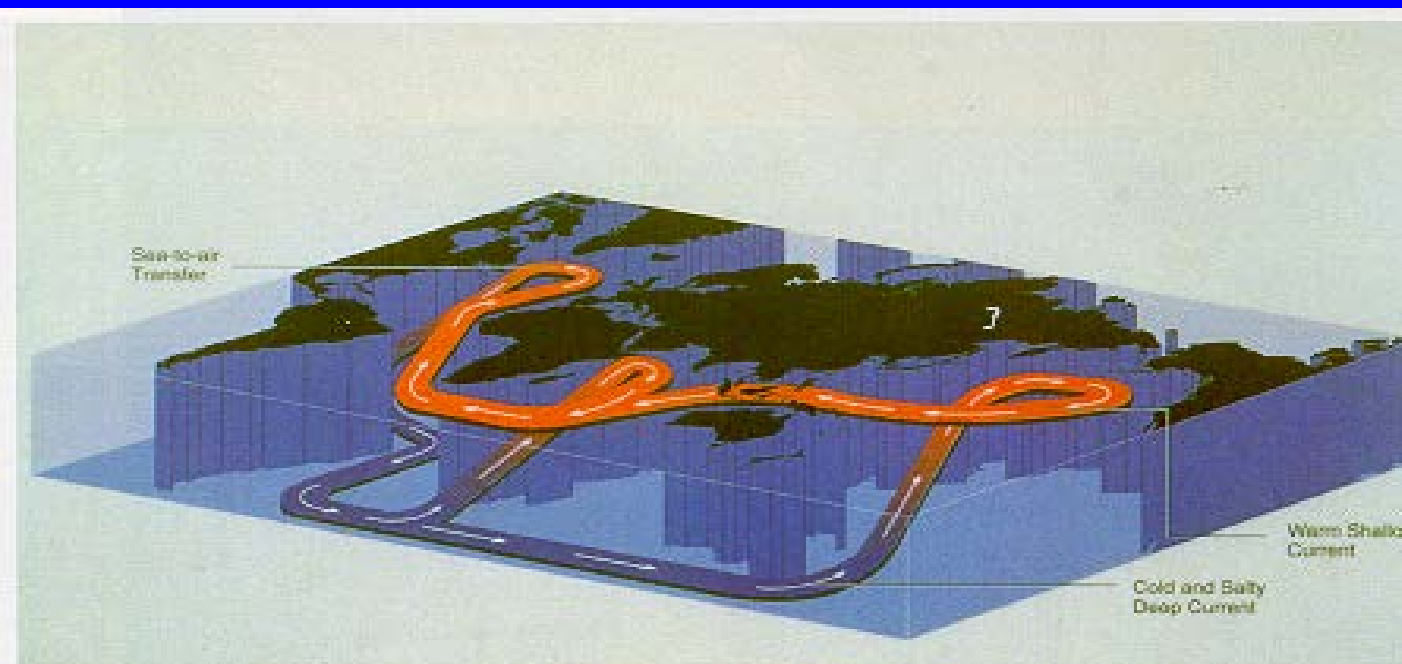
Acoplamiento

(a)



(b)





$$\frac{dT}{dt} = c(T - T)$$

$$\frac{dS}{dt} = d(S - S)$$

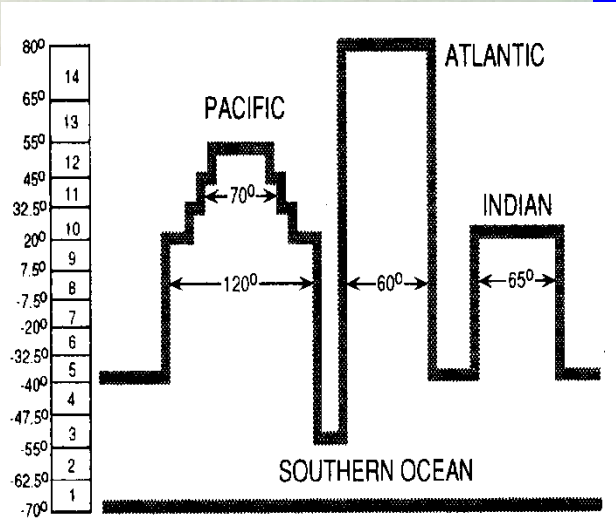
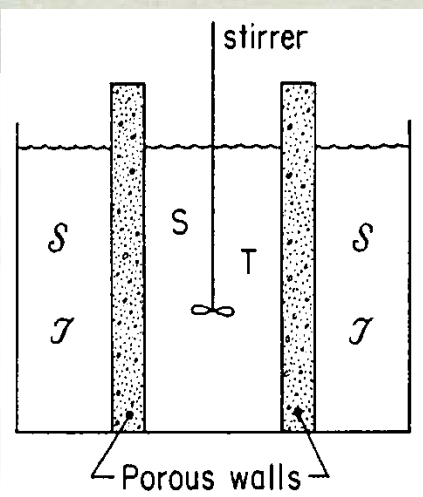


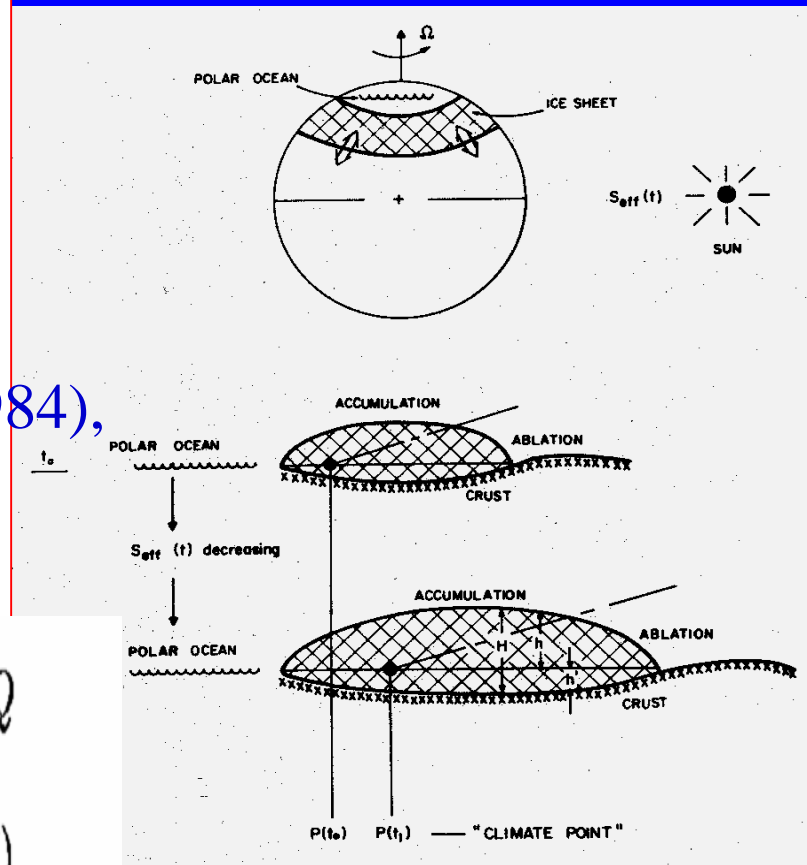
Figure 7. Idealized representation of the global ocean. The Pacific

Broecker-Denton(1989)
 Stommel (1961)
 Rahmstorf (1995)

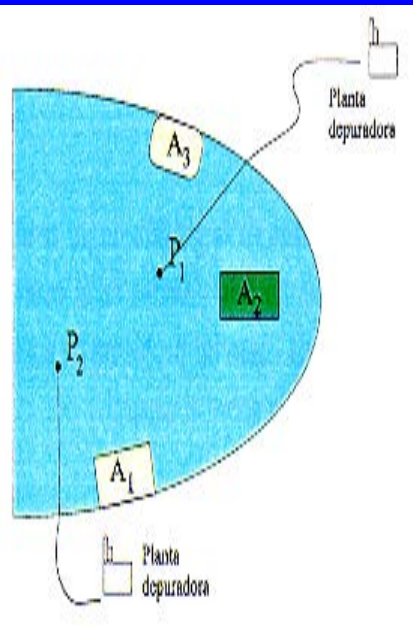
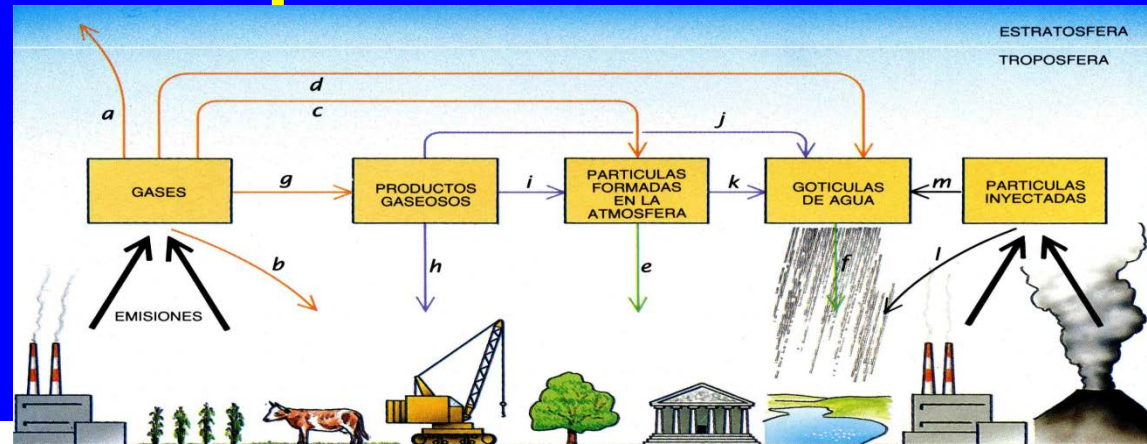
Crisofera: Modelos escalares de casquetes polares

Hutter (1983), Fowler (1992),
 Díaz-Schiavi (1995),
 Calvo-Durany-Vazquez (2000)
Con ciclos de Insolación Solar
 Imbrie-Imbrie (1980), Pollard (1982),
 Peltier-Hyde(1984), Watts-Hayder (1984),
 Oerlemans (1980), Denton (1988),
 Birchfield-Weertman (1978),...

$$\begin{cases} h_t = \left(h^{n+2} |h_x|^{n-1} h_x \right)_x + a(t, x) & \text{en } Q \\ h = 0 \text{ en } \{S_-(t)\} \cup \{S_+(t)\} & t \in (0, T) \\ h(0, x) = h_0(x) & \text{en } D \end{cases}$$



Componentes bio-químicas



$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \vec{u} \nabla \rho_1 - \beta_1 \Delta \rho_1 = -\kappa_1 \rho_1 + \frac{1}{h} \sum_{j=1}^{NE} m_j \delta(x - P_j) \quad \text{en } \Omega \times (0, T)$$

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial \vec{n}} = 0 \quad \text{en } \Gamma \times (0, T)$$

$$\rho_1(x, 0) = 0 \quad \text{en } \Omega$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \vec{u} \nabla \rho_2 - \beta_2 \Delta \rho_2 = -\kappa_1 \rho_1 + \frac{1}{h} \kappa_2 (d_s - \rho_2) \quad \text{en } \Omega \times (0, T)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial \vec{n}} = 0 \quad \text{en } \Gamma \times (0, T)$$

$$\rho_2(x, 0) = \rho_{20}(x) \quad \text{en } \Omega$$

(A. Bermúdez de Castro, C. Rodriguez,
A. Martínez, C.E. Vázquez,..)

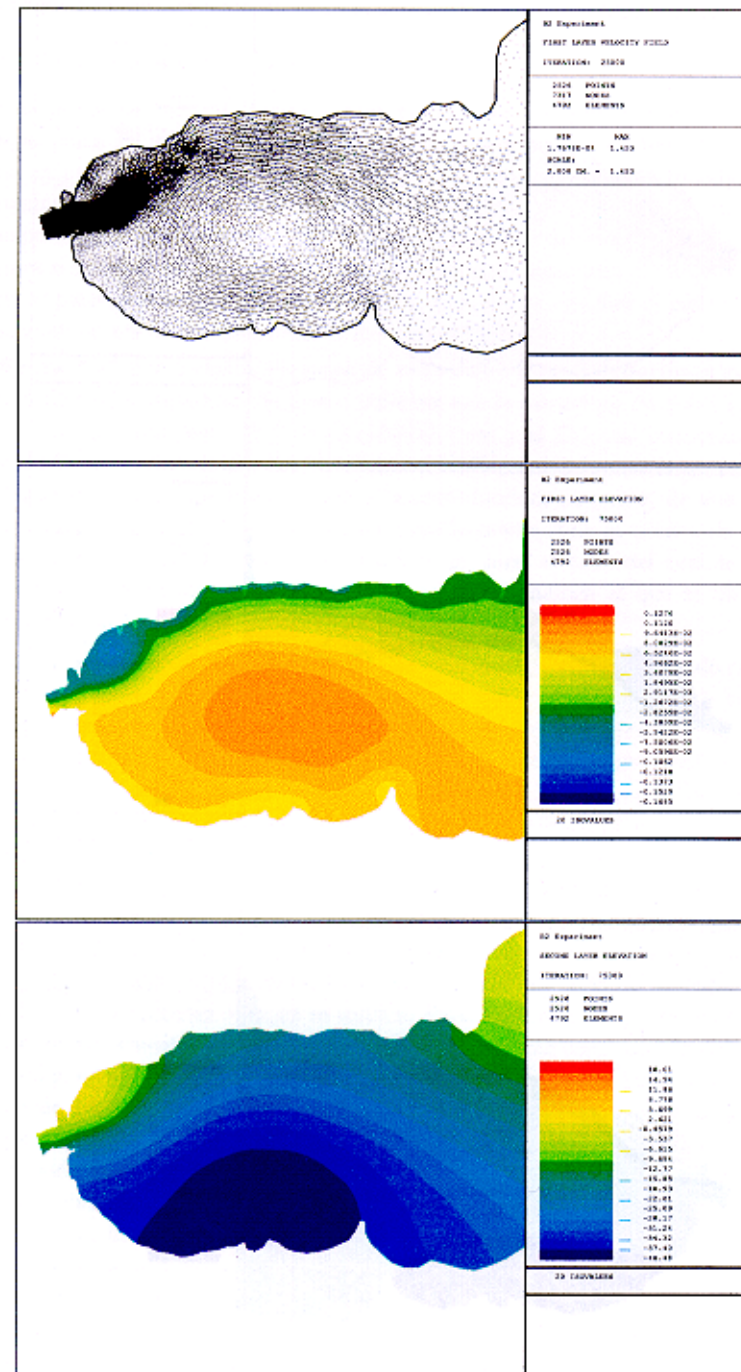
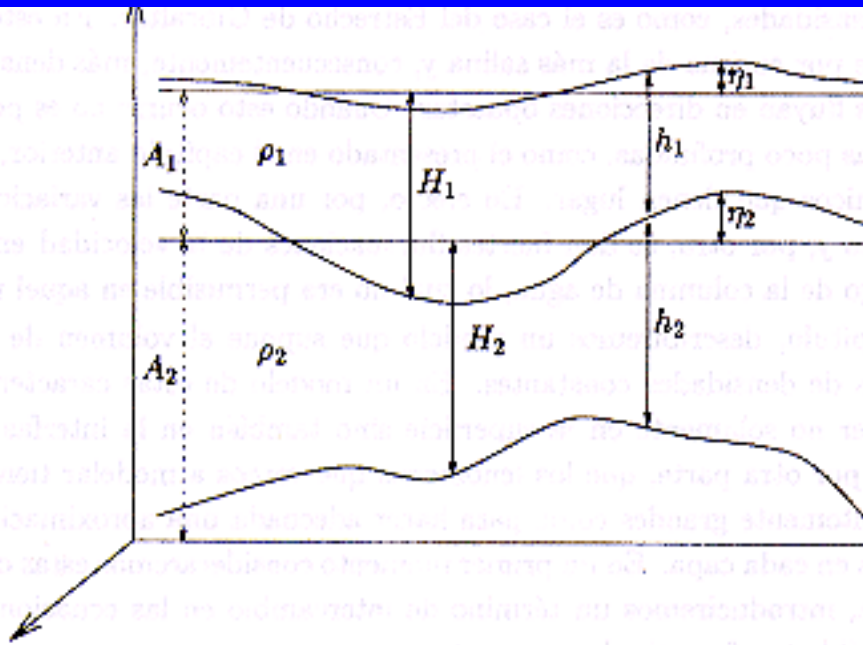
Problemas locales

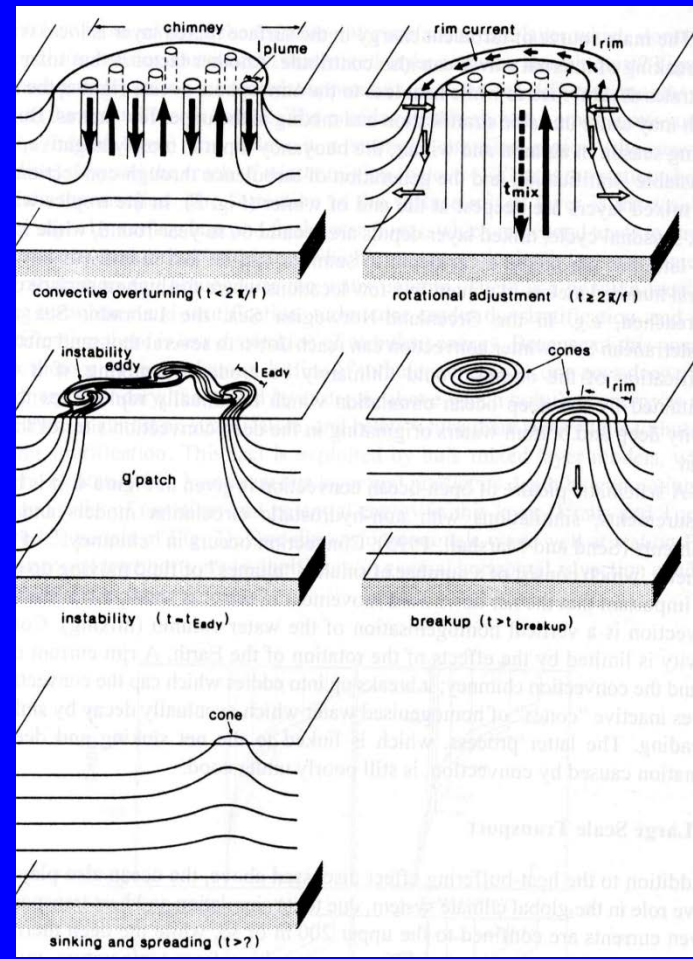
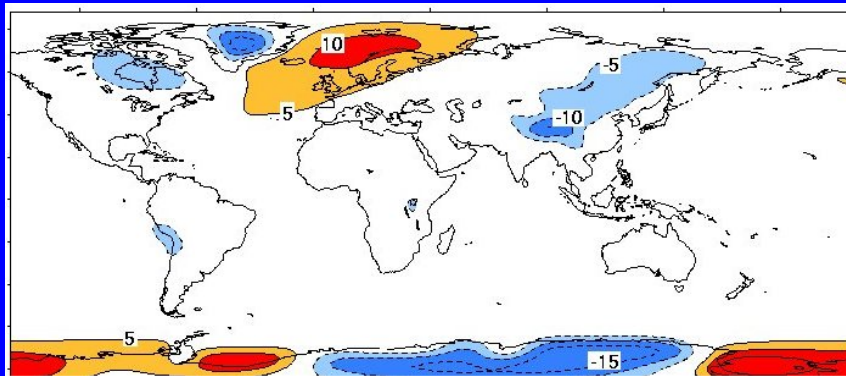
Mar de Alborán
(Challenger, 1984)

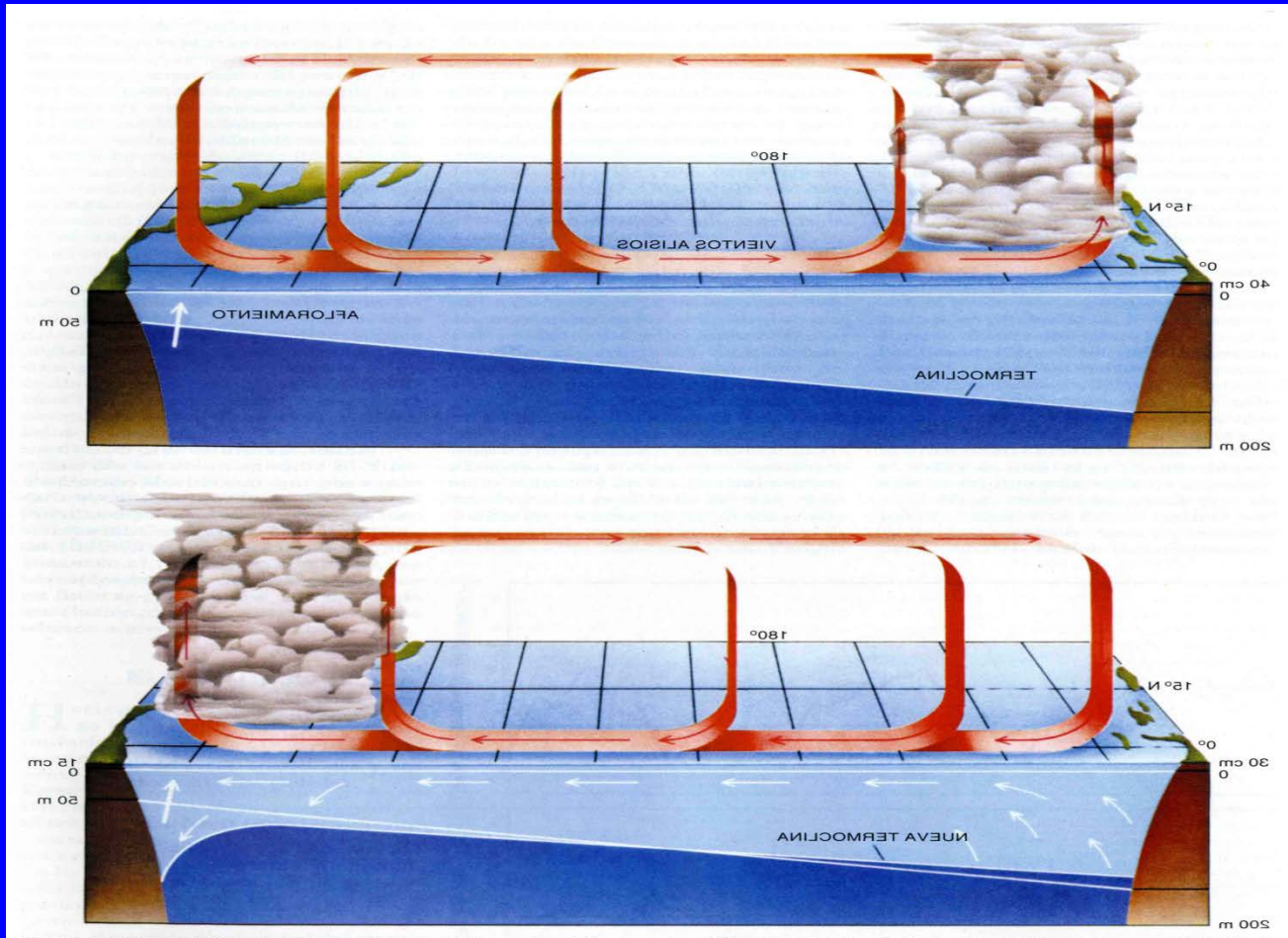
20/08/2023

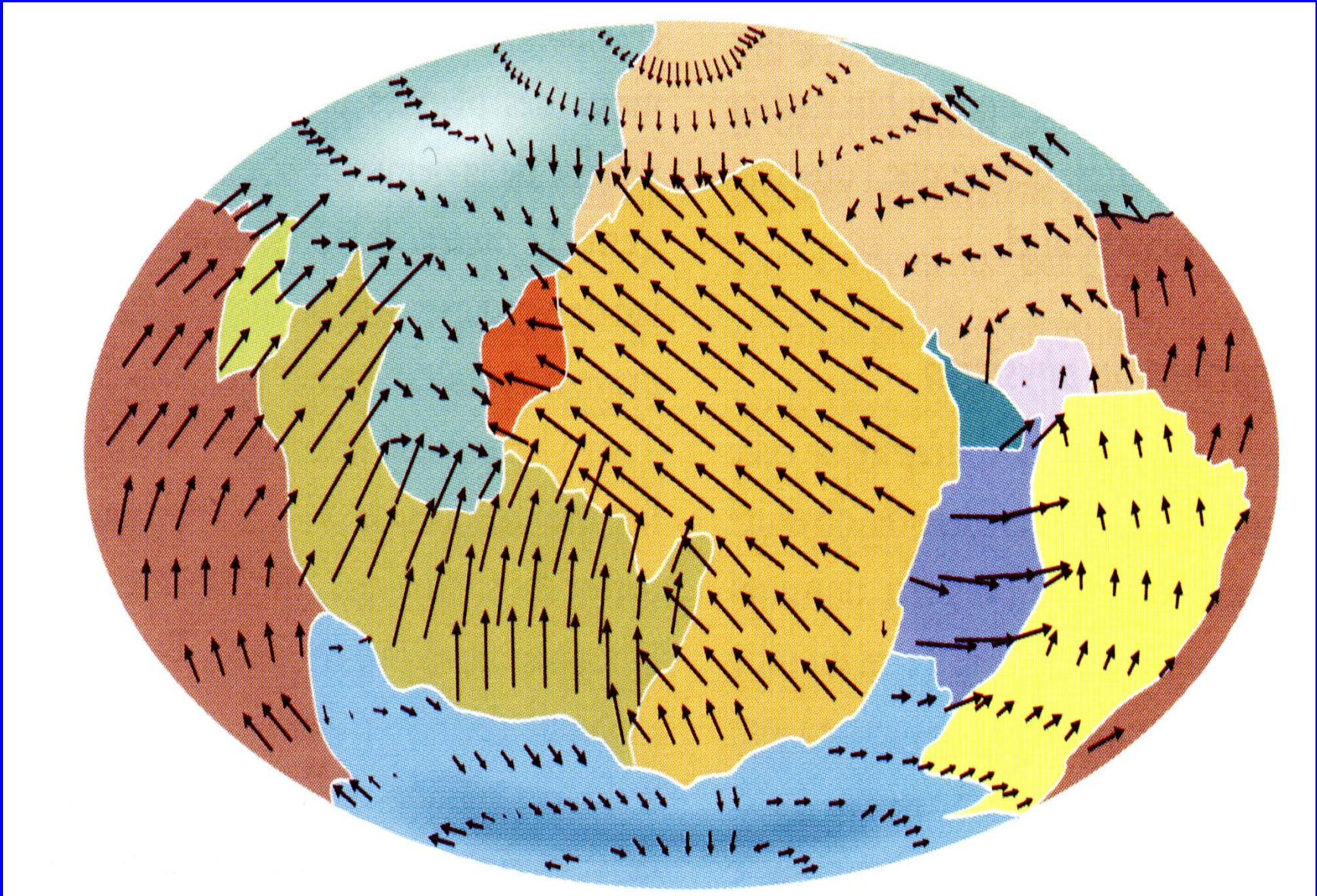


Modelización en dos capas “poco profundas”, (A. Valle, C. Pares, J. Macias,..)

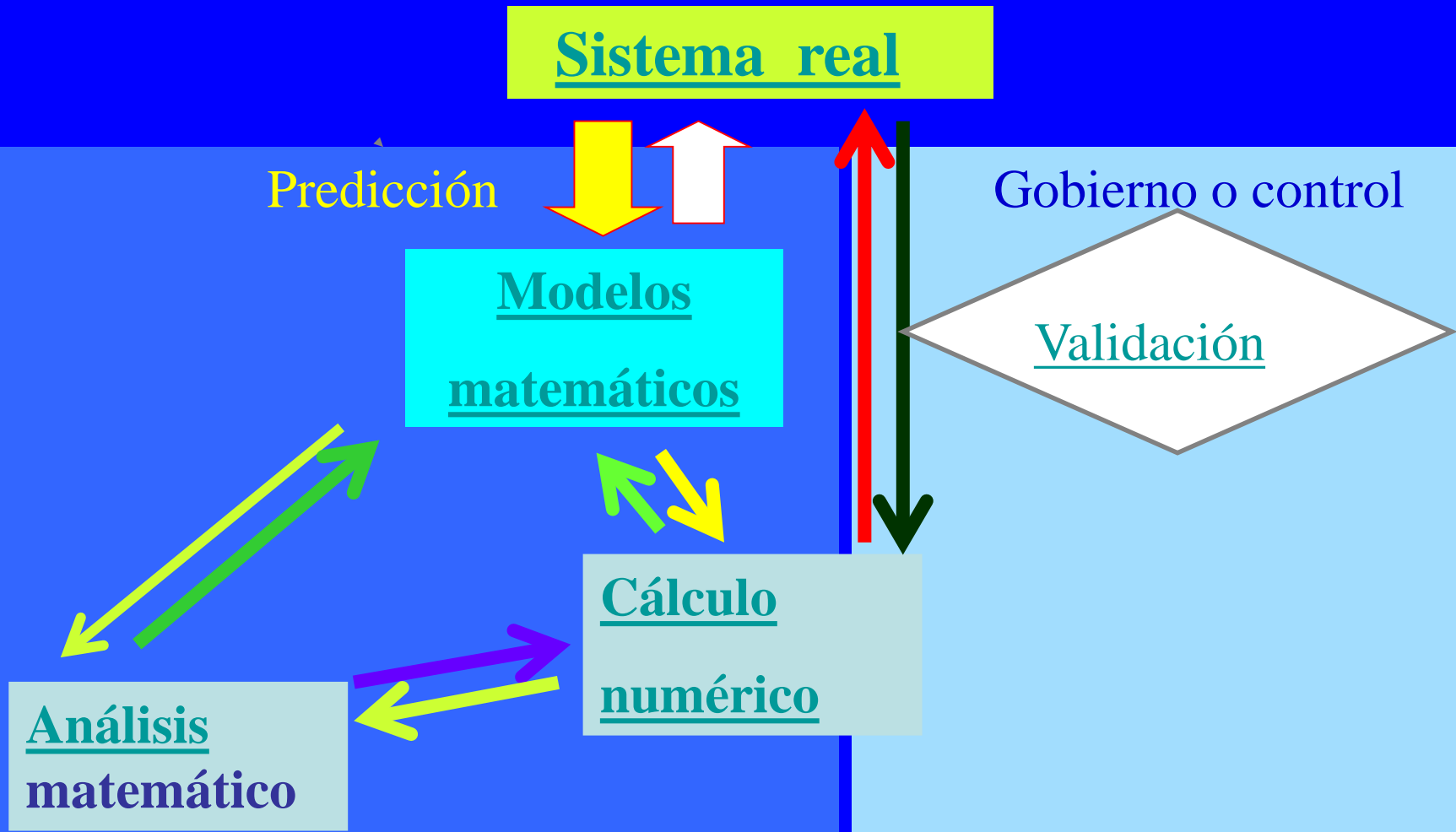








La “Trilogía Universal” de la Matemática Aplicada



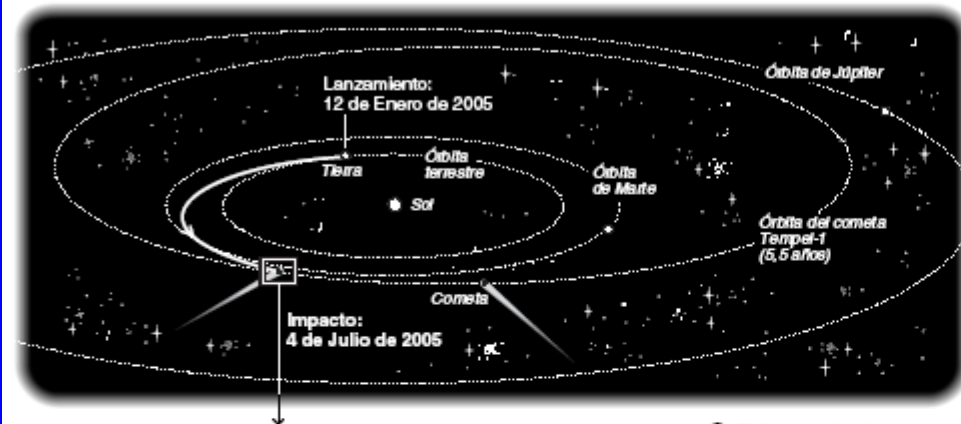
Gobierno o control



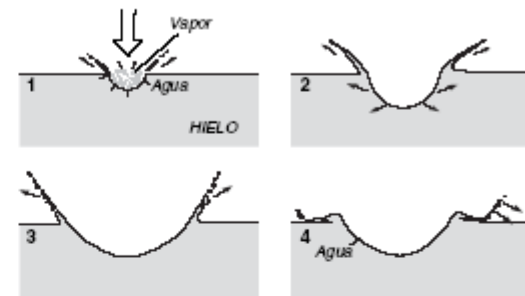
Roma 1555

Misión 'Deep Impact'

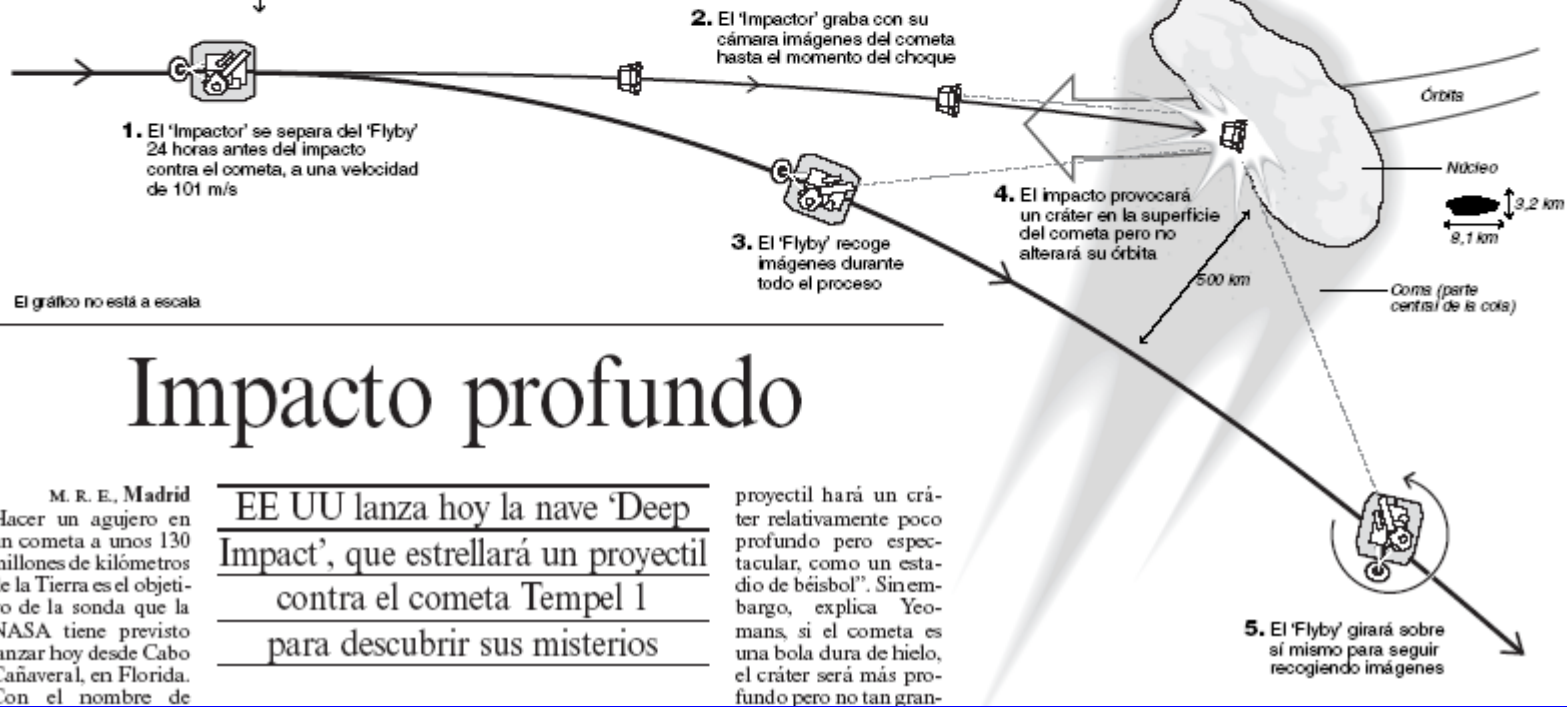
Hoy comienza la misión de la NASA que estudiará la composición del núcleo del cometa Tempel 1 al estrellar contra él un proyectil de 370 kg a una velocidad relativa de 10,2 km/s.



SECUENCIA DEL IMPACTO



La profundidad y diámetro del cráter aportarán datos sobre la composición y dureza del núcleo, información hasta ahora no comprobados.



El gráfico no está a escala

Impacto profundo

M. R. E., Madrid
Hacer un agujero en un cometa a unos 130 millones de kilómetros de la Tierra es el objetivo de la sonda que la NASA tiene previsto lanzar hoy desde Cabo Cañaveral, en Florida. Con el nombre de

EE UU lanza hoy la nave 'Deep Impact', que estrellará un proyectil contra el cometa Tempel 1 para descubrir sus misterios

proyectil hará un cráter relativamente poco profundo pero espectacular, como un estadio de béisbol". Sin embargo, explica Yeomans, si el cometa es una bola dura de hielo, el cráter será más profundo pero no tan gran-

Catastrofes naturales

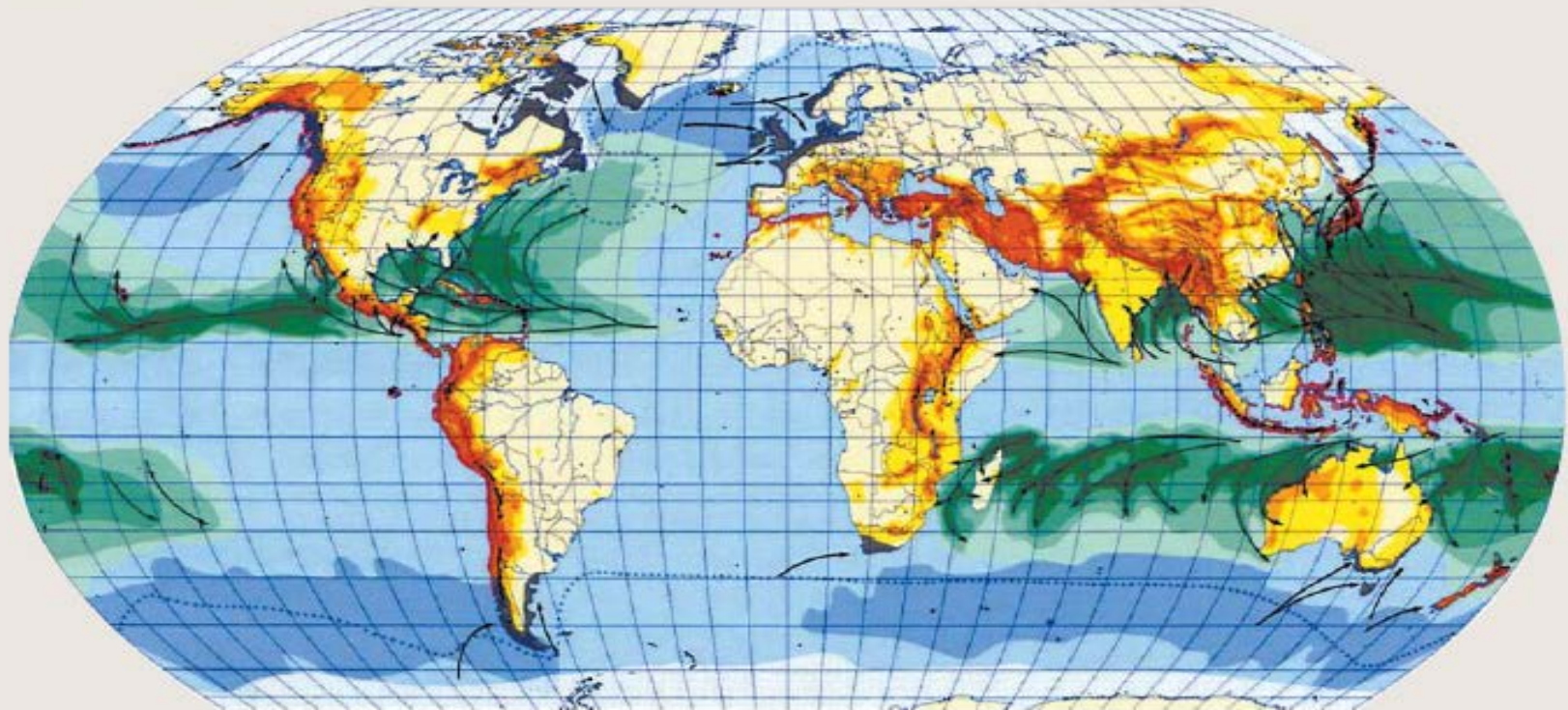
Visión pesimista

EL EFECTO DE LOS DESASTRES NATURALES AUMENTA CADA AÑO POR LA ACCIÓN DEL HOMBRE

Un mundo de catástrofes

<http://www.elpais.es/suplaydomingo>

Atlas de los desastres naturales



SEÍSMO

Escala Mercalli de terremotos (1-13)

□ Zona 0. M (<5)

□ Zona 1. M (6)

□ Zona 2. M (7)

□ Zona 3. M (8)

□ Zona 4. M (9->)

TORMENTAS TROPICALES

Escala Saffir-Simpson de huracanes (1-5)

□ Zona 0. SS1 (118-153 km/h)

□ Zona 1. SS2 (154-177 km/h)

□ Zona 2. SS3 (178-209 km/h)

□ Zona 3. SS4 (210-249 km/h)

□ Zona 4. SS5 (Más de 250 km/h)

TORMENTAS DE INVIERNO Y EXTRATROPICALES

□ Peligro de tormentas extratropicales principalmente en invierno

— Ruta de la principales tormentas

OTROS

▲ Límite de presencia de icebergs

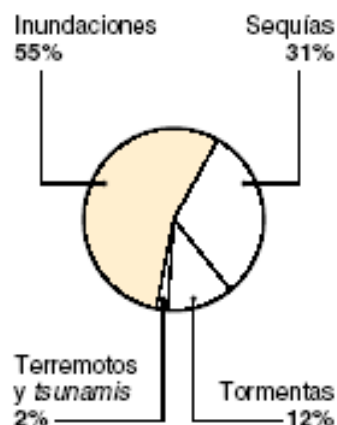
□ Hielo

□ Temporal con olas de más de 5 metros

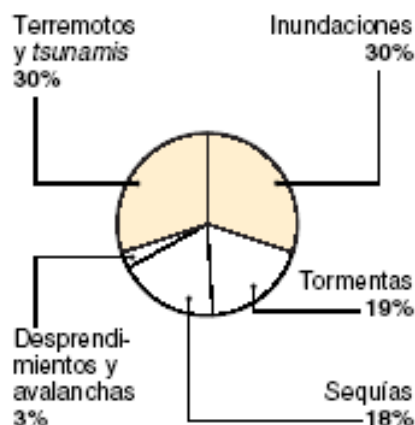
Desastres naturales

Nº de afectados	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	TOTAL
Sequías	16.946.500	26.791.404	3.620.000	7.330.100	19.882.535	30.502.145	176.477.015	86.757.493	339.901.401	70.274.114	778.122.707
Terremoto	790.785	1.640.722	5.501.102	1.227.462	2.139.320	6.881.400	2.408.826	8.796.841	611.608	3.955.700	33.953.766
Epidemias	6.564.353	445.078	643.994	334.311	879.459	476.548	1.030.908	200.976	969.159	125.956	11.670.742
Temperaturas extremas	1.108.184	535.278	200	614.580	36.386	725.246	27.686	213.161	103.986	1.839.908	5.204.615
Hambrunas	3.900.000	4.308.000	3.575.590	1.686.000	5.612.950	9.144.594	1.000.000	1.000.000	3.983.000		34.210.134
Inundaciones	127.687.833	198.116.395	178.451.143	44.956.366	290.072.569	149.969.693	62.505.835	34.494.674	277.408.430	166.827.751	1.530.490.689
Plagas		200									200
Desprendimientos	298.406	1.122.349	8.936	33.951	209.131	15.291	208.176	67.351	271.454	458.629	2.693.674
Erupciones	235.750	25.876	6.572	7.200	7.808	34.055	118.996	78.346	278.050	25.000	817.653
Olas gigantes			24	29.000		1.300	17.260		1.720		49.304
Incendios	3.067.413	11.839	5.811	53.159	166.904	18.830	39.035	5.739	26.124	8.833	3.403.687
Tormentas	38.311.466	13.771.290	28.144.129	13.594.067	26.784.268	23.889.154	15.459.454	30.645.189	110.694.349	10.781.408	312.074.774
Total afectados	198.910.690	246.768.431	219.597.501	69.866.196	345.791.330	221.658.256	259.293.191	162.259.770	734.249.281	254.297.299	2.712.691.945
Fallecidos	14.098	54.583	55.226	55.330	90.116	101.671	44.320	63.885	51.177	78.442	609.638
Número de desastres	225	263	228	274	329	385	546	459	508	380	3.597

■ AFECTADOS

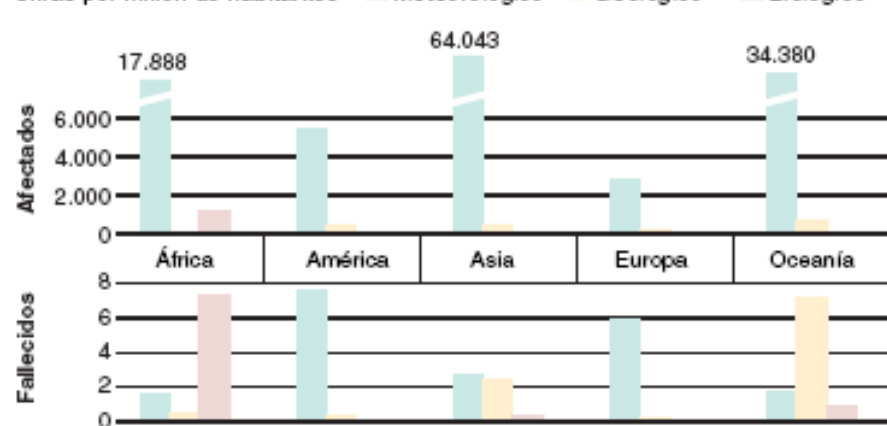


■ FALLECIDOS



■ FALLECIDOS Y AFECTADOS POR CONTINENTES

Cifras por millón de habitantes



Fuente: ONU.

EL PAÍS

Visión optimista (quizá en exceso)

