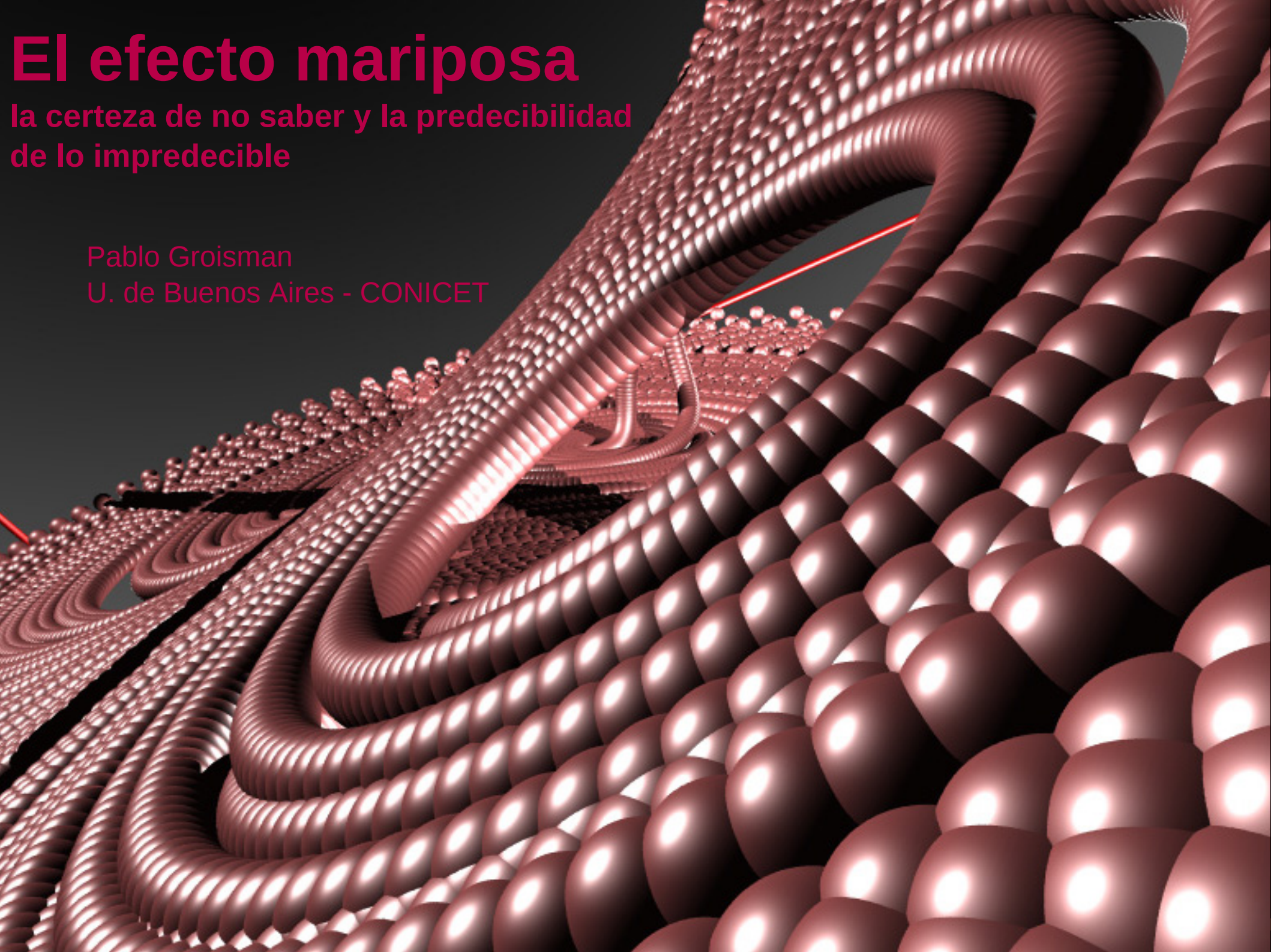


# El efecto mariposa

la certeza de no saber y la predecibilidad  
de lo impredecible

Pablo Groisman

U. de Buenos Aires - CONICET



# Caos

- Hesíodo (siglo 7 a.c.): lo primero que existió. Nix (noche) y Erebo (personificación de la oscuridad y las sombras) sus hijos.
- Aristóteles (siglo 3 a.c.): Espacio vacío
- Tommaso d'Aquino (siglo XII): Confusión
- Matemática: ...
- Mel Brooks







# Sistemas dinámicos

Sistemas que evolucionan en el tiempo

Ecuación logística

$$X_{n+1} = 4X_n(1-X_n)$$

$$X_0=0,9 \quad X_1=0,36 \quad X_2=0,9216 \quad X_3=0,28901376$$

etcétera

# Sistemas dinámicos

Ecuación geométrica

$$X_{n+1} = X_n/2$$

$$X_0=4 \quad X_1=2 \quad X_2=1 \quad X_3=1/2 \quad X_4=1/4$$

etcétera

# Ecuaciones diferenciales

$$\frac{dc}{dt} = (1 - 2z)c$$

$$\frac{dz}{dt} = (-3 + c)z$$

- Dos cantidades que varían:  $c$  (conejos) y  $z$  (zorros)
- El lado izquierdo dice que varían en el tiempo
- El lado derecho dice cómo varían





**Las ecuaciones del sistema  
depredador-presa son predecibles**

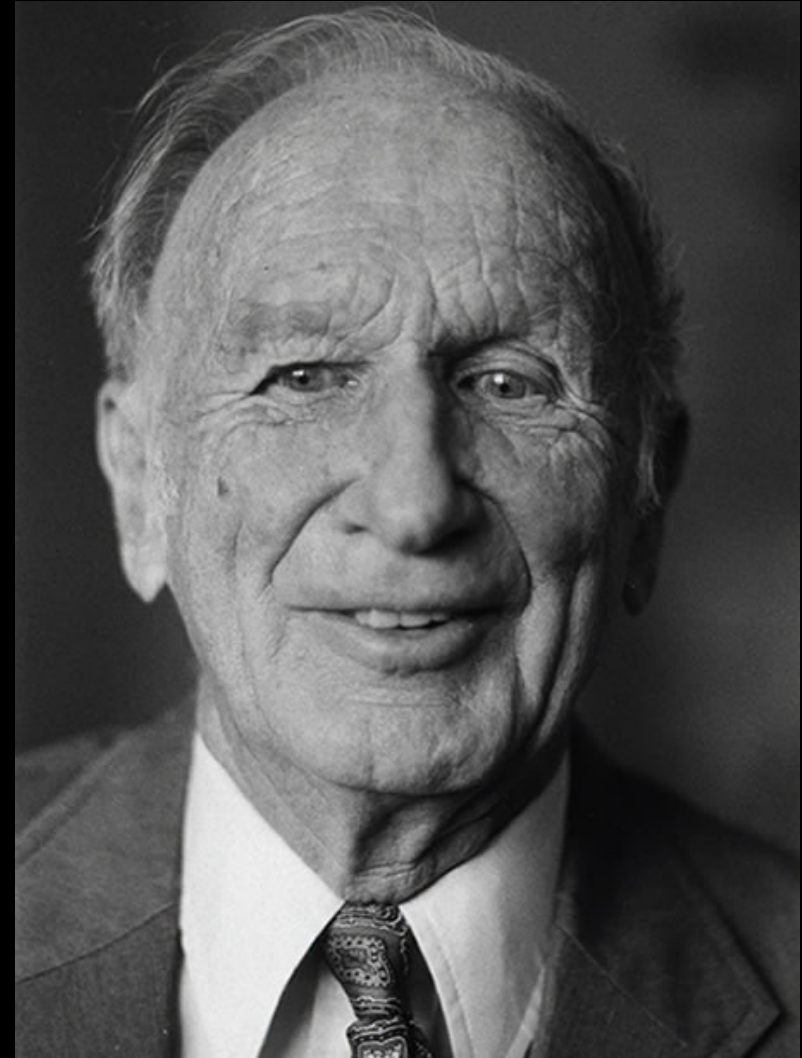
# Sistema dinámico caótico

- Un sistema dinámico  $X$  se dice caótico si para toda condición inicial y para todo entorno de esa condición inicial existe otra condición inicial dentro del entorno y un tiempo  $t$  tal que los sistemas con las distintas condiciones iniciales están lejos a tiempo  $t$ .

# Edward Lorenz 1917-2008

Matemático y Meteorólogo

En 1961 hace un gran descubrimiento...



# Ray Bradbury 1920-

Escritor



En 1952 escribe un gran cuento de ciencia ficción...

*"A sound of thunder"*

# Shrek



En 2010 se estrena  
Shrek 4  
Felices para siempre  
(una gran película)

# El descubrimiento de Lorenz

$$\frac{dx}{dt} = -10x + 10y$$

$$\frac{dy}{dt} = 28x - y - xz$$

$$\frac{dz}{dt} = xy - \frac{8}{3}z$$

- $x$ ,  $y$ ,  $z$  tres cantidades que aparecen en la atmósfera (p. ej: temperatura, presión atmosférica, etc.)



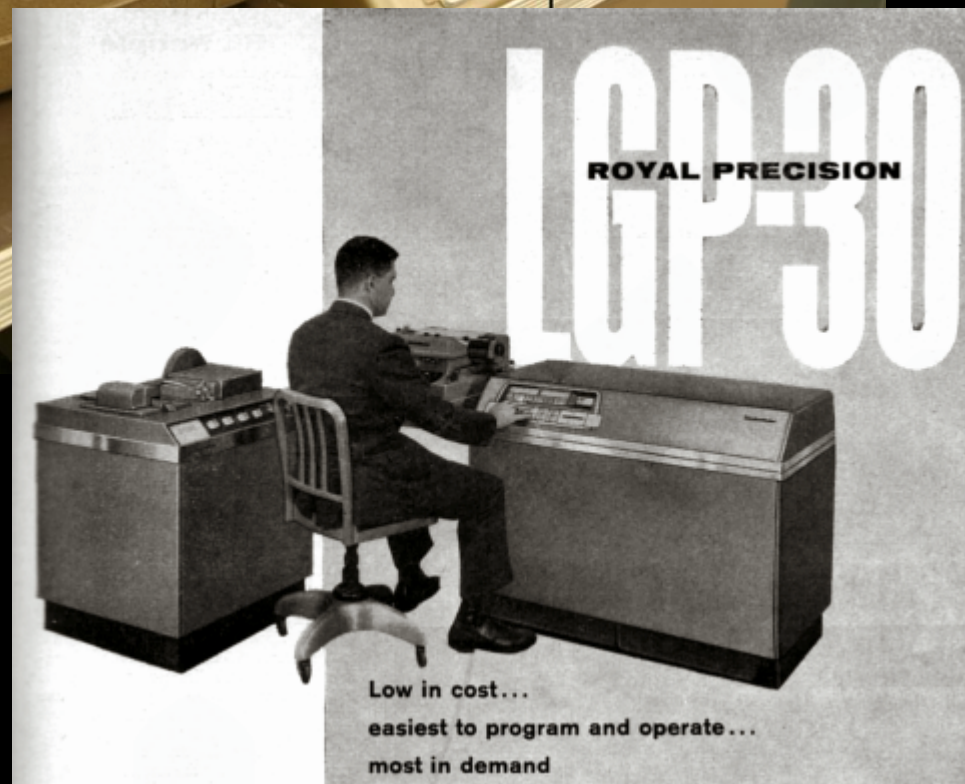
# 1961

ROYAL LGP-30

60

multiplicaciones  
por segundo

16kb de memoria







# 2011

## NOTEBOOK

10.000.000.000  
multiplicaciones por  
segundo

4.000.000kb de memoria

0.3400	0.3401
0.8976	0.8977
0.3677	0.3672
0.9299	0.9295
0.2606	0.2621
0.7708	0.7736
0.7068	0.7006
0.8290	0.8390
0.5671	0.5402
0.9820	0.9935
0.0707	0.0257
0.2627	0.1002
0.7748	0.3605
0.6979	0.9222
0.8433	0.2871
0.5286	0.8187
0.9967	0.5937
0.0130	0.9649
0.0514	0.1357
0.1952	0.4690
0.6284	0.9962
0.9341	0.0153
0.2463	0.0603
0.7425	0.2266
0.7649	0.7010
0.7194	0.8384
0.8075	0.5419
0.6219	0.9930
0.9406	0.0278

## Ecuación logística

$$X_{n+1}=4X_n(1-X_n)$$

Con datos iniciales

$$X_0=0.3400 \text{ y}$$

$$X_0=0.3401$$

Lo mismo veía Lorenz que pasaba con sus ecuaciones

Conjetura: El sistema es caótico

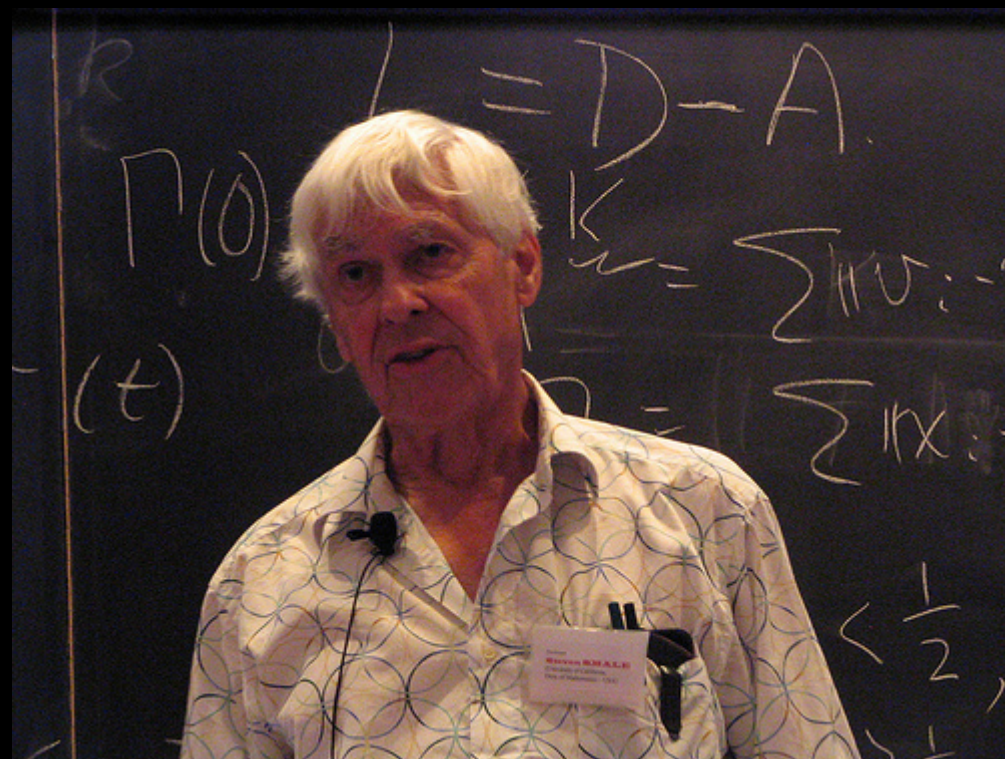
Consecuencia: No se puede predecir el tiempo (meteorológico) a largo plazo





David Hilbert

Los grandes desafíos matemáticos para el  
siglo XX

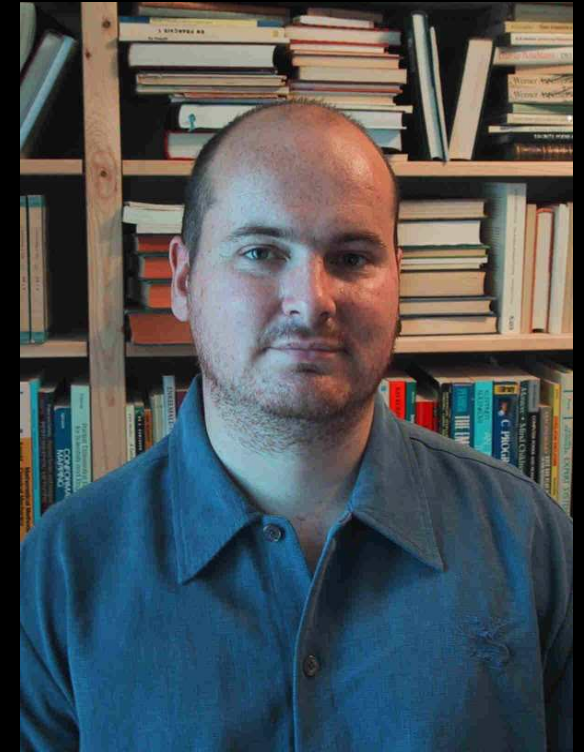


Steven Smale

Los grandes desafíos matemáticos para el  
siglo XXI

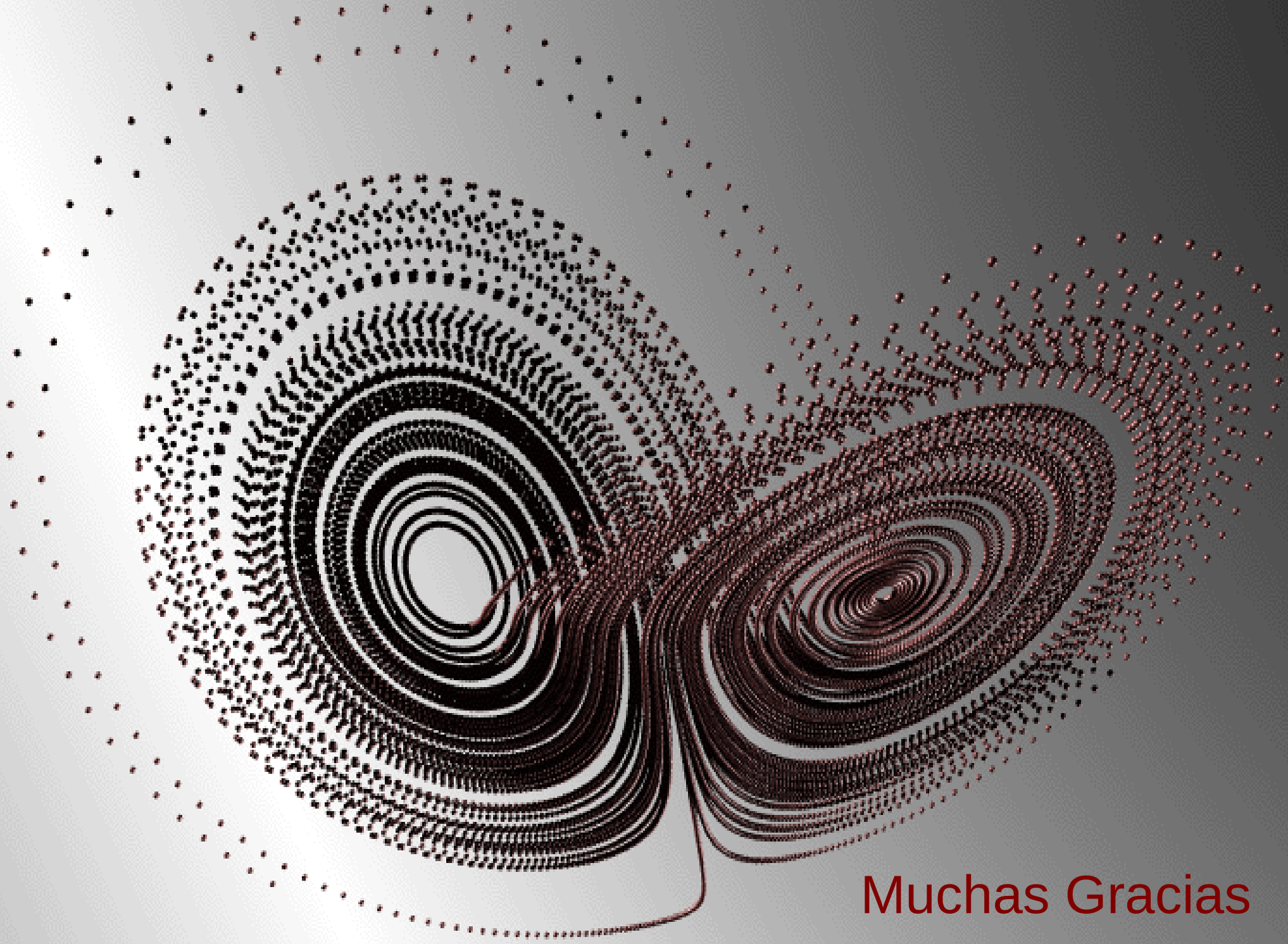
Problema 14: Demostrar que las ecuaciones de  
Lorenz son caóticas

En el año 2000, un estudiante de doctorado de la universidad de Upsala, Suecia resuelve el problema



**Teorema:** Las ecuaciones de Lorenz tienen un atractor extraño robusto

Warwick Tucker



Muchas Gracias