



Sincronización y Control de Dinámicas No Lineales

José Manuel Cruz
CIQ-UAEM

jmcm@uaem.mx

UNACH, Marzo 30, 2017

Contenido

INTRODUCCIÓN

Diferentes tipos de dinámicas en sistemas no lineales (caos).

Ejemplos de sistemas no lineales biológicos y físico(químicos).

Oscilaciones y patrones Espacio-temporales.

INTERACCIÓN DE SISTEMAS

Acoplamiento

Sincronización

Resultados

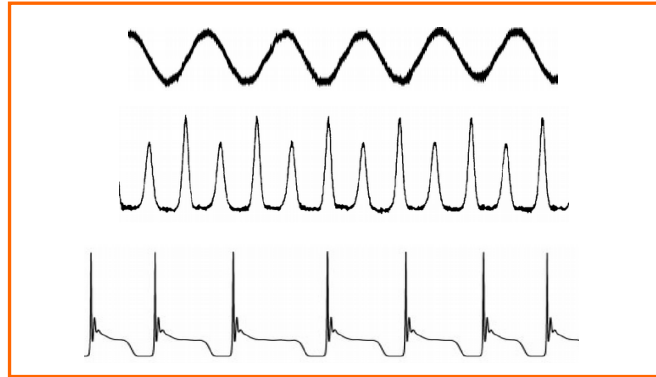
CONTROL

Forzamiento periódico

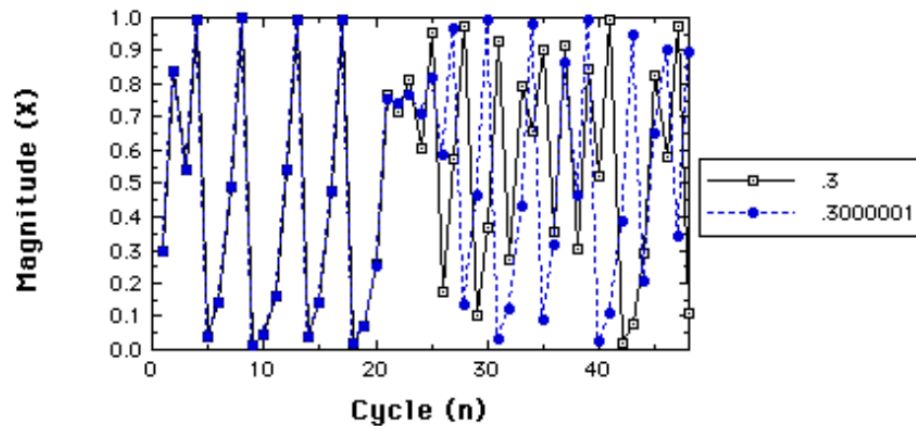
Forzamiento estocástico

Resultados

Sistemas No lineales Diferentes tipos de dinámicas

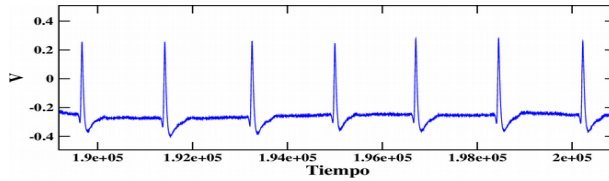
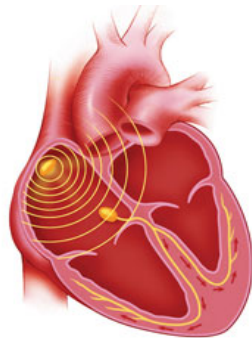


caótica

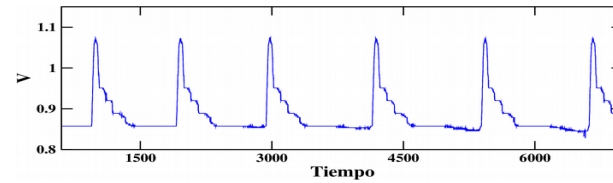


Caos es la ocurrencia de una evolución temporal no-periódica en un sistema dinámico no lineal determinista con una gran sensibilidad a las condiciones iniciales. Esta extrema sensibilidad a las condiciones iniciales es la responsable de que dos trayectorias inicialmente cercanas con el tiempo diverjan.

Ejemplos de Sistemas no-lineales Que presentan oscilaciones



ECG



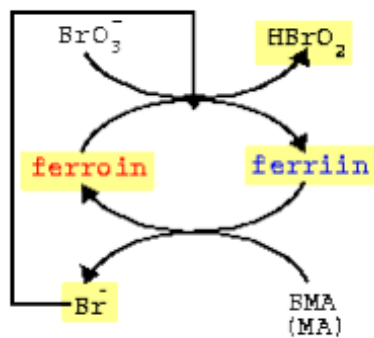
Reacción de Belousov-Zhabotinsky

Reacción de Belousov-Zhabotinsky



Ce(NH ₄) ₂ (NO ₃) ₅	0.002 M
CH ₂ (COOH) ₂	0.275 M
KBrO ₃	0.0625 M
H ₂ SO ₄	1.5 M
Ferroína	0.0006 M

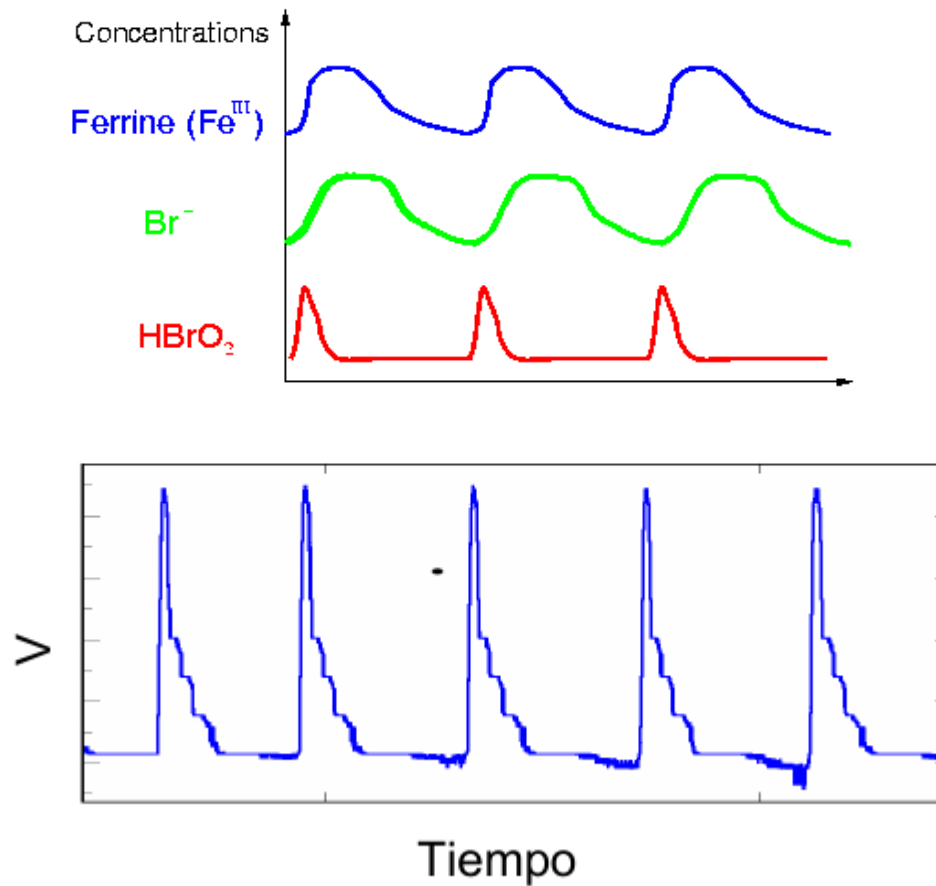
video



Modelo FKN

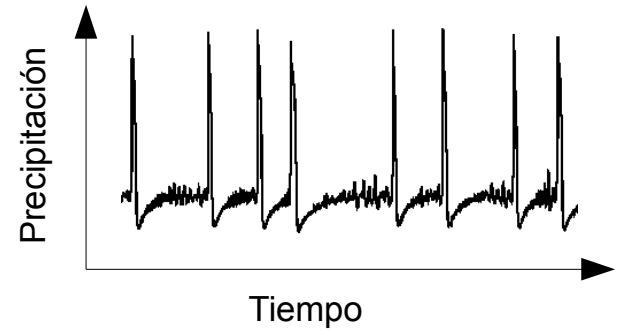
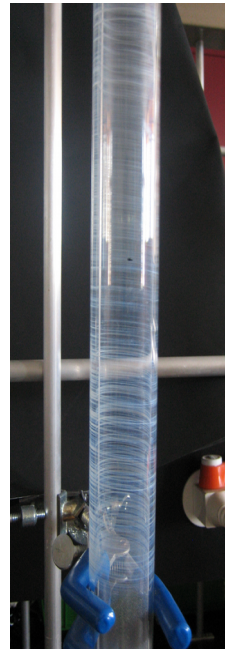
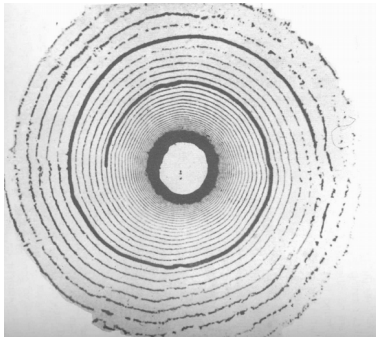
Reaction	k_f	k_r
(R1) $\text{Br}^- + \text{HOBr} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$k_{R1} = 8 \times 10^9 \text{ M}^{-2}\text{s}^{-1}$	$k_{-R1} = 110 \text{ s}^{-1}$
(R2) $\text{Br}^- + \text{HBrO}_2 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HOBr} + \text{HOBr}$	$k_{R2} = 3 \times 10^6 \text{ M}^{-2}\text{s}^{-1}$	$k_{-R2} = 2 \times 10^{-5} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
(R3) $\text{Br}^- + \text{BrO}_3^- + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HOBr} + \text{HBrO}_2$	$k_{R3} = 2 \text{ M}^{-2}\text{s}^{-1}$	$k_{-R3} = 3.2 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
(R4) $\text{HBrO}_2 + \text{HBrO}_2 \xrightleftharpoons{\text{H}^+} \text{HOBr} + \text{BrO}_3^- + \text{H}^+$	$k_{R4} = 3 \times 10^3 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$	$k_{-R4} = 1 \times 10^{-8} \text{ M}^{-2}\text{s}^{-1}$
(R5) $\text{HBrO}_2 + \text{BrO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Br}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$	$k_{R5} = 42 \text{ M}^{-2}\text{s}^{-1}$	$k_{-R5} = 2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$
(R5a) $\text{Br}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2 \text{BrO}_2$	$k_{R5a} = 7.4 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$	$k_{-R5a} = 1.4 \times 10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
(R6) $\text{Ce(III)} + \text{BrO}_2 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Ce(IV)} + \text{HBrO}_2$	$k_{R6} = 8 \times 10^4 \text{ M}^{-2}\text{s}^{-1}$	$k_{-R6} = 8.9 \times 10^3 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$

Belousov-Zhabotinsky con agitación



Anillos de Liesegang

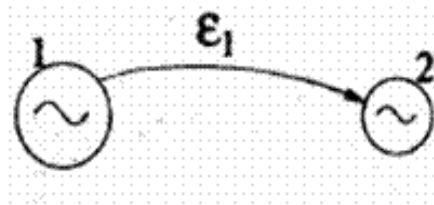
1896: Químico Raphael E. Liesegang



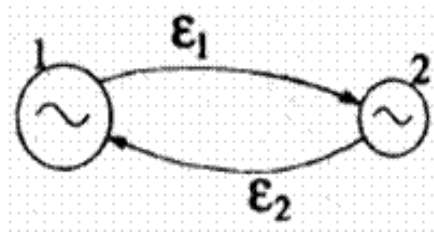
AgNO_3 Fase estacionaria, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ Fase móvil $\text{HCl} + \text{NH}_4\text{OH}$

Interacción de sistemas: Acoplamiento

Acoplamiento Uni-direccional



Acoplamiento Bi-direccional



Acoplamiento con el Modelo de Rossler

$$\dot{x}_1 = -\omega_1 y_1 - z_1 + \varepsilon(x_2 - x_1),$$

$$\dot{y}_1 = \omega_1 x_1 + ay_1,$$

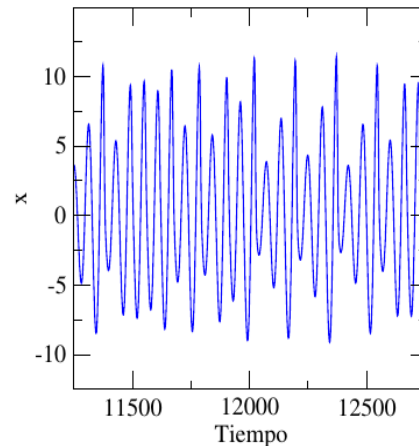
$$\dot{z}_1 = f + z_1(x_2 - c)$$

$$\dot{x}_2 = -\omega_2 y_2 - z_2 + \varepsilon(x_1 - x_2),$$

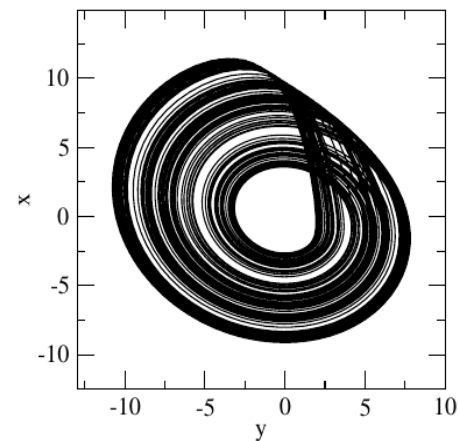
$$\dot{y}_2 = \omega_2 x_2 + ay_2,$$

$$\dot{z}_2 = f + z_2(x_1 - c)$$

Serie de tiempo



Atractor caótico

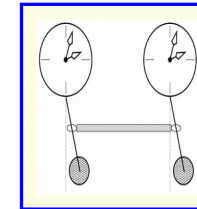
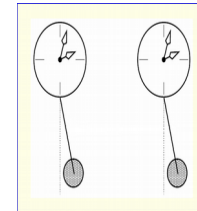
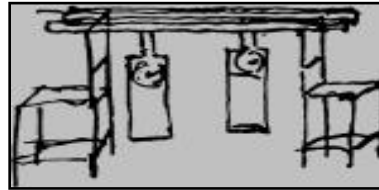


Para: $a=0.2$ $f=0.2$ y $c=5.7$.

Acoplamiento → Sincronización

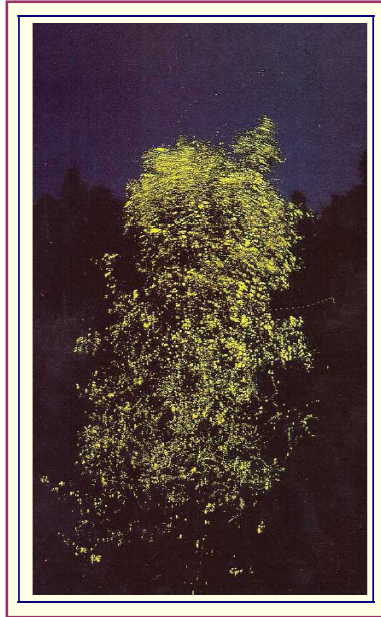


Año 1665



Sincronización: Ajuste de ritmos de objetos oscilantes debido a una interacción.

Ejemplos de Sincronización



Otros ejemplos: **Ciclo menstrual**

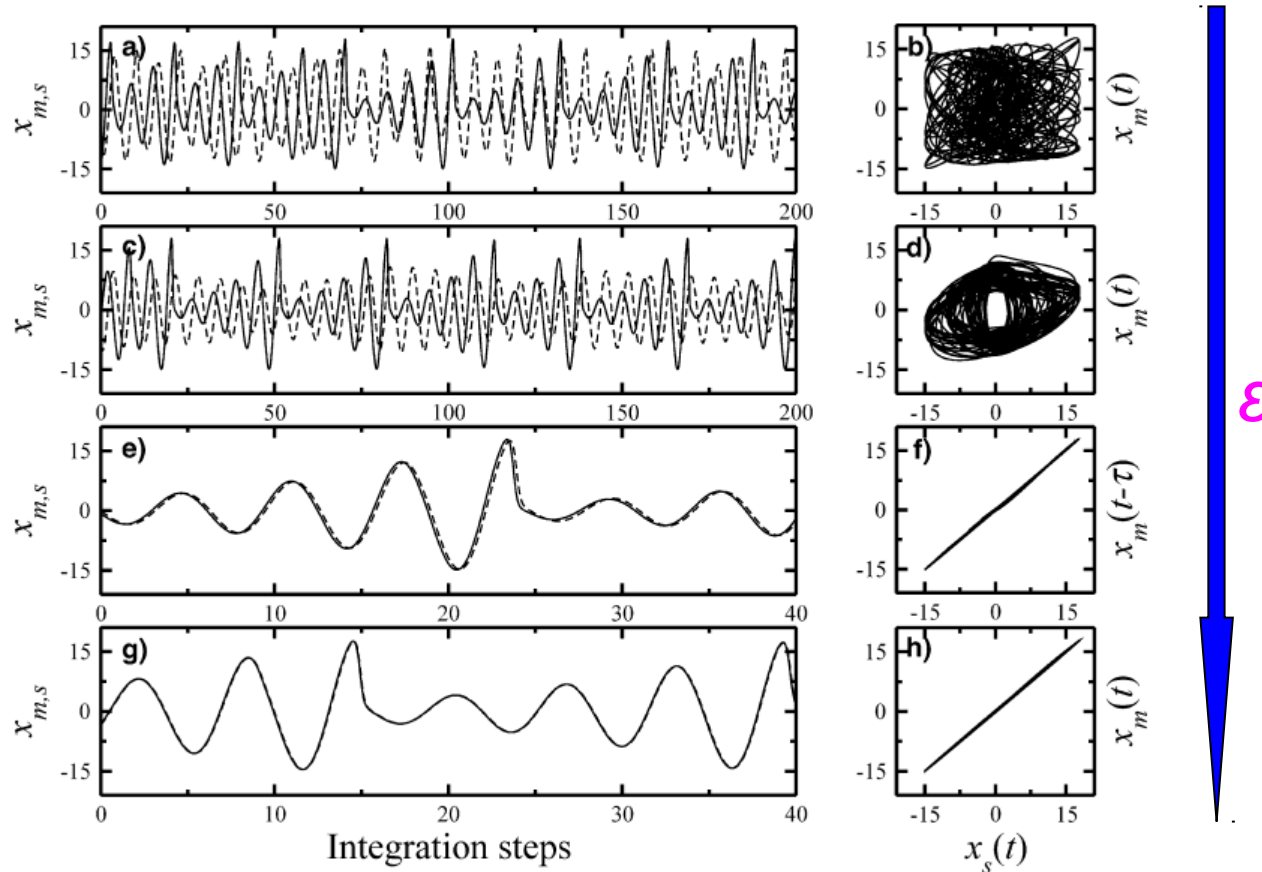
Células sinoatriales

Caos

En sistemas Caóticos: Sincronización de Fase, retrasada y Completa

From Phase to Lag Synchronization in Coupled Chaotic Oscillators

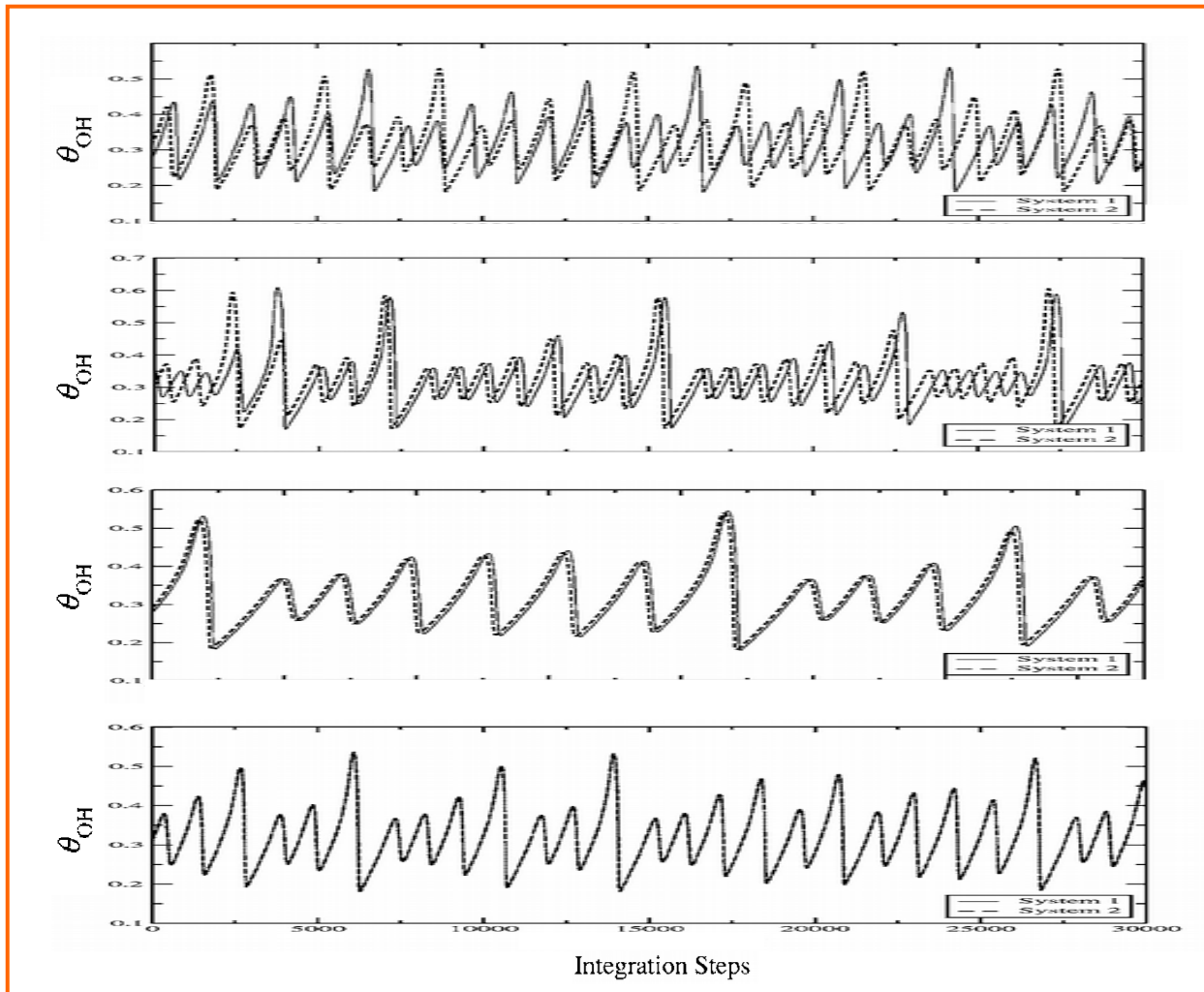
Michael G. Rosenblum,* Arkady S. Pikovsky, and Jürgen Kurths



Sincronización de Fase, retrasada y Completa en un modelo electroquímico

Simulaciones

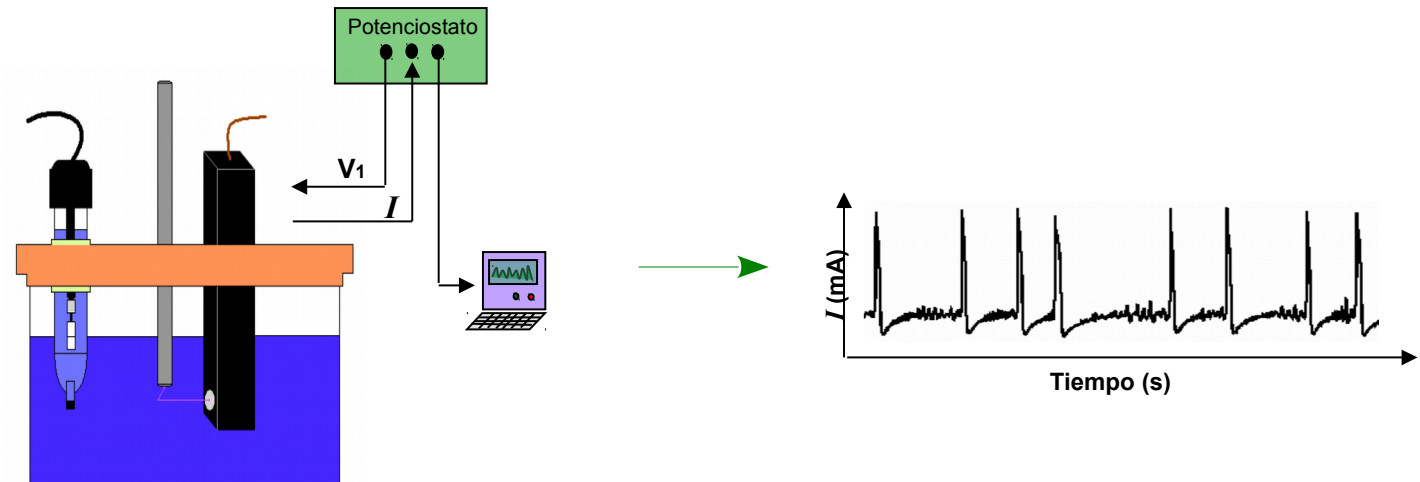
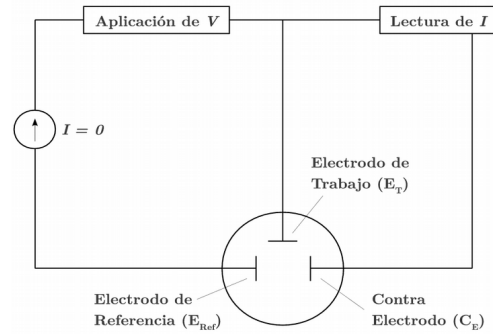
ϵ



¿Experimento?

Sistema Electroquímico

Dispositivo Experimental



Solución Electrolítica 150ml

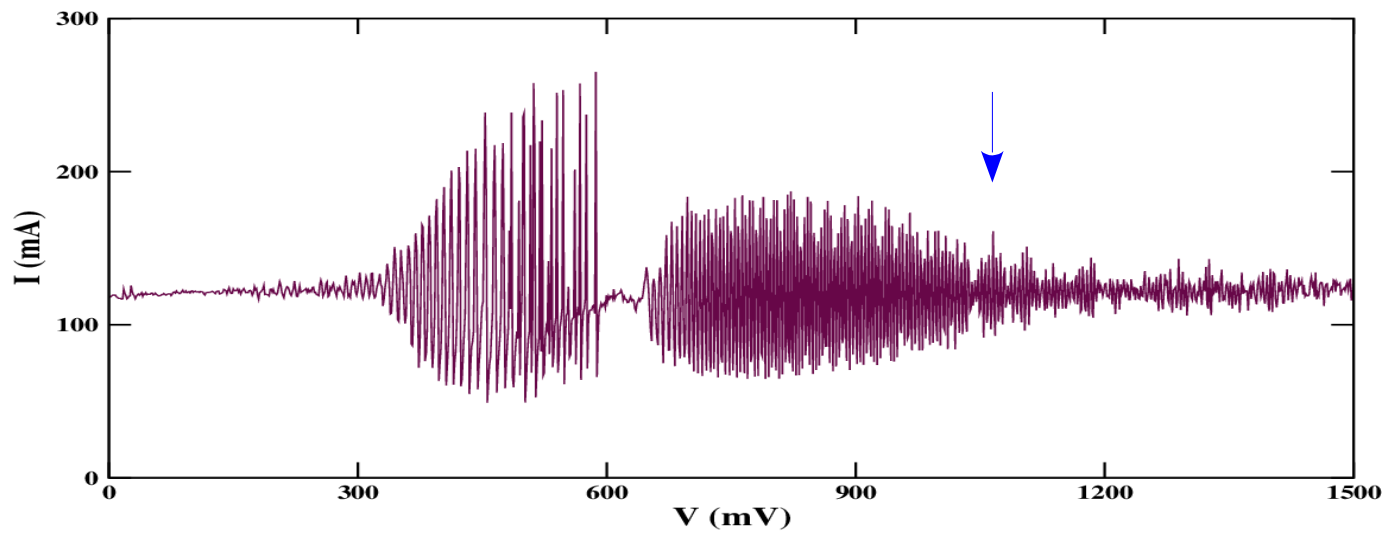
H_2SO_4 1.0 M

K_2SO_4 0.4 M

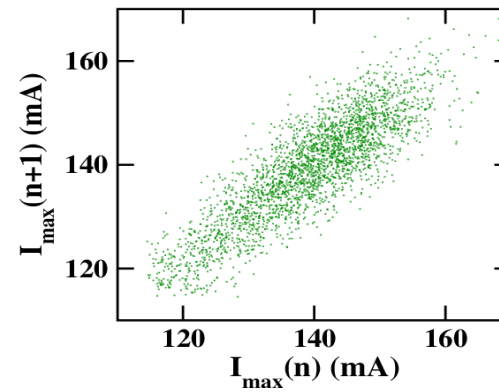
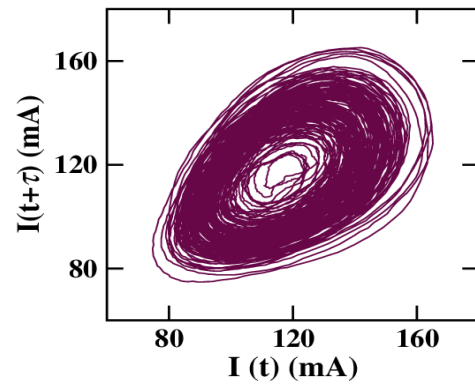
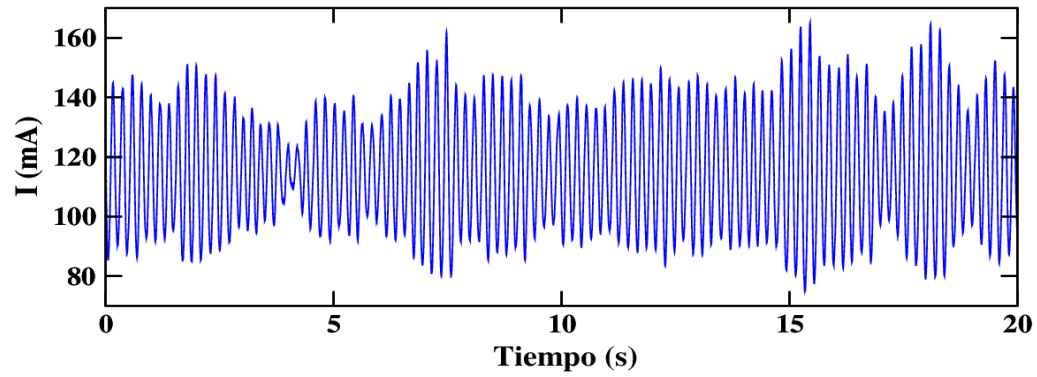
KCl 13.41 mmoles

Búsqueda de la dinámica caótica

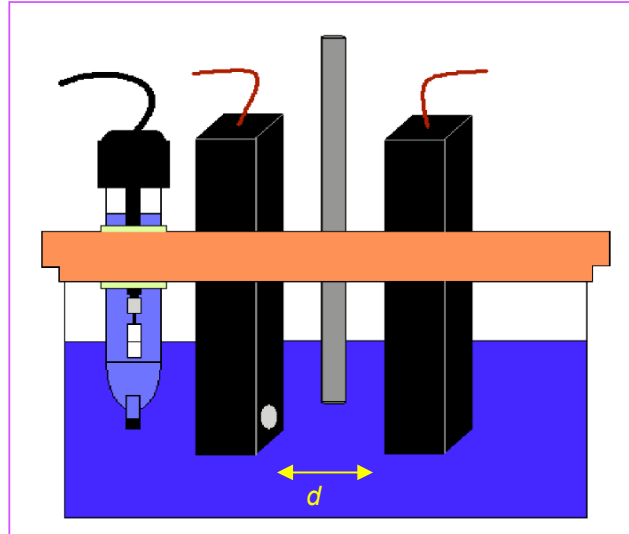
Voltamograma



Caracterización la dinámica caótica

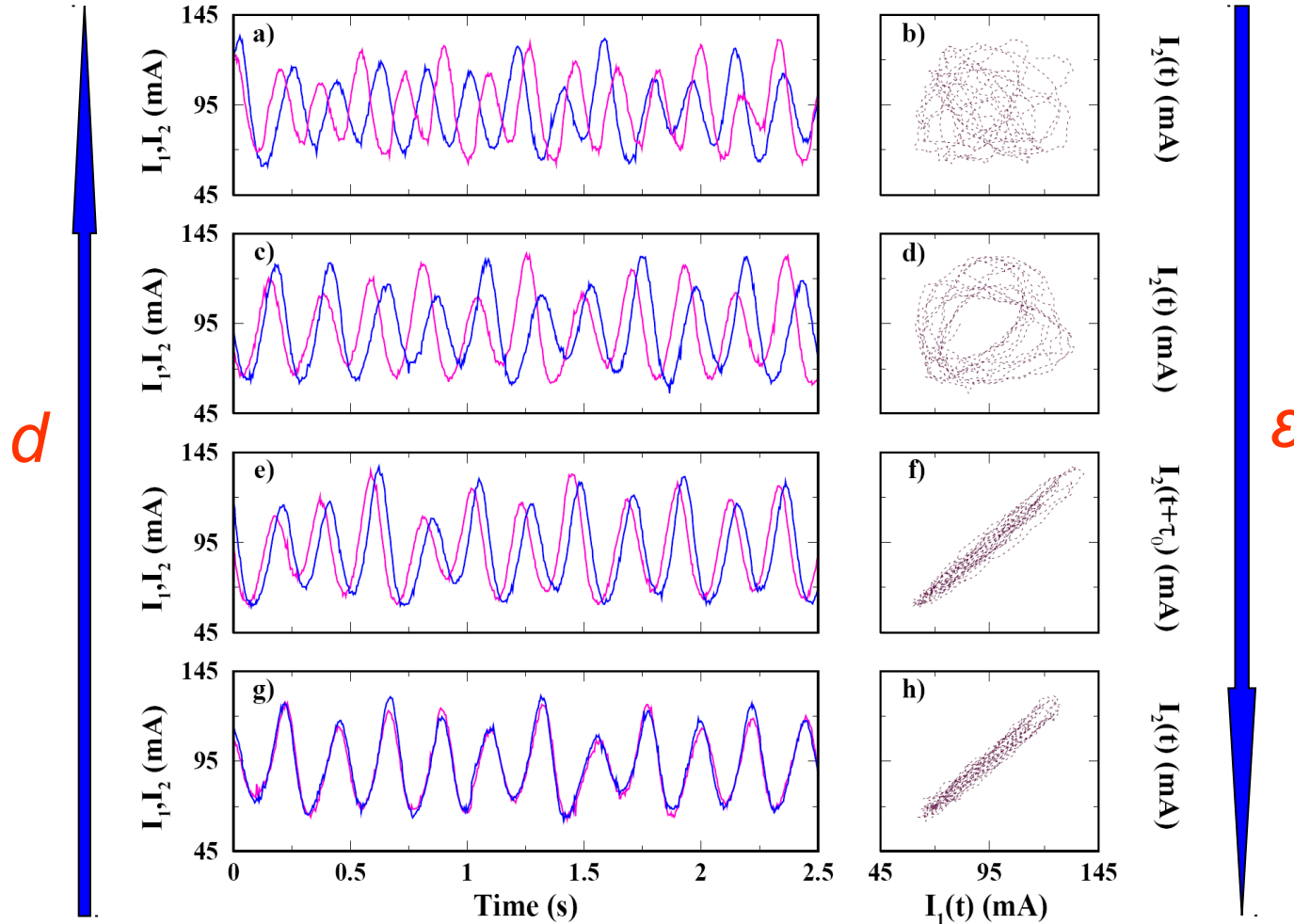


Sincronización con acoplamiento Bi-direccional

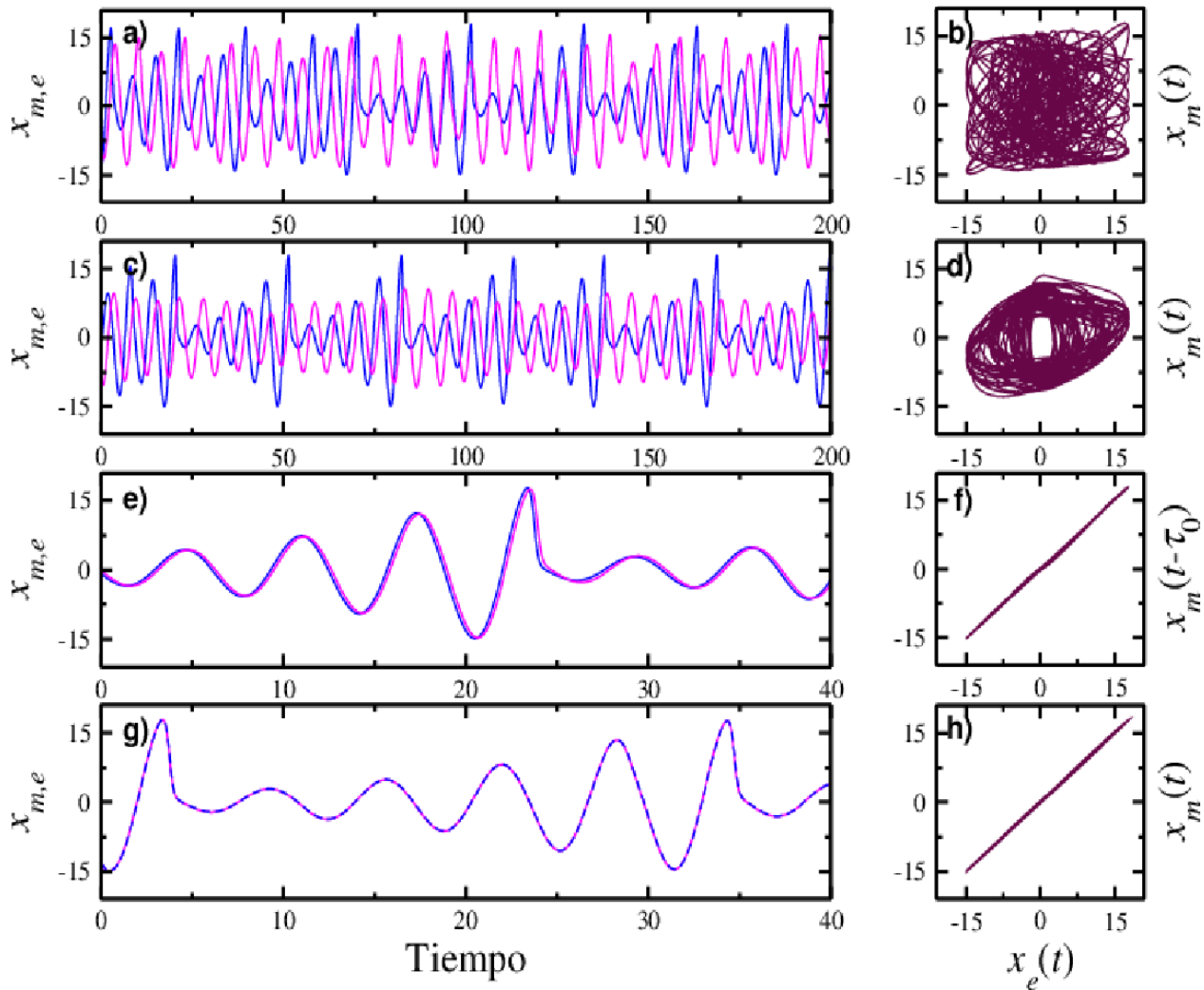


Dominios de Sincronización

Experimentos (acoplamiento uni- y bi-direccional)



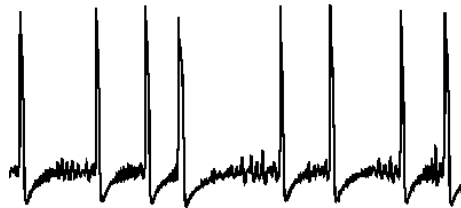
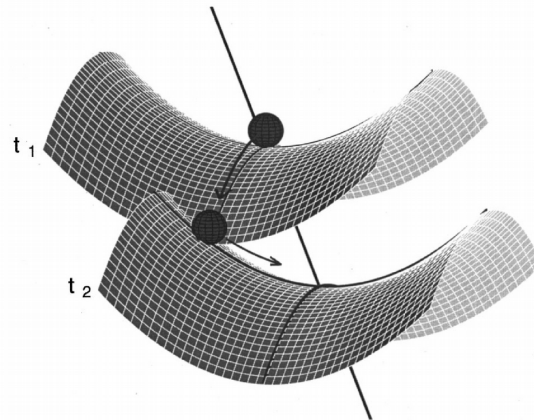
Dominios de Sincronización Simulaciones (acoplamiento uni-direccional)



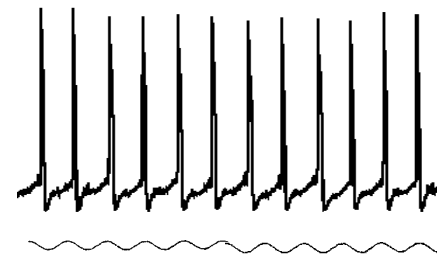
Control

Forzamiento periódico

Dinámica caótica + *Estímulo determinista* → Dinámica Periódica



Dinámica Autónoma (sin forzamiento)



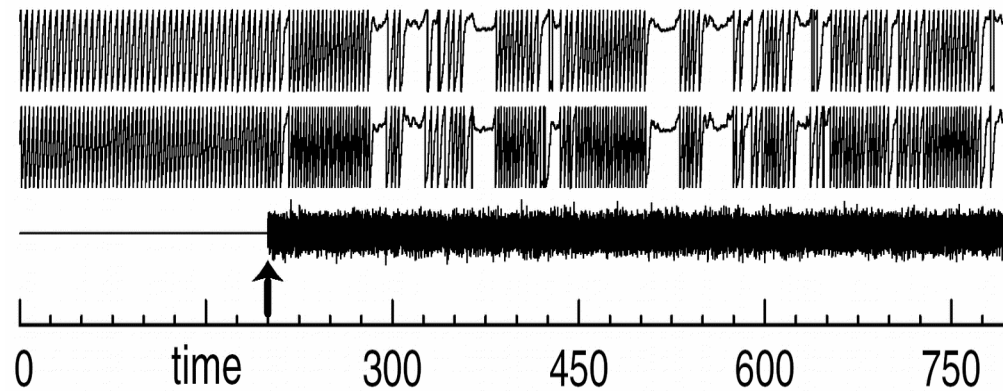
Dinámica Periódica (con forzamiento)

* W. L. Ditto and K. Showalter, *Chaos*, 7 (4), 1997.

Control

Forzamiento estocástico

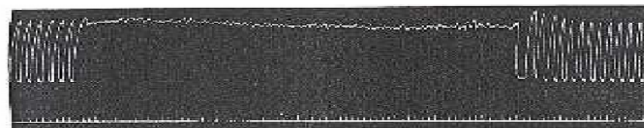
No sincronización + Estímulo estocástico \rightarrow sincronización



Sincronización de dinámicas

Efecto constructivo del ruido

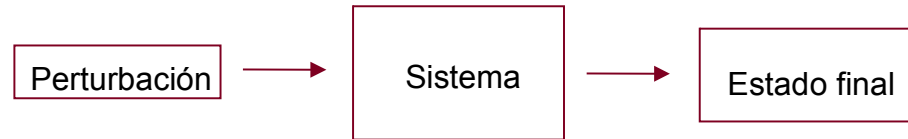
* *A. B. Neiman and D. F. Russell Phys. Rev. Lett. 88, 13, 2002*



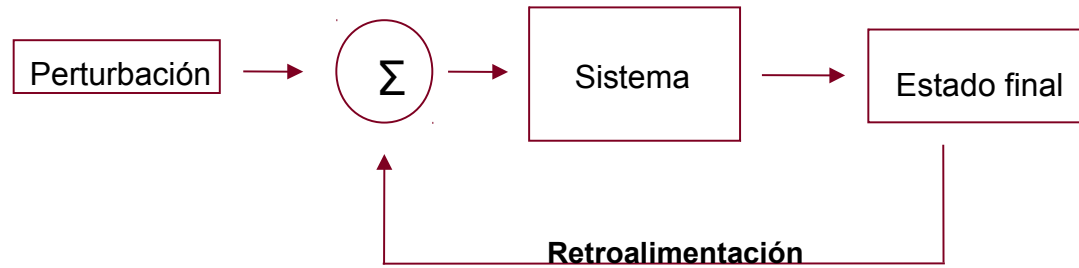
Mines 1913

Métodos de Control

Lazo abierto

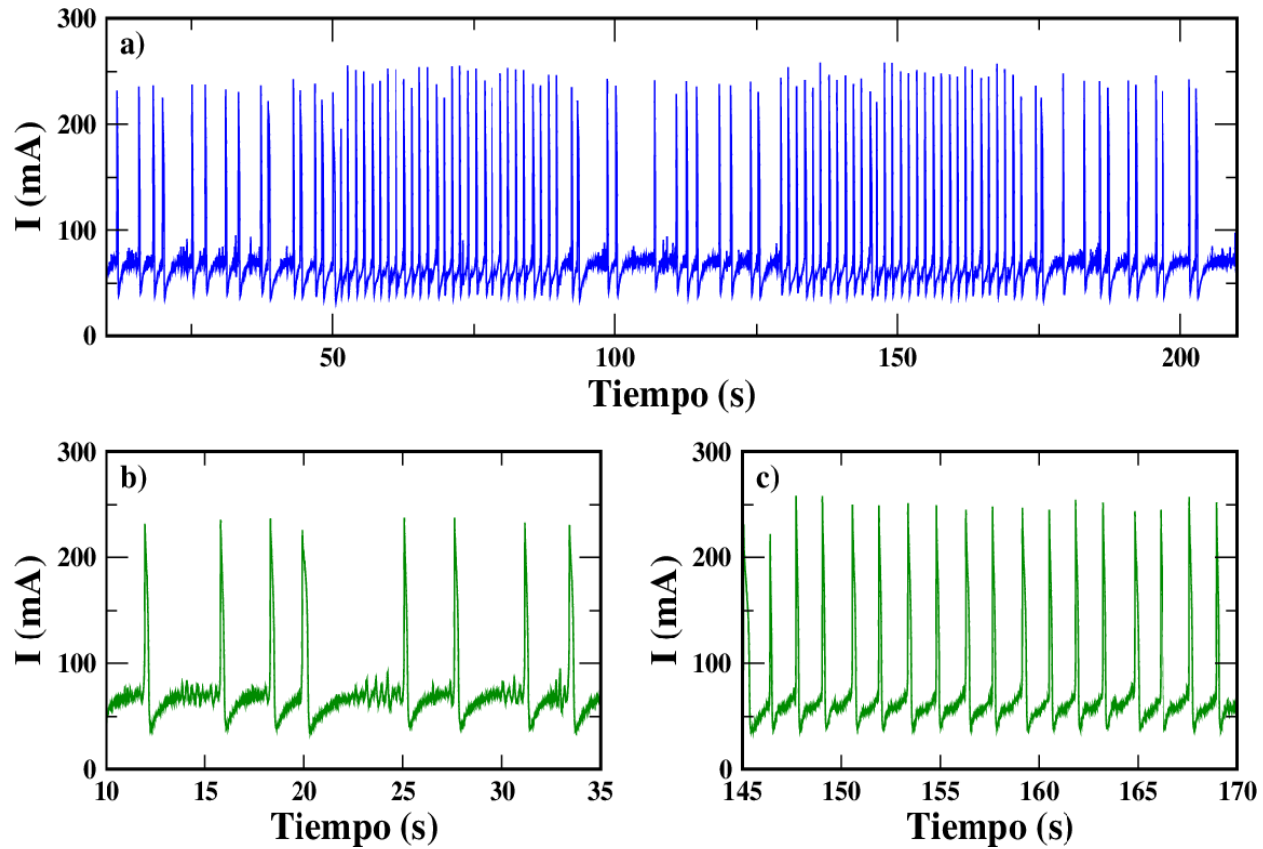


Lazo cerrado

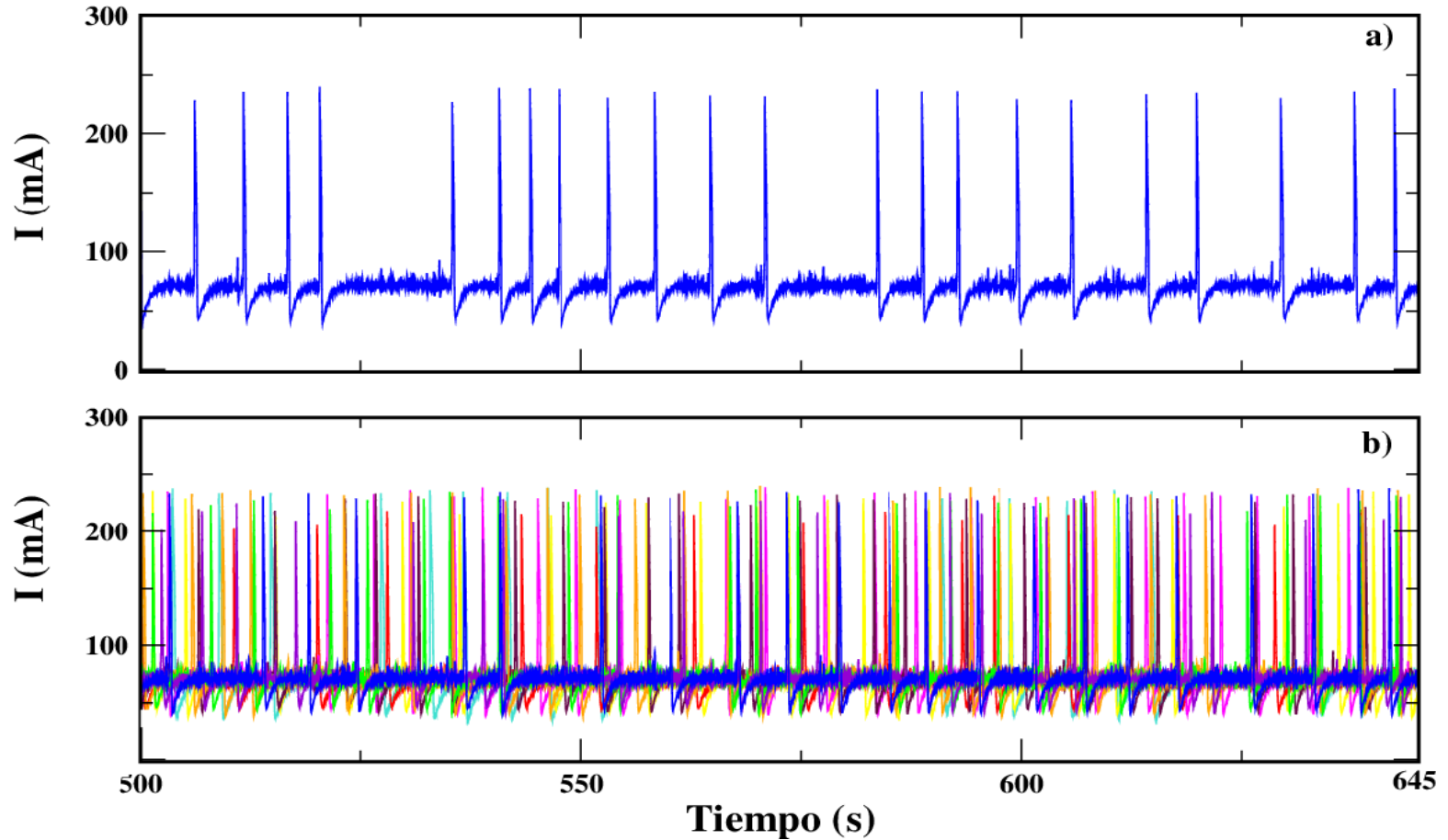


Forzamiento con estímulo periódico

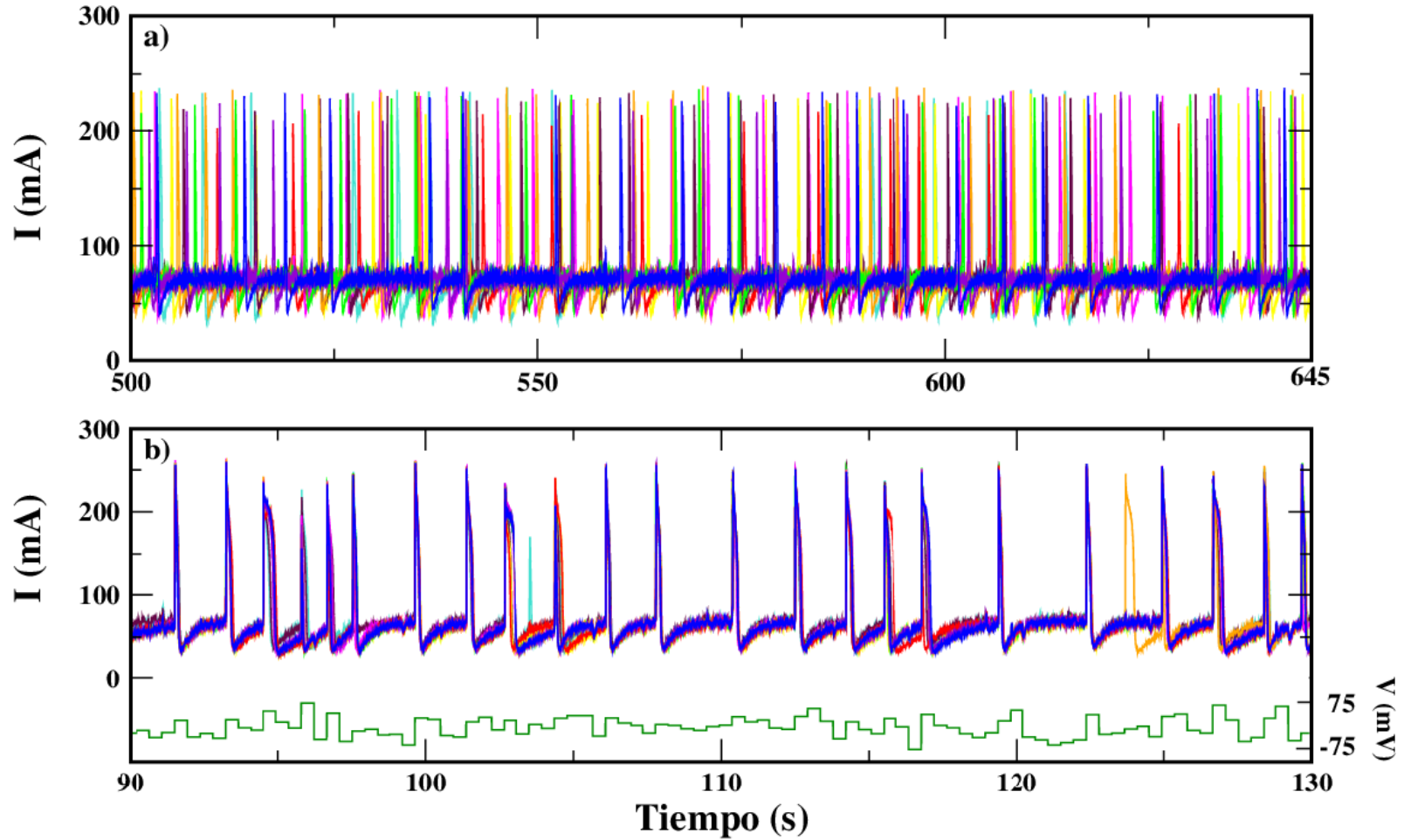
$$V(t) = V_0 + \gamma \sin(2\pi\nu t).$$



Forzamiento con estímulo Estocástico (Replicabilidad)



Replicabilidad



Colaboradores

Dr. Punit Parmananda IIT-BOMBAY

Dr. Marco Rivera Islas IICBA-UAEM

Dr. Joaquín Escalona IICBA-UAEM

Dr. Gustavo Martínez Mekler ICF-UNAM

Mtra. Aurora Hernández ICF-UNAM

Fuentes de imágenes utilizadas en esta presentación:

Dinámica caótica:

<http://www.vanderbilt.edu/AnS/psychology/cogsci/chaos/workshop/Sensitivity.html>

Nodo sinoatrial:

<http://saude-info.info/no-sinoatrial.html>

B-Z caja de petri:

<https://www.flickr.com/photos/nonlin/4297013382>

BZ oscilaciones:

<http://www.di.ens.fr/~granboul/enseignement/formes/reactionsoscillantes/belousov.html>

Mecanismo FKN:

<http://www.scholarpedia.org/article/Oregonator>

Liesegang espiral y Mines 1913:

<http://www.springer.com/la/book/9780387989921>

Acoplamiento, sillas y relojes:

https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51%2BHhMPbtkL._SX339_BO1,204,203,200_.jpg

Christian Huygens:

<https://juandelaciencia.files.wordpress.com/2015/04/genevieveveromier-huygens.jpg>

Luciérnagas:

<https://www.pinterest.com/nancytiedemann/lightning-bugs/>

Audiencia que aplaude:

<http://www.nuevaconciencia.com.mx/img/db/aplausos%20de%20pie.jpg>

¡Gracias por su atención!