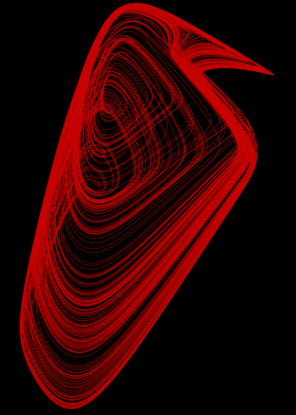
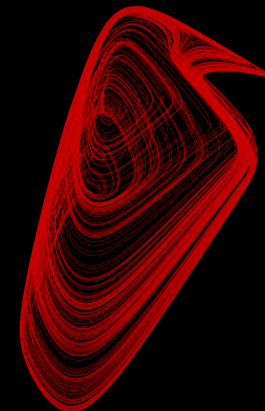


Play (k)



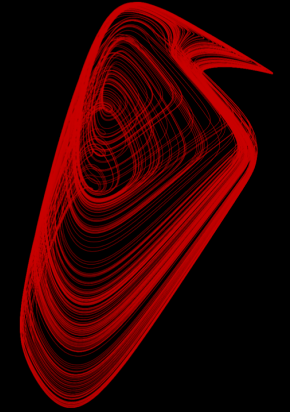


Todo en la biología  
Se inscribe en un marco  
evolutivo



Este experimento refuta la hipótesis de que el seguir un ritmo se asocia al aprendizaje vocal... o sugiere buscarlo en esta especie

“Ritmo” refiere a los patrones de tiempos y énfasis en la comunicación acústica



Percepción de una periodicidad, pulso

Percepción de un patrón de acentos en algunos pulsos, métrica

El comportamiento rítmico incluye diversos componentes:

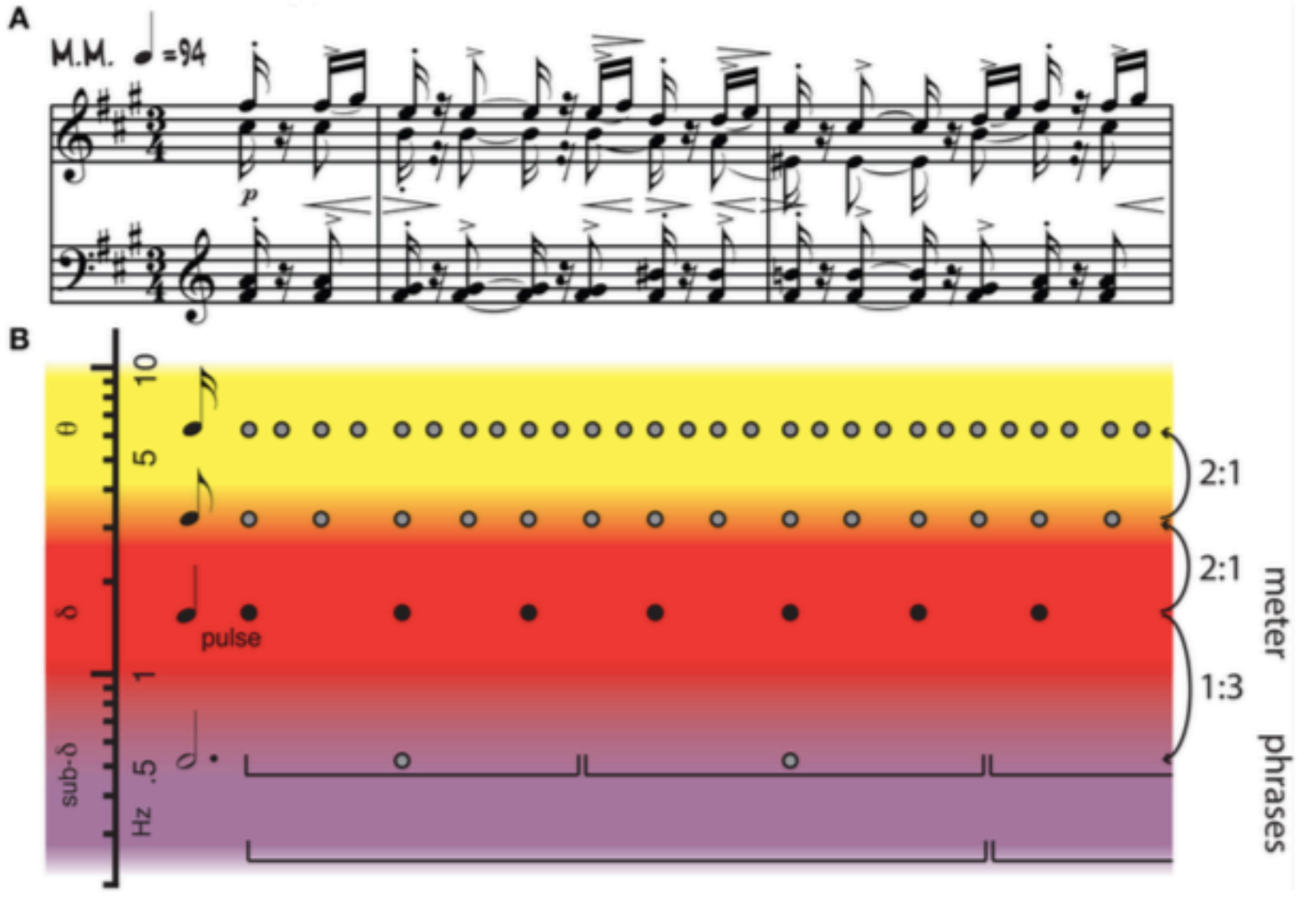
1. Periodicidad motora
2. Extracción del pulso
3. Enganche audiomotor
4. Reconocimiento de la métrica

## Existen espontáneamente oscilaciones en el cerebro



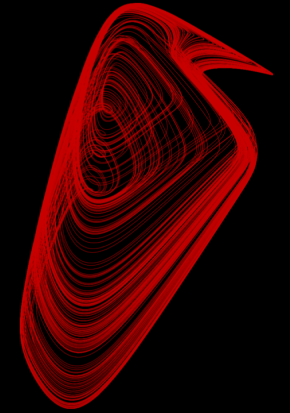
Bandas de actividad talamo-cortical

Ya sea via Local field potentials, electroencefalogramas, etc., uno puede observar fluctuaciones en el nivel medio de actividad neuronal, en el neocortex y el talamo. Estas oscilaciones tienen un espectro  $1/f$ , con picos **entre 1 y 4 Hz (delta)**, entre 4 y 8 Hz (theta), entre 13 y 30 (beta), y entre 30 y 70 (gamma)

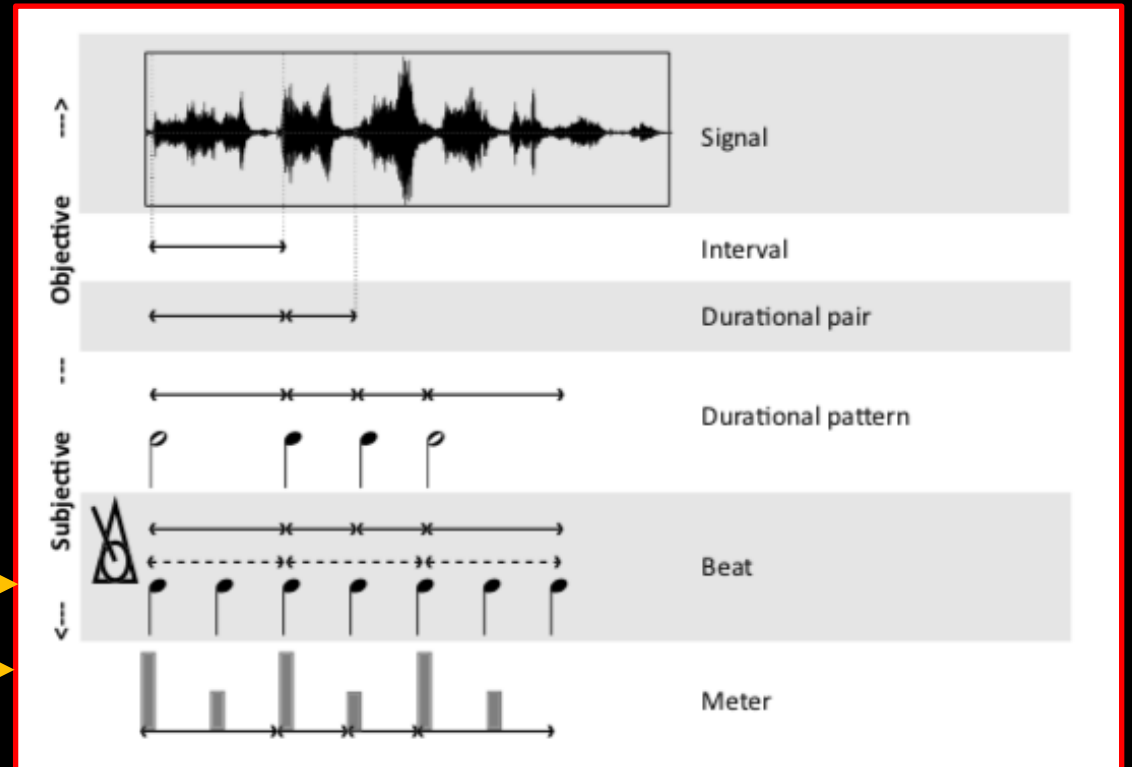


Bandas de actividad talamo-cortical

El comportamiento ritmico incluye diversos componentes:

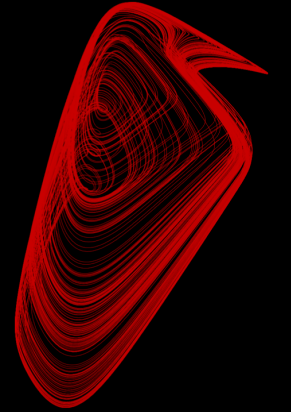


1. Extracción del pulso
2. Reconocimiento de la métrica

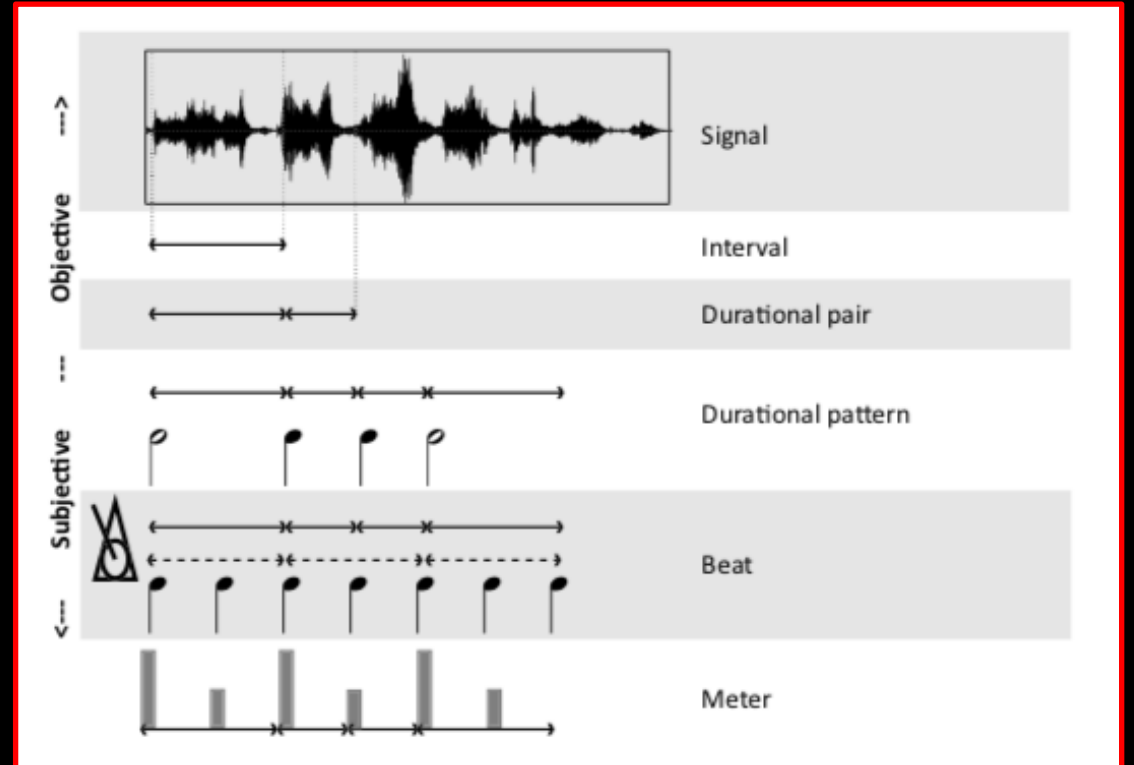




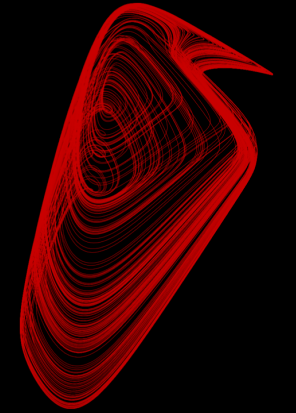
El comportamiento ritmico incluye diversos componentes:



1. (pulso) Escala temporal monótona, 0.5-4 Hz
2. (metrica) Escala temporal mas lenta, De ciclos acentuados, <2Hz



El comportamiento ritmico incluye diversos componentes:

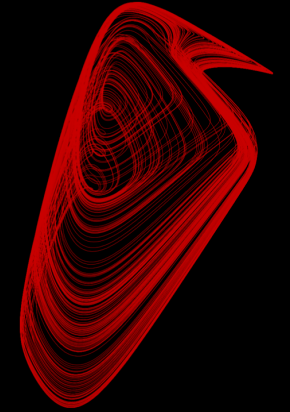


Pero ninguno de estos dos puede comprenderse si entender los procesos neuronales asociados a la generación de ritmos en un sistema nervioso

Vamos a explorar los sustratos neuronales y dinámicas capaces de dar cuenta del pulso y la métrica

La estructura básica de generación rítmica en un sistema nervioso es el oscilador neuronal

El comportamiento ritmico incluye diversos componentes:



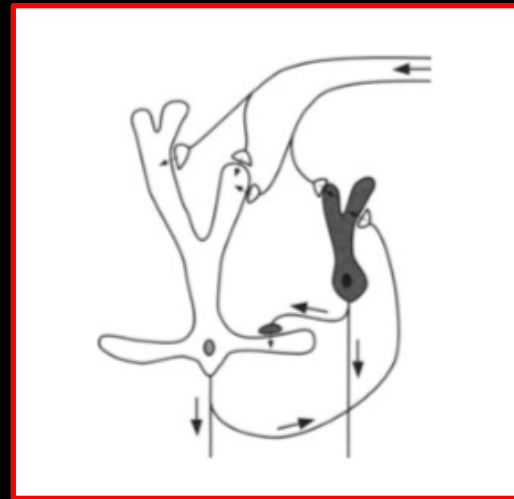
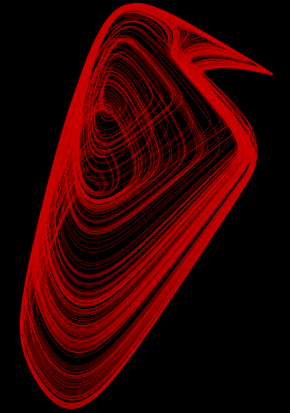
Pero ninguno de estos dos puede comprenderse si entender los procesos neuronales asociados a la generación de ritmos en un Sistema nervioso

Vamos a explorar los sustratos neuronales y dinámicas capaces de dar cuenta del pulso y la métrica

La estructura básica de generación rítmica en un sistema nervioso es el oscilador neuronal

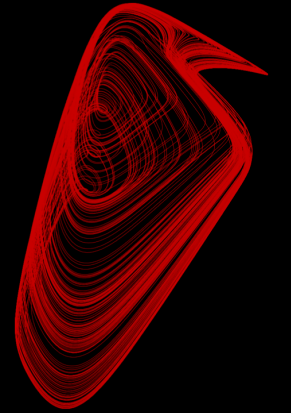
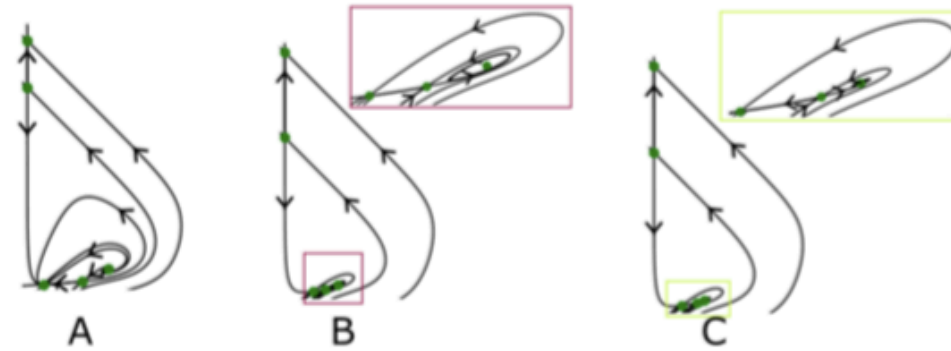
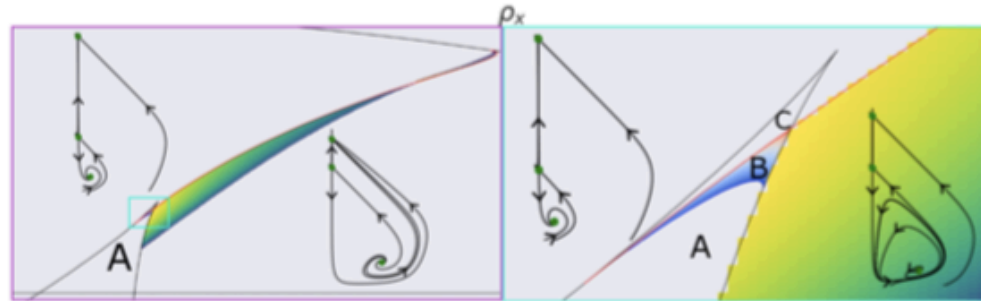
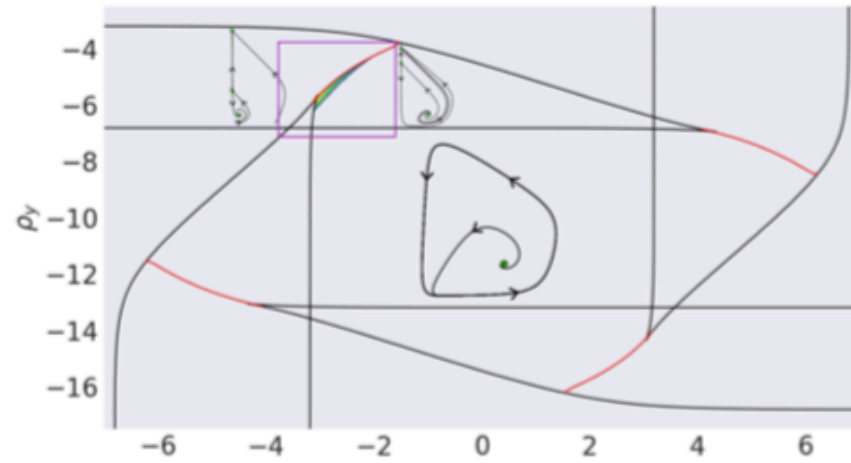
Exploremos como **estos osciladores** se enganchan con los ritmos acústicos

Un oscilador neuronal esta constituido por un conjunto de neuronas excitatorias, y otro de neuronas inhibitorias.

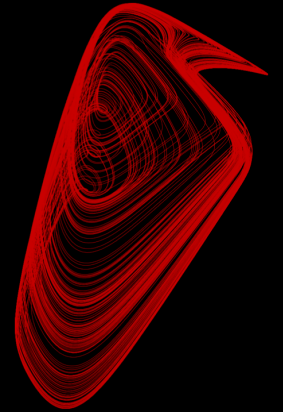
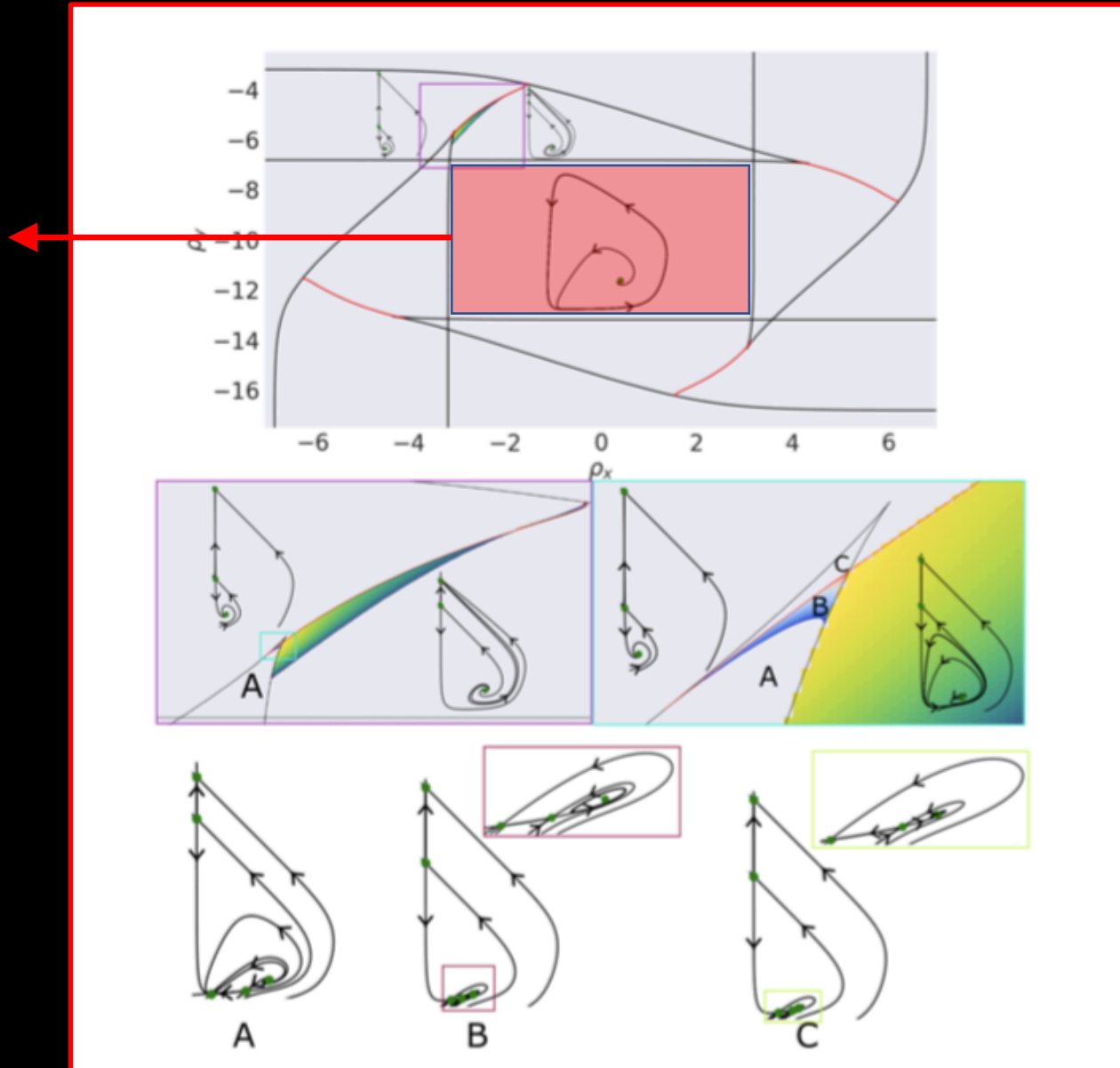


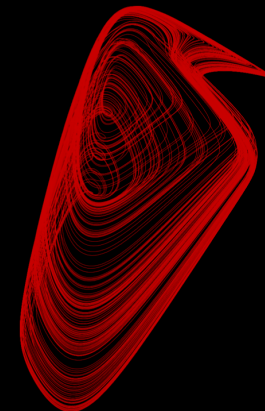
Vamos a denotar por  $x_i$  a la actividad media de la poblacion de excitatorias,  
Y por  $y_i$  a una poblacion de inhibitorias acopladas a las primeras.





Zona del espacio de parámetros con oscilaciones





Ahora bien: ya sea el proceso cognitivo de reconstruir un pulso, como el de exhibirlo mediante la coordinacion de una actividad motora con una señal auditiva, muestra que es posible, al menos en las especies que dan cuenta de detectar un pulso, de un enganche entre las oscilaciones propias, y las de un estímulo auditivo.

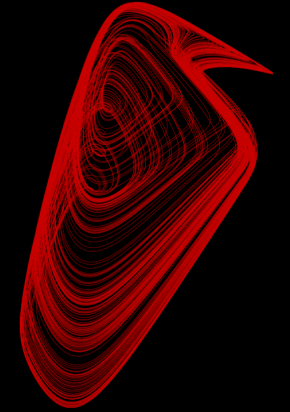
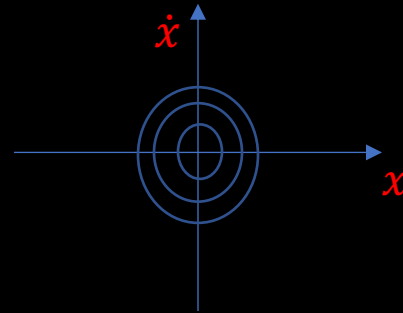
Y para eso, tenemos que revisar un poco de dinamica no lineal, y como reaccionan los osciladores no lineales ante forzantes.



Durante la carrera vemos en innumerables circunstancias osciladores lineales:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

(para cada  $x_0, \dot{x}_0$  hay  
Una solución periódica que  
Pasa por el)



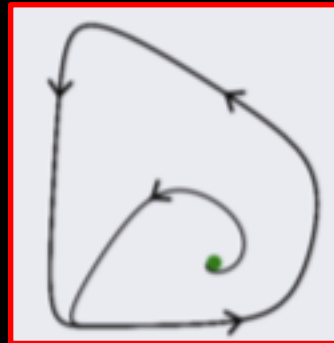
Y si le sumamos disipación y un forzado periódico

$$\ddot{x} + \mu \dot{x} + \omega_0^2 x = A \cos(\omega t)$$

{ *siempre hay solución  $x = A \cos(\omega t + \varphi)$   
pero  $A = A(\omega, \mu)$ ,  $\varphi = \varphi(\omega, \mu)$   
con un máximo (resonancia)*

La situación es cualitativamente distinta en sistemas no lineales: uno puede enganchar a un sistema para que oscile a la frecuencia de un forzado, si esta esta en una vecindad de la frecuencia natural del sistema. Mas aun, un sistema puede engancharse en subarmonicos del forzante. Esta jerarquia de enganches esta en el corazon del problema perceptual del ritmo

Sea entonces un ciclo limite, solucion de un sistema dinamico



$$\mu_i \frac{dx_i}{dt} = -x_i + S(\rho_x + ax_i + by_i)$$

$$\mu_i \frac{dy_i}{dt} = -y_i + S(\rho_y + cx_i + dy_i)$$

# Que sucede si fuerza al sistema?

$$\mu_i \frac{dx_i}{dt} = -x_i + S(\rho_x + ax_i + by_i + A \cos(\omega t))$$

$$\mu_i \frac{dy_i}{dt} = -y_i + S(\rho_y + cx_i + dy_i)$$

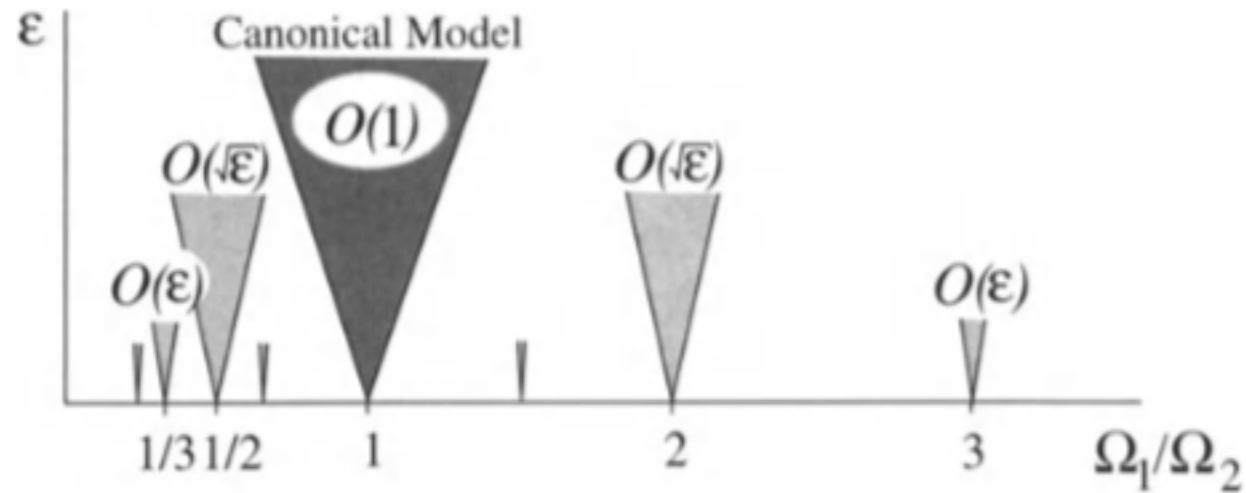
Hay dos parametros,  $A$  y  $\omega$   
(o podemos elegir  $A$  y  $T \equiv 2\pi/\omega$ )

$$\frac{dx_i}{dt} = (-x_i + S(\rho_x + ax_i + by_i + \varepsilon \cos(\Omega_2)))$$

$$\frac{dy_i}{dt} = \mu_i(-y_i + S(\rho_y + cx_i + dy_i))$$

$$\rho_x = 3.6, \rho_y = -10$$

$$\mu = 150$$



Vamos a discutir esto un poco  
mas detalladamente, porque es generico  
para osciladores no lineales forzados...

$$\ddot{x} + \delta \dot{x} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t)$$

con

$$\alpha = -1$$

$$\beta = 1$$

$$\delta = 0.1$$

$$\gamma = 0.35$$

$$\omega = 1.6$$

$$\ddot{x} + \delta \dot{x} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t)$$

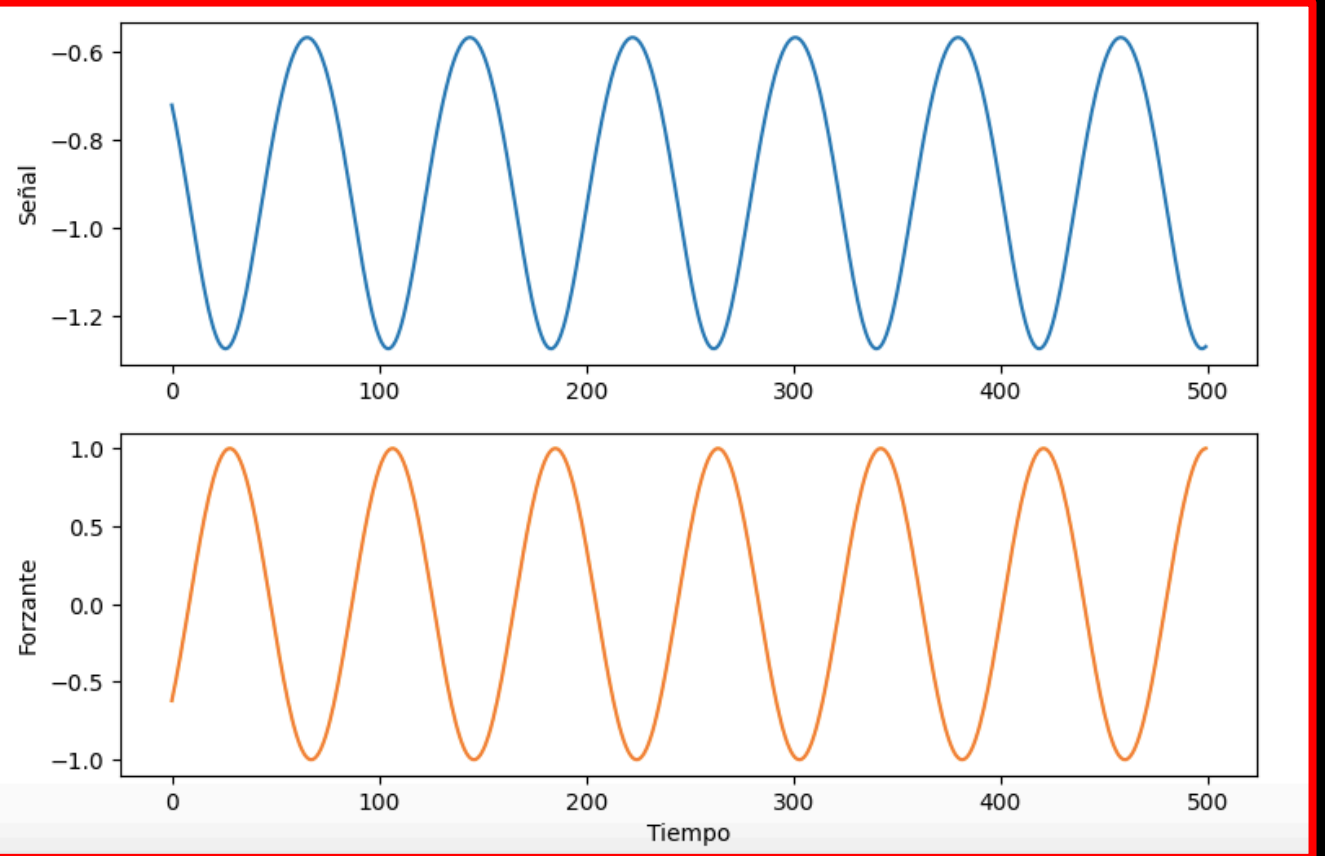
con

$$\alpha = -1$$

$$\beta = 1$$

$$\delta = 0.1$$

$$\gamma = 0.35$$



$$\omega = 1.6$$

$$\ddot{x} + \delta y + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t)$$

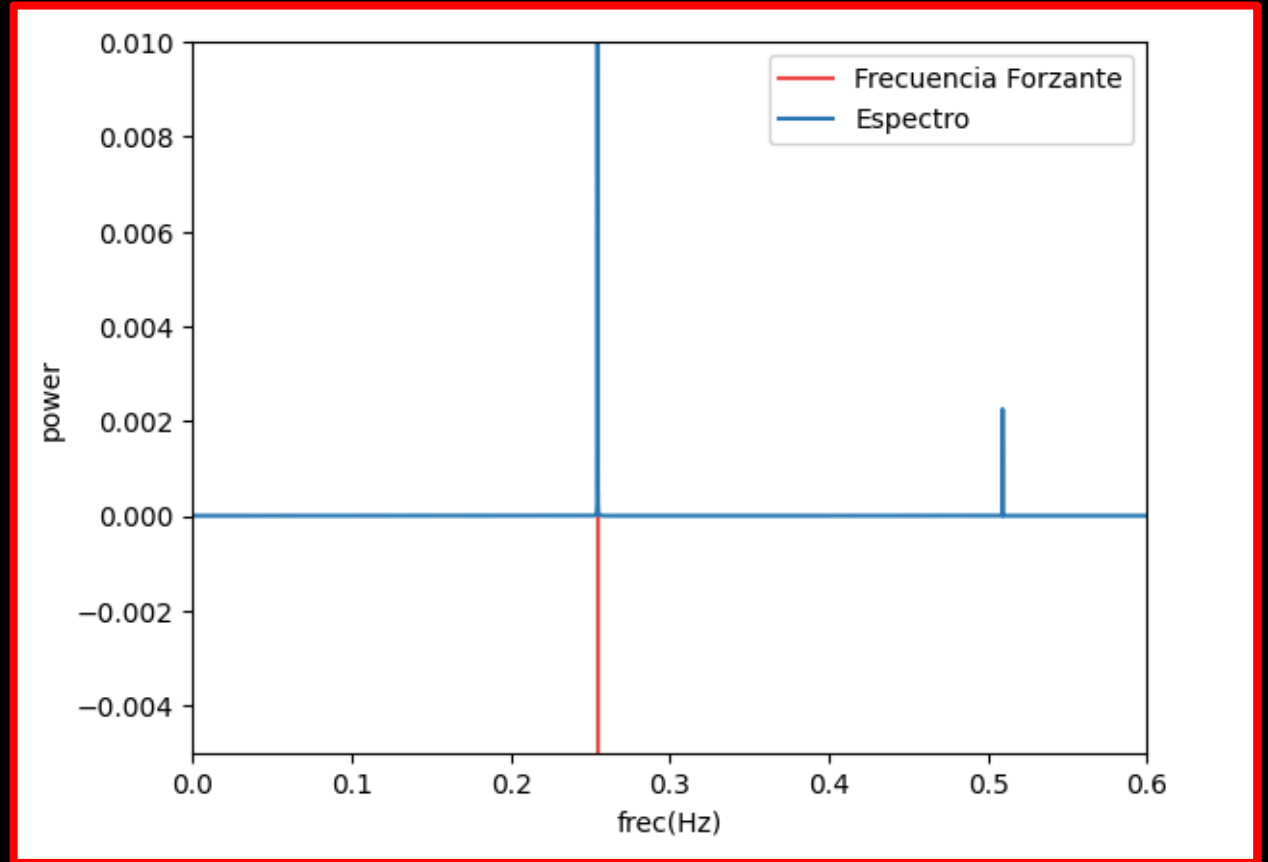
con

$$\alpha = -1$$

$$\beta = 1$$

$$\delta = 0.1$$

$$\gamma = 0.35$$



$$\omega = 1.35$$

$$\ddot{x} + \delta \dot{x} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t)$$

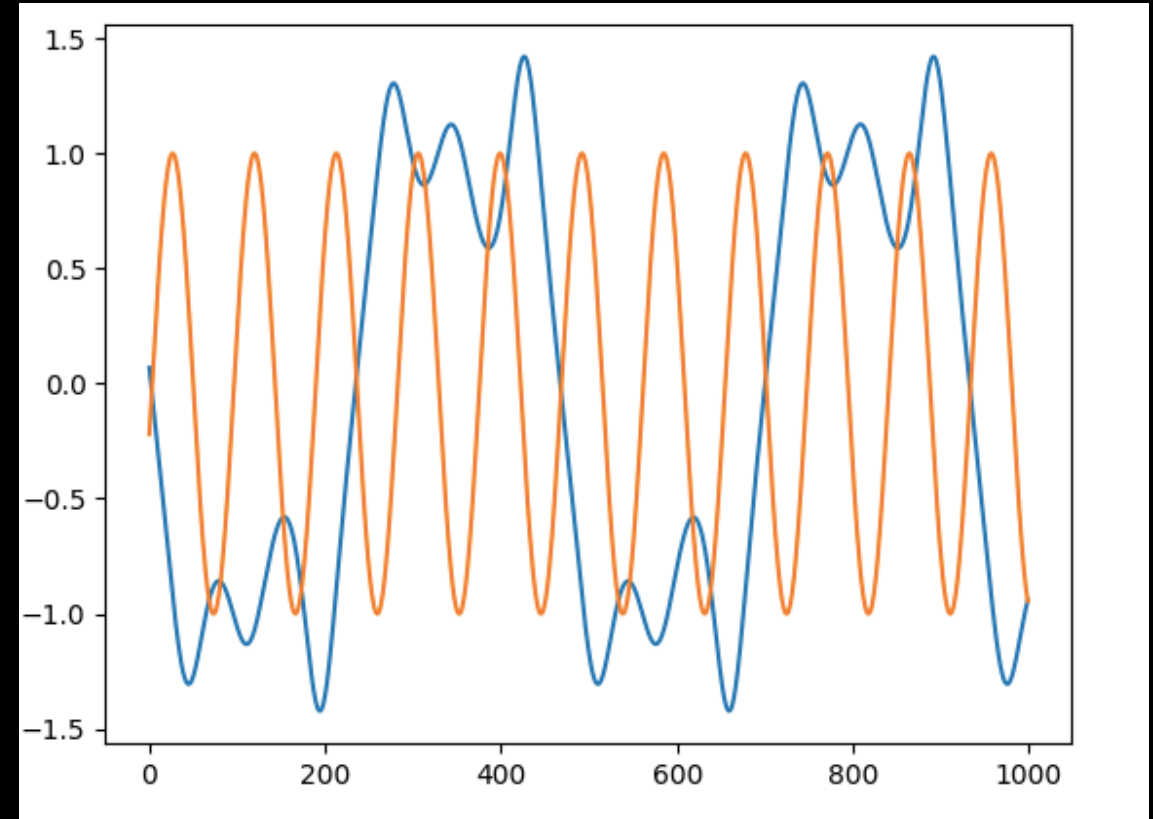
con

$$\alpha = -1$$

$$\beta = 1$$

$$\delta = 0.1$$

$$\gamma = 0.35$$



Hay un enganche, pero a un numero entero de oscilaciones del forzante



$$\omega = 1.35$$

$$\ddot{x} + \delta \dot{x} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t)$$

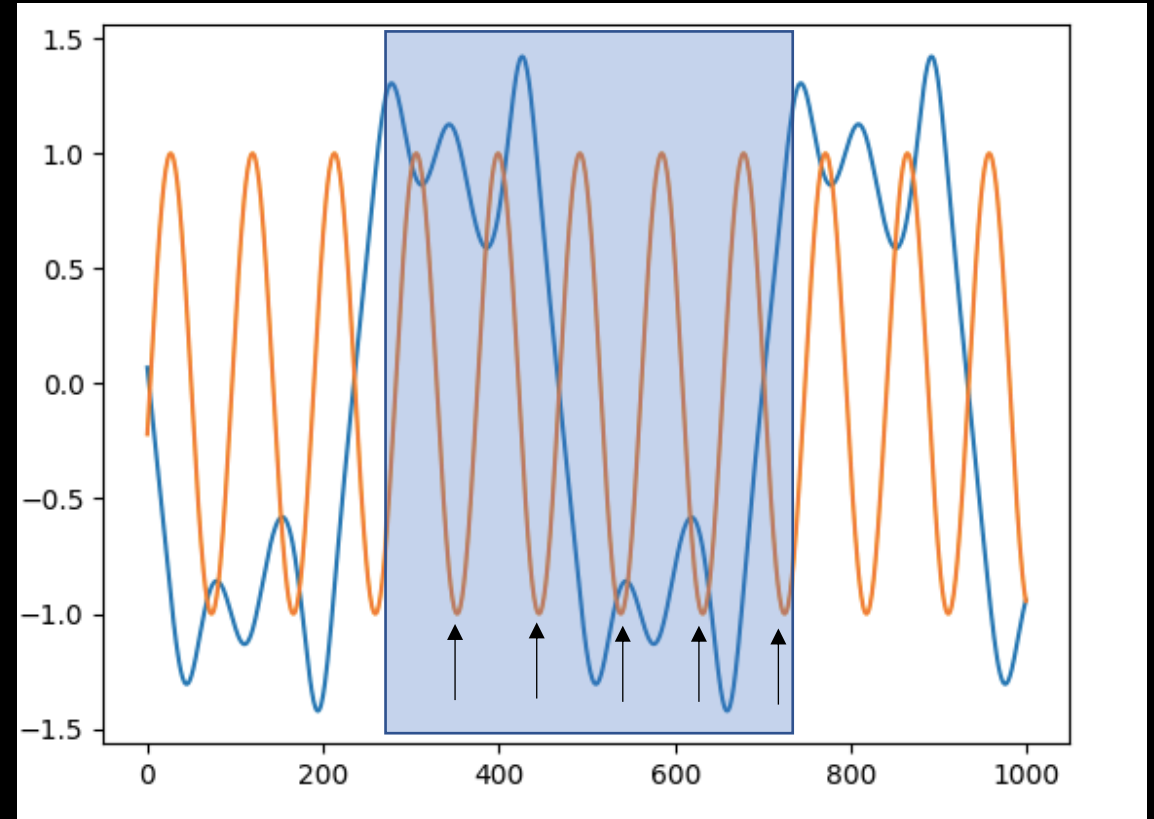
con

$$\alpha = -1$$

$$\beta = 1$$

$$\delta = 0.1$$

$$\gamma = 0.35$$



Hay un enganche, pero a un numero entero de oscilaciones del forzante

$$\omega = 1.35$$

$$\ddot{x} + \delta \dot{x} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t)$$

con

$$\alpha = -1$$

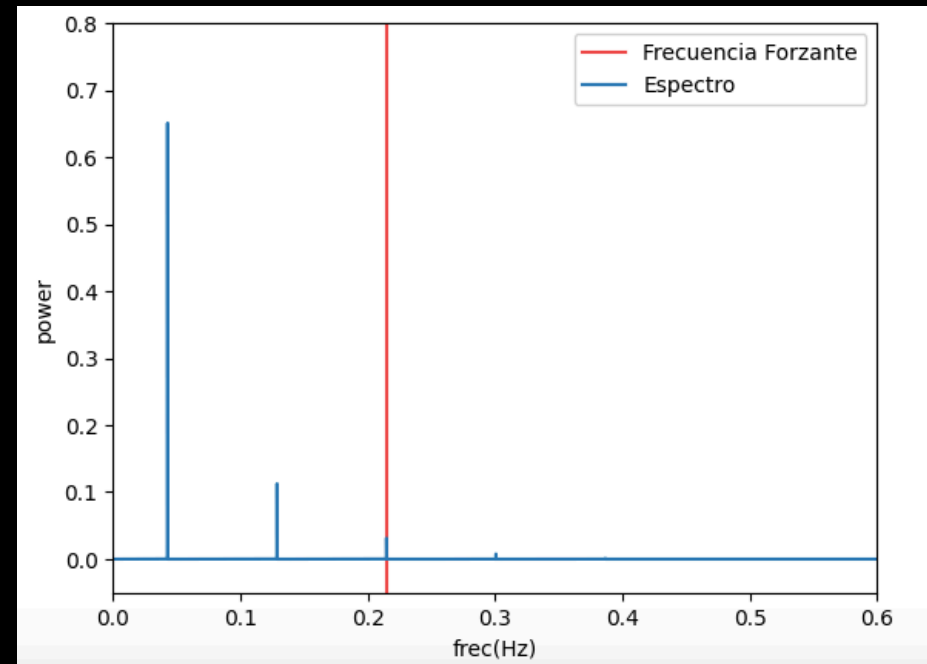
$$\beta = 1$$

$$\delta = 0.1$$

$$\gamma = 0.35$$

0.0429

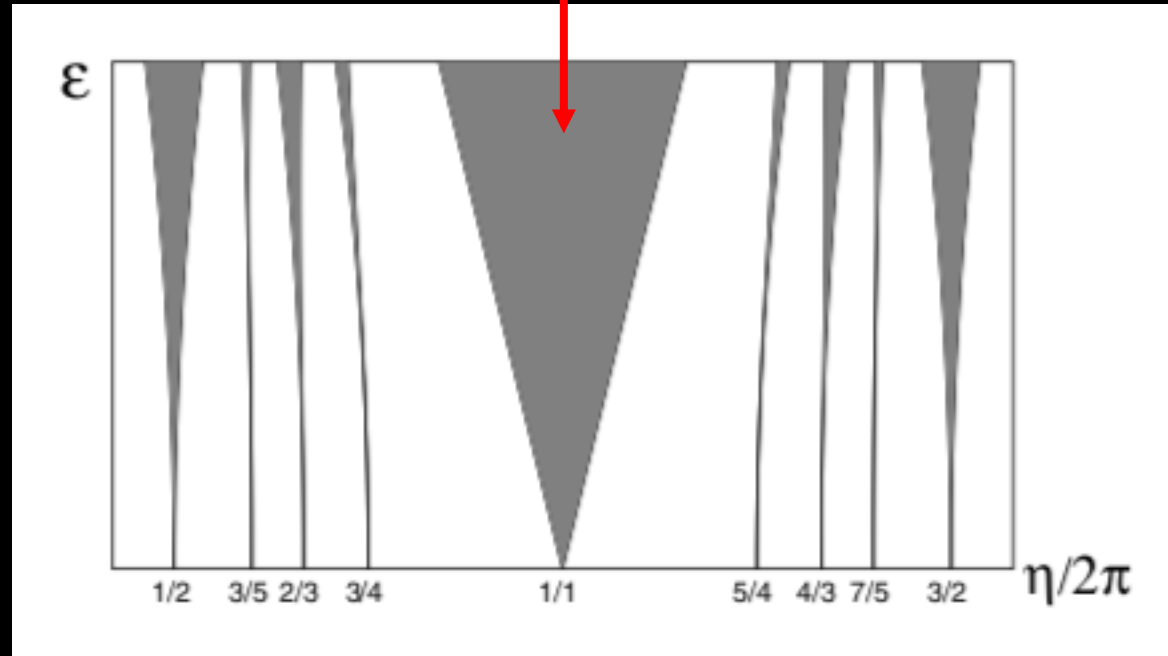
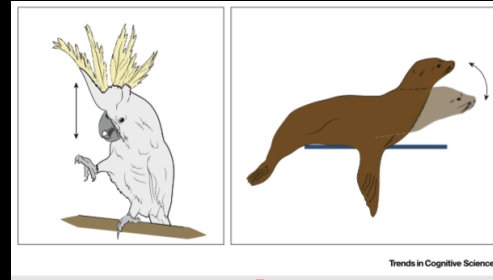
0.21

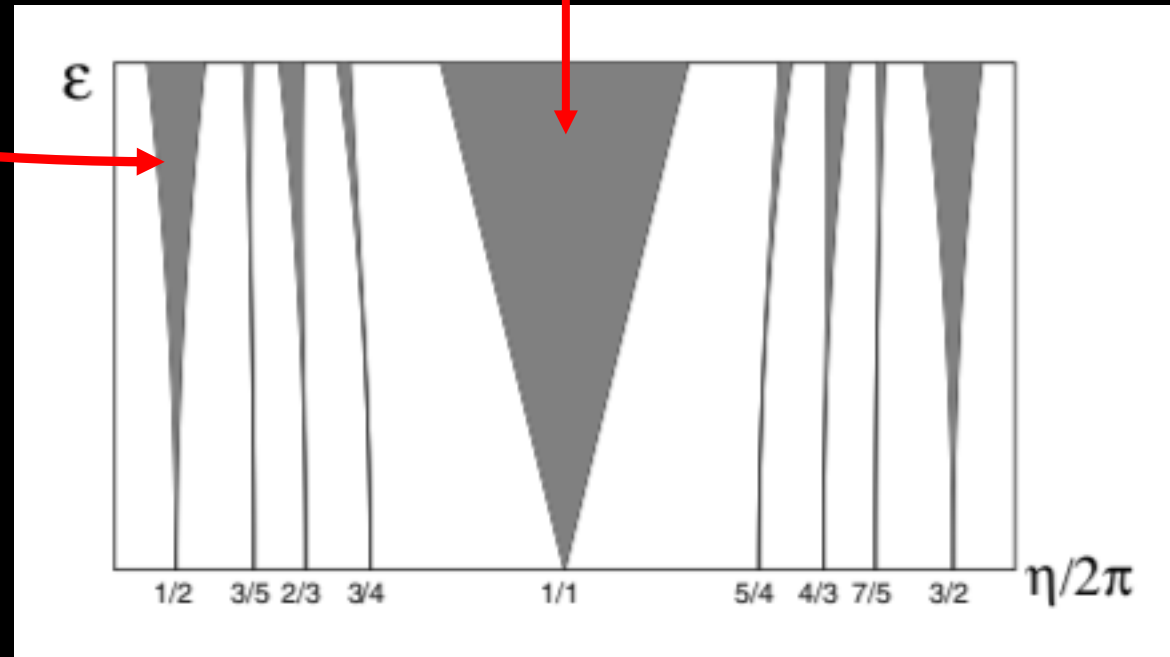
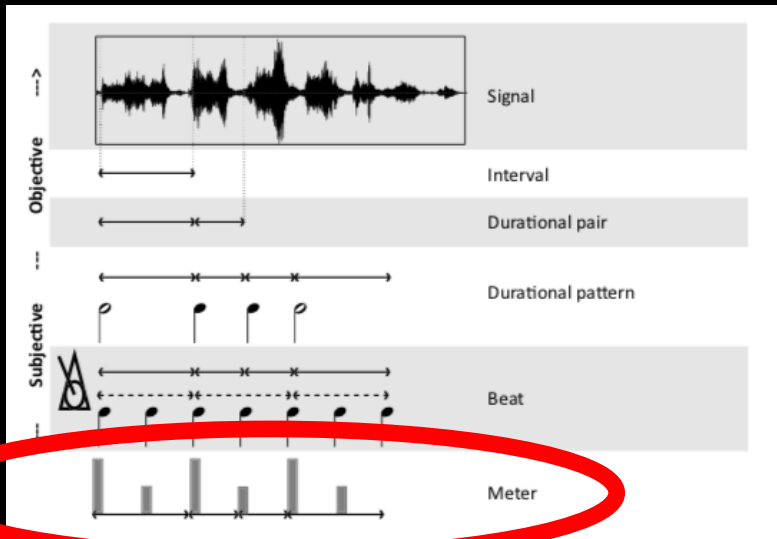


$$\text{Frec Forzante} / \text{Frec Sistema} = 5.000432129589054$$

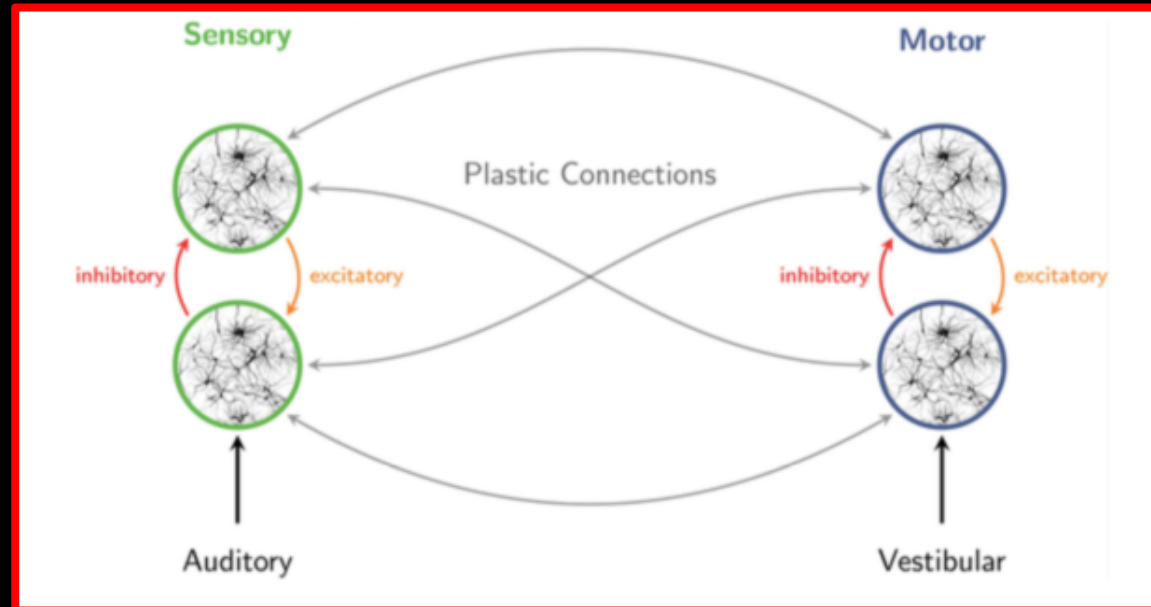
Hay un enganche, pero a un numero entero de oscilaciones del forzante

En este caso, periodo 5

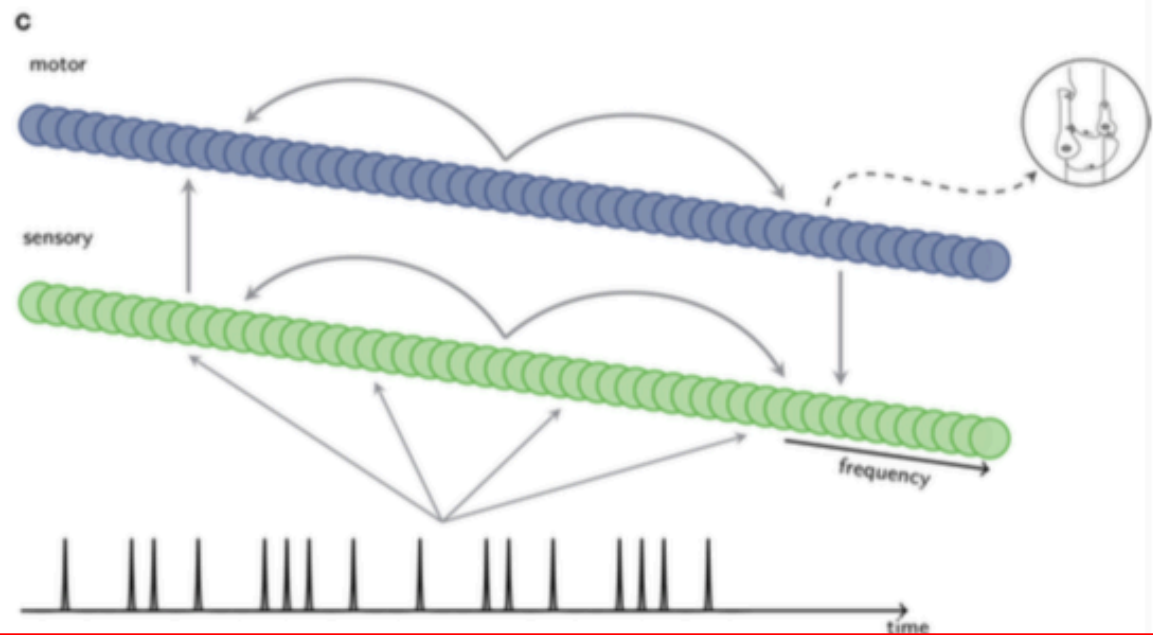
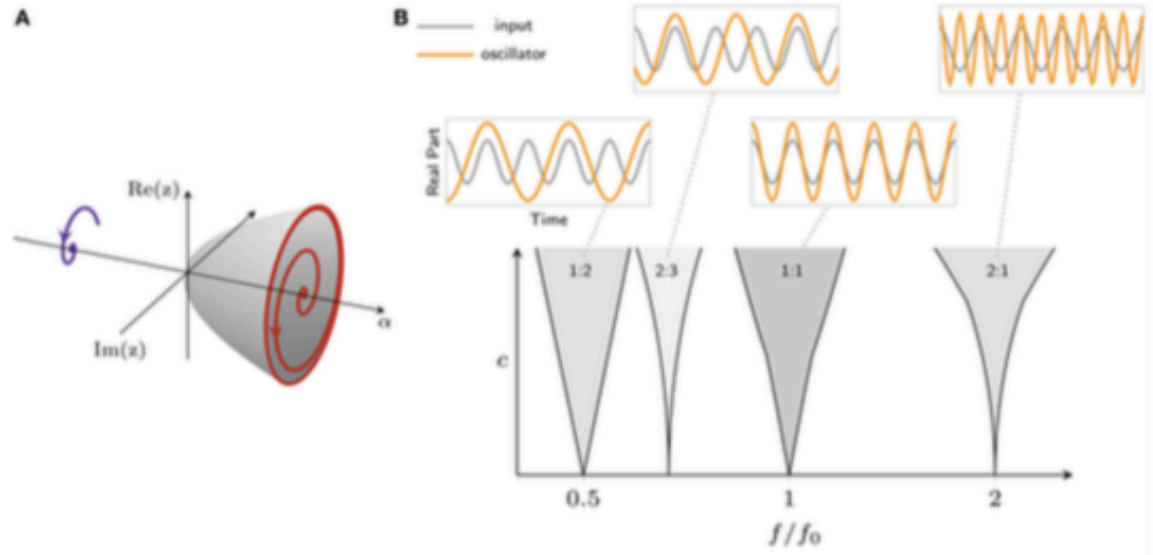




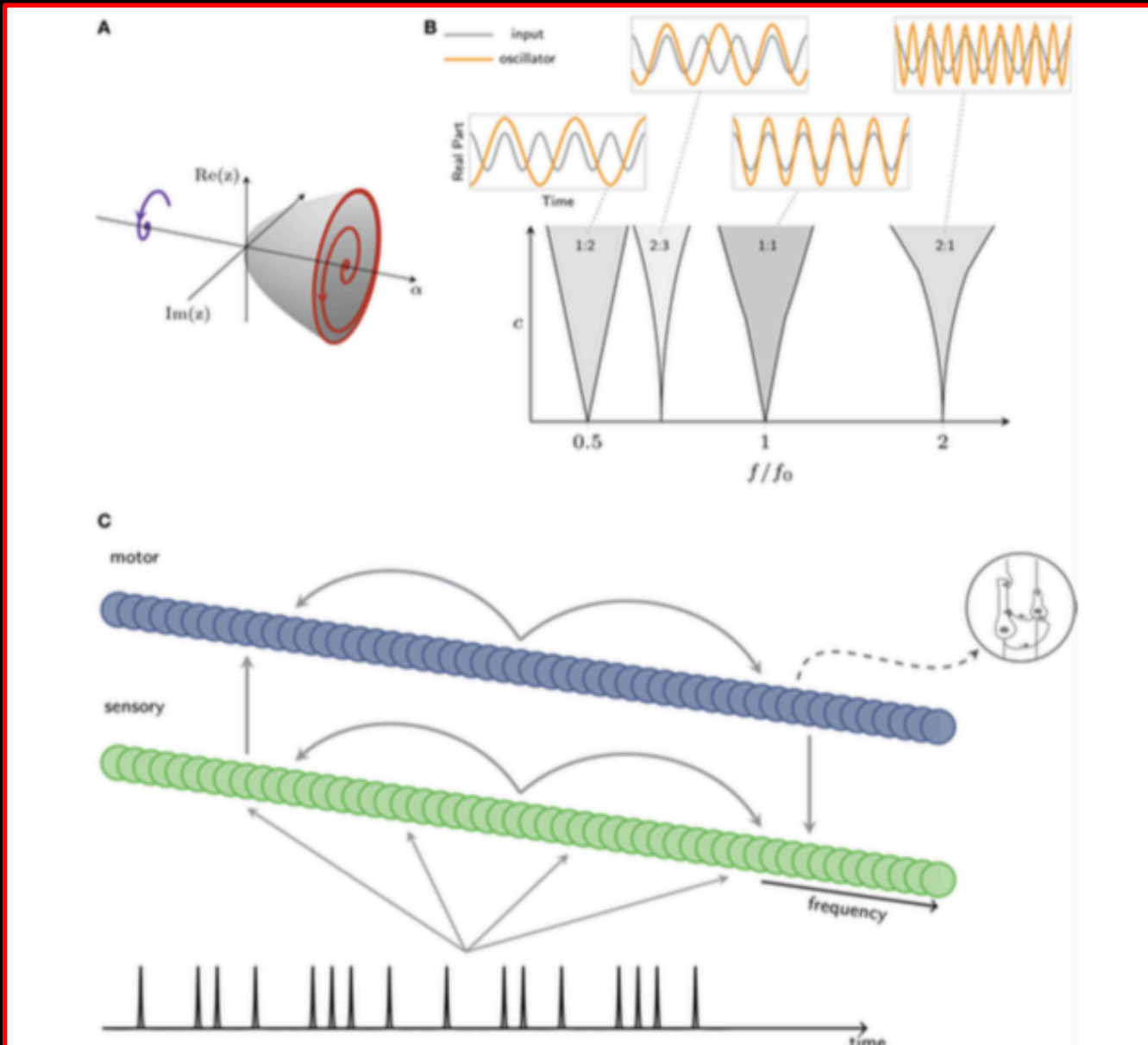
La visualización de los patrones que se activan, en áreas específicas, da sustento a la teoría de que la percepción de la métrica involucra al sistema motor.



El correlato neuronal de la percepción del pulso y la métrica es el enganche de los ritmos corticales a los forzantes acústicos, siendo el mecanismo dinámico detrás de las subdivisiones de tiempos en enteros la capacidad de resonar con subarmónicos, en amplias bandas de frecuencias temporales de los estímulos.



La oscilacion en gris corresponde al forzante, y la oscilacion naranja, al oscilador que esta siendo forzado.



La oscilacion en gris corresponde al forzante, y la oscilacion naranja, al oscilador que esta siendo forzado.

Hay una frecuencia de forzado, y los osciladores de la segunda capa tienen parametros diferentes, de modo que algunos se enganchan 1:1 al forzante, otros 1:2, etc.

Dependiendo a cuales dejamos supra y subumbral, con  $\alpha$ , fijamos a que subarmónico nos enganchamos



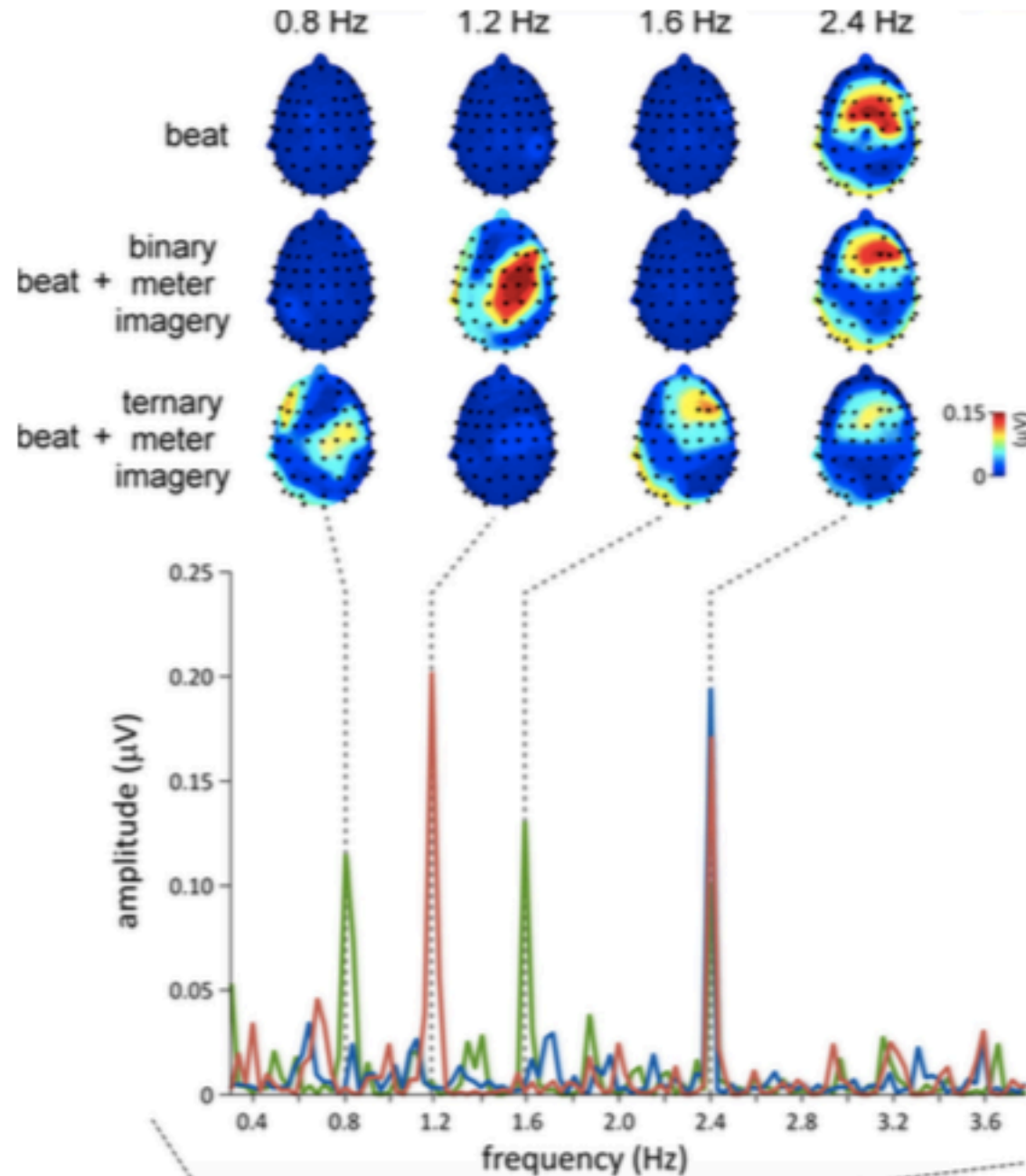
El correlato neuronal de la percepción del pulso y la métrica es el enganche de los ritmos corticales a los forzantes acústicos, siendo el mecanismo dinámico detrás de las subdivisiones de tiempos en enteros la capacidad de resonar con subarmónicos, en amplias bandas de frecuencias temporales de los estímulos.

Un experimento directo que pone a prueba la teoría consiste en inducir la percepción de un pulso a partir de un estímulo en el cual ese tiempo no está presente.

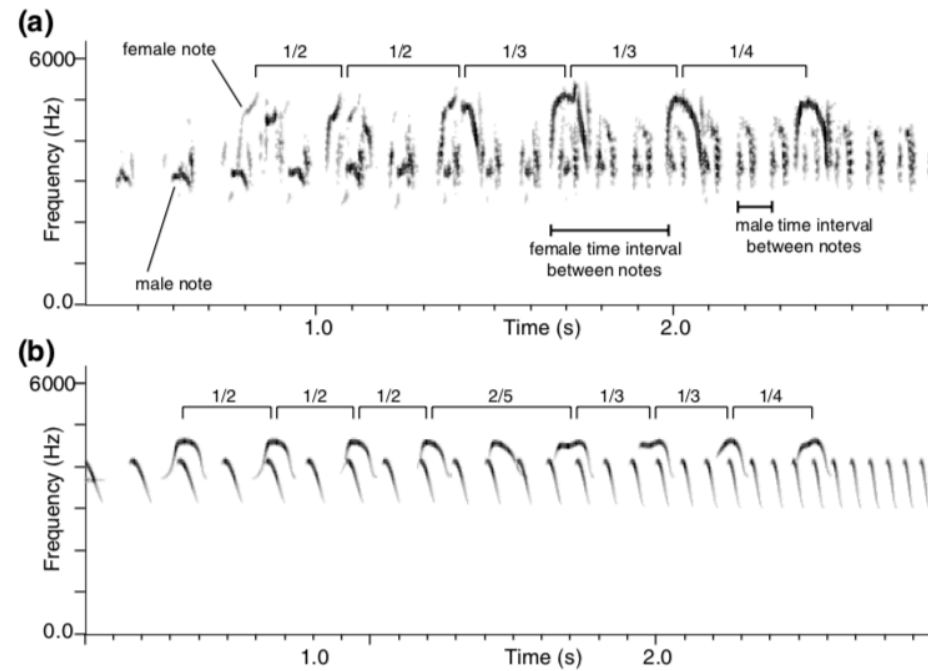
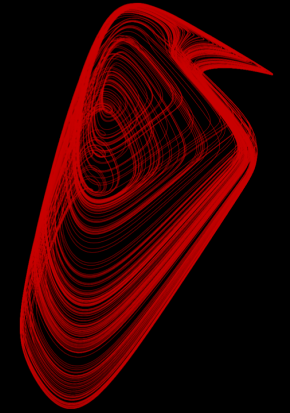
Electroencefalogramas de  
Sujetos escuchando un  
Pulso, e imaginando

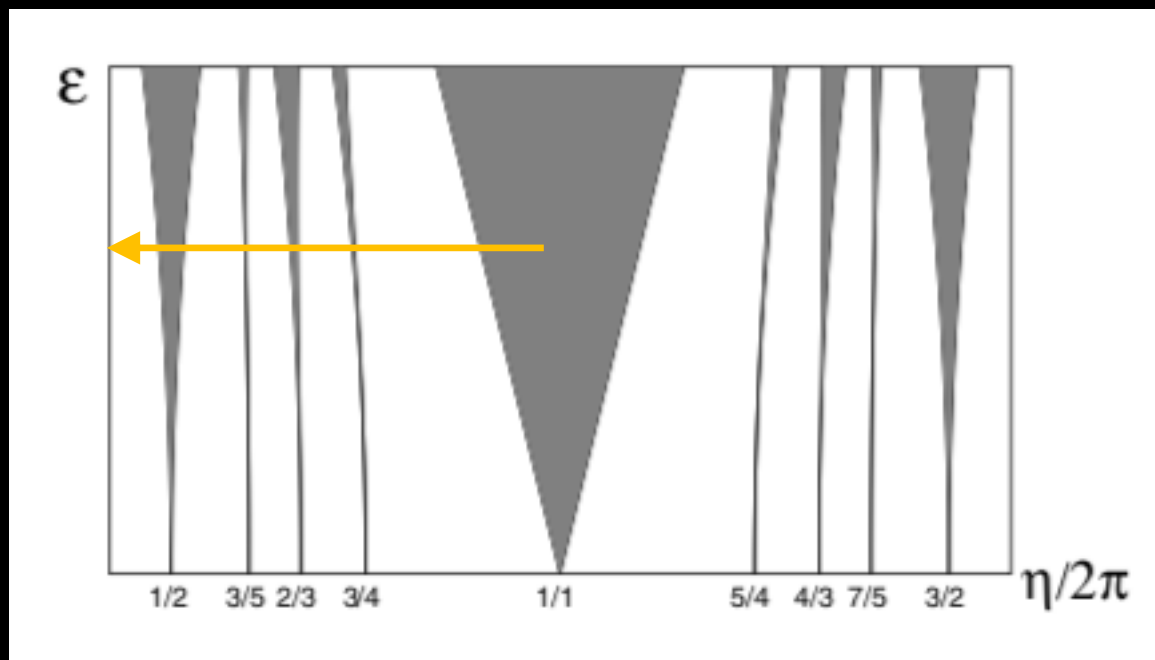
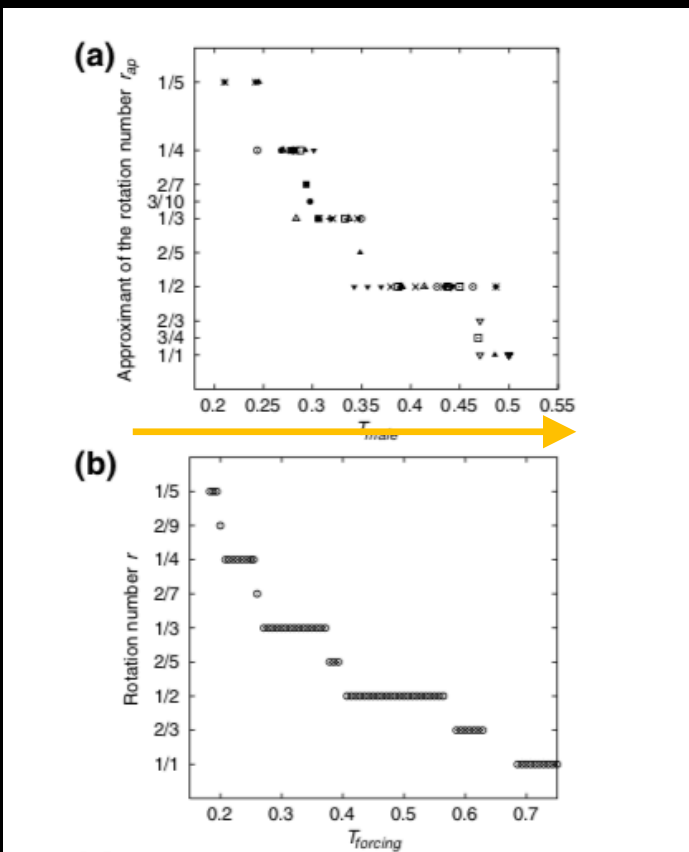
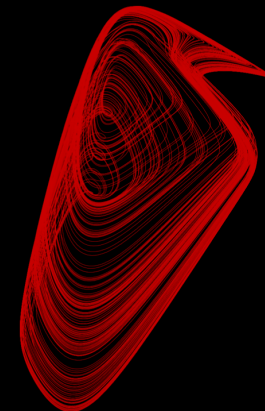
1. Marcha

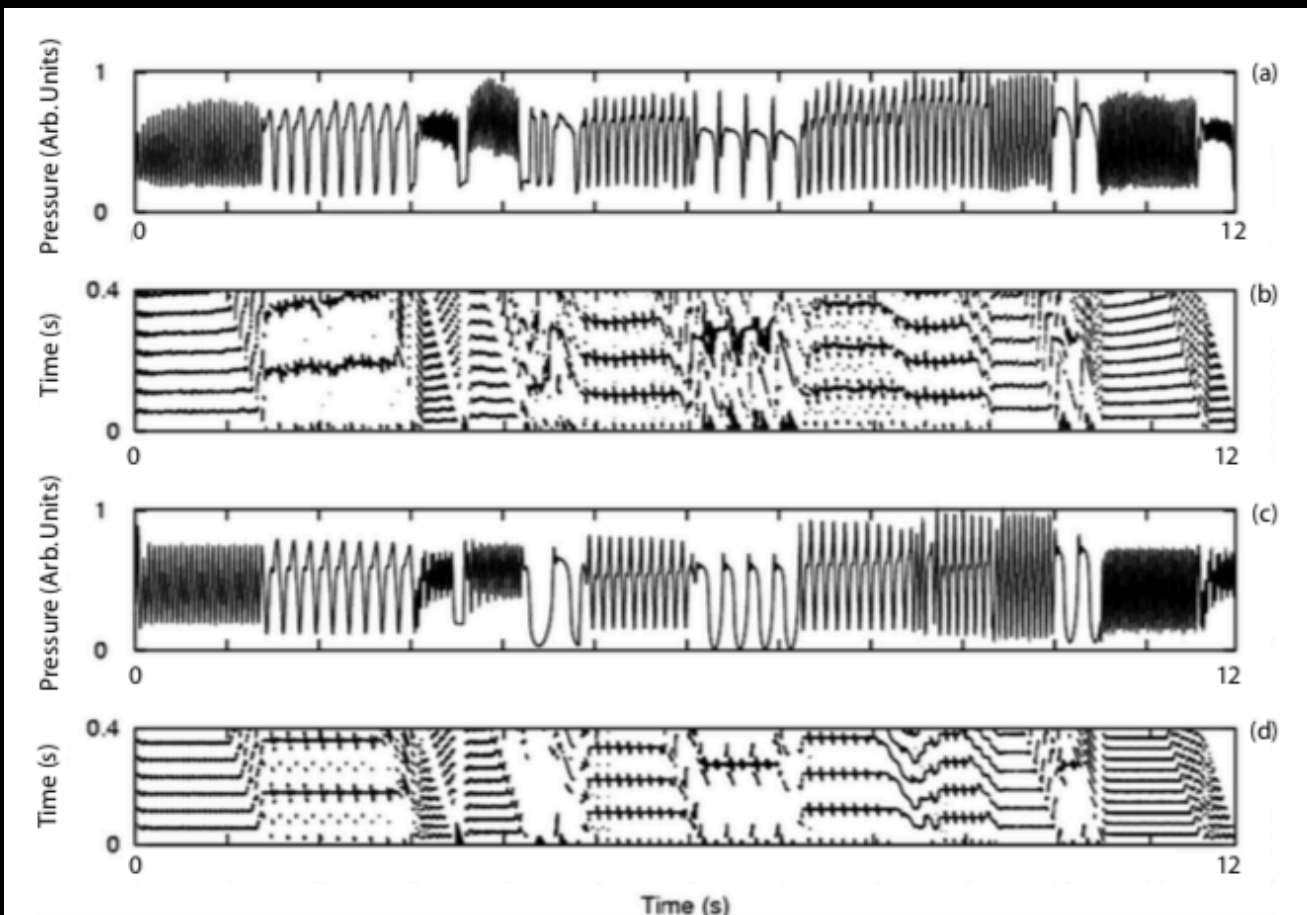
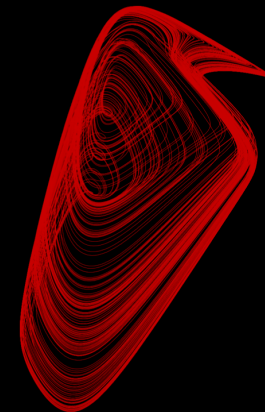
1. Vals

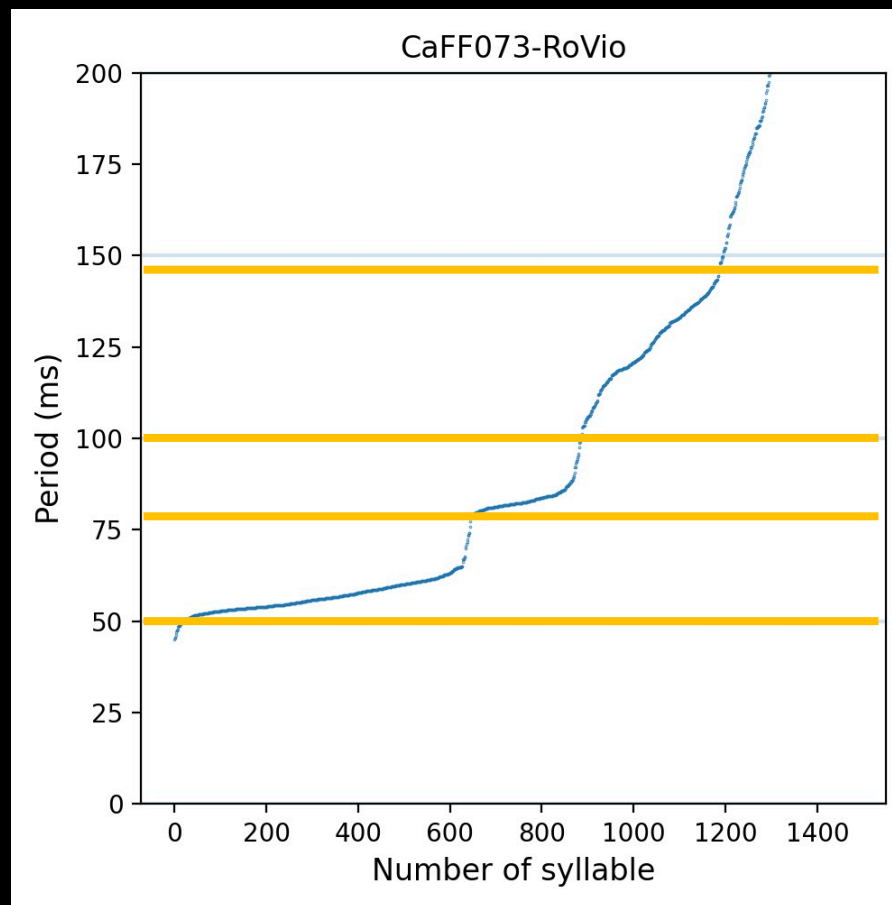
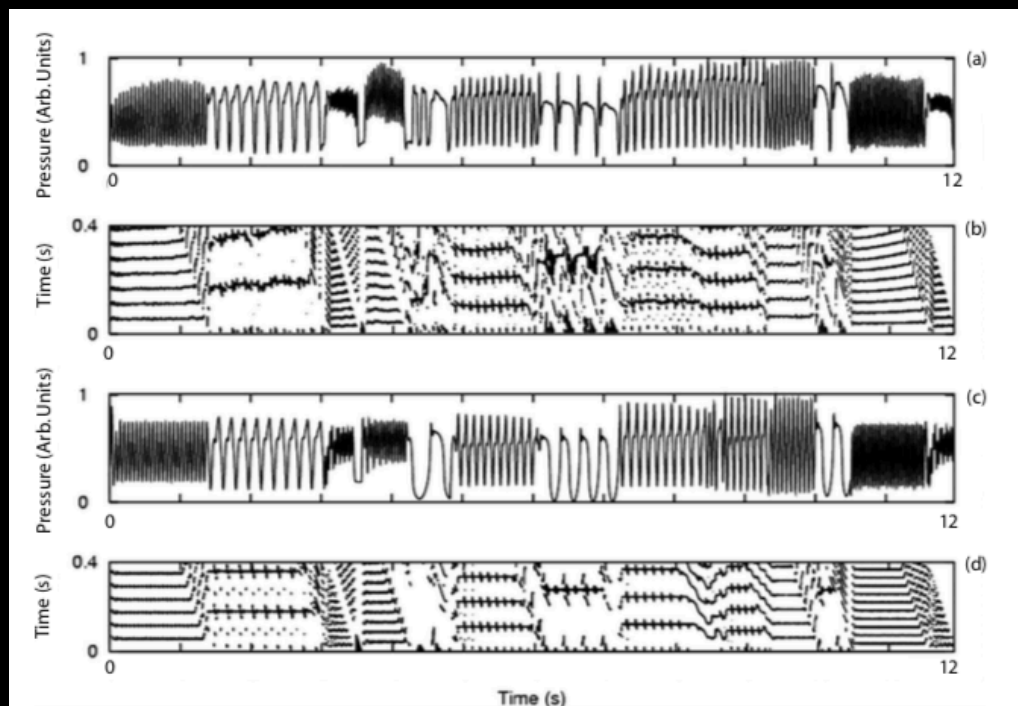
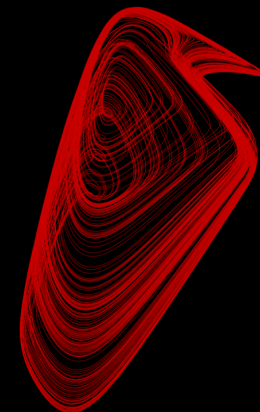


# Rastro evolutivo









150

100

75

50



“Es muy facil: hay que embocarle a las notas y entrar a tiempo”

(un profe de vuelta de todo)

Aca hay algo importante: no solo hay que estar  
lockeado: hay que poder entrar al mismo tiempo

$$\delta = 0$$



“Es muy facil: hay que embocarle a las notas y entrar a tiempo”

(un profe de vuelta de todo)

Aca hay algo importante: no solo hay que estar  
lockeado: hay que poder entrar al mismo tiempo

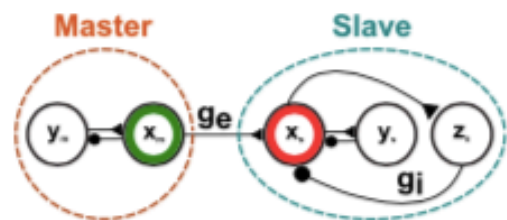
$$\delta = 0$$

¿Como resuleve esto la neurociencia?

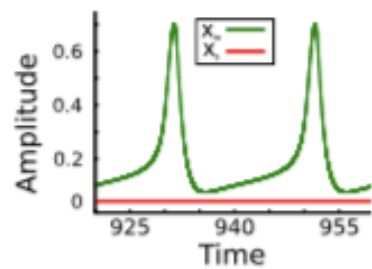
$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x(t)), \\ \frac{dy}{dt} = f(y(t)) + K(x(t) - y(t - \tau)), \end{cases}$$

$$y(t) = x(t + \tau).$$

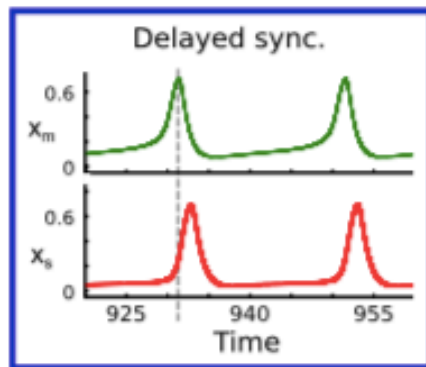
“Anticipated synchronization”



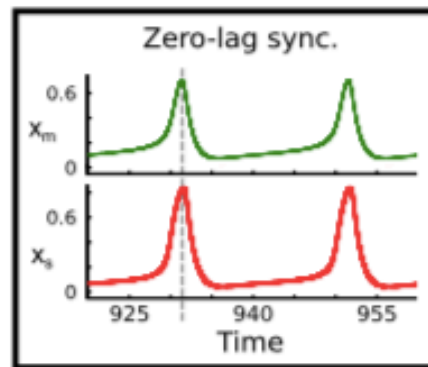
(a)



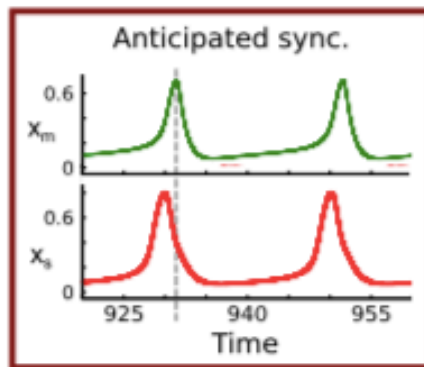
(b)



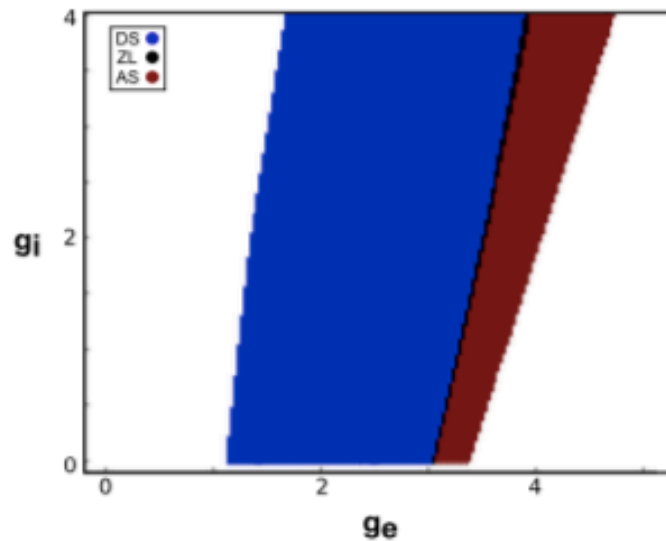
(d)



(e)



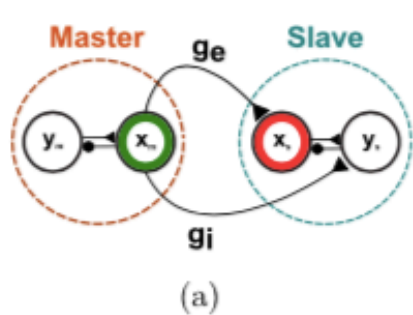
(f)



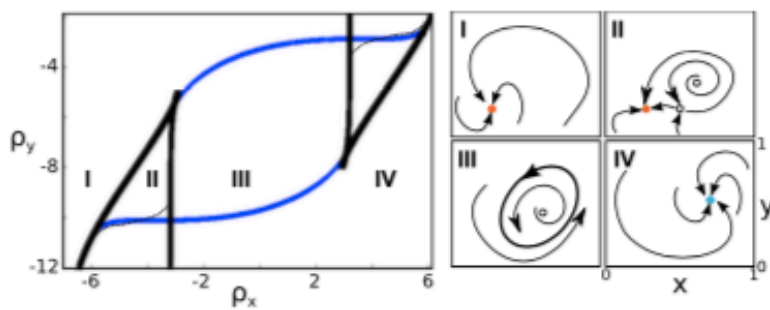
(c)



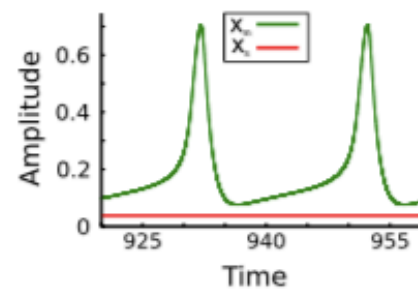
Entrada a tiempo!



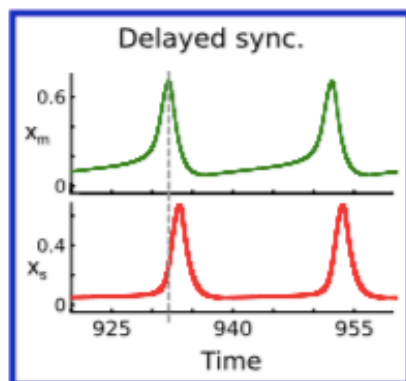
(a)



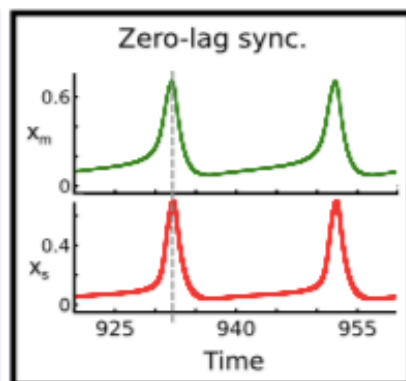
(b)



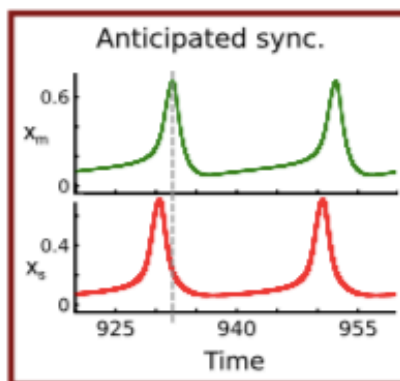
(c)



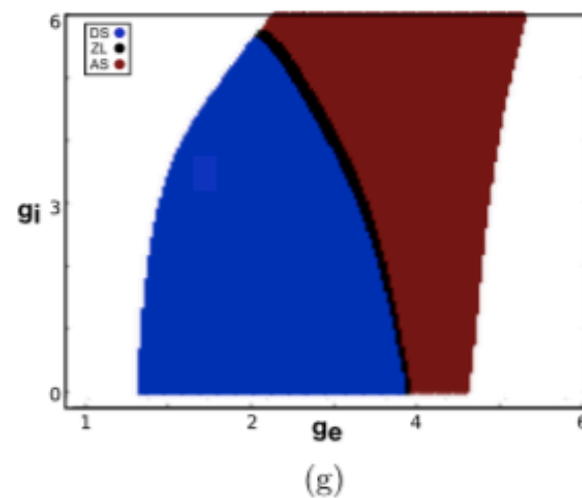
(d)



(e)



(f)



(g)

Entrada a tiempo!

Visto que hay un sustrato neuronal para las divisiones del tiempo en multiples de un pulso

Que hay de la estructura temporal de una obra?

## Musical rhythm spectra from Bach to Joplin obey a $1/f$ power law

Daniel J. Levitin<sup>a,1</sup>, Parag Chordia<sup>b</sup>, and Vinod Menon<sup>c,1</sup>

Visto que hay un sustrato neuronal para las divisiones del tiempo en multiples de un pulso

Que hay de la estructura temporal de una obra?

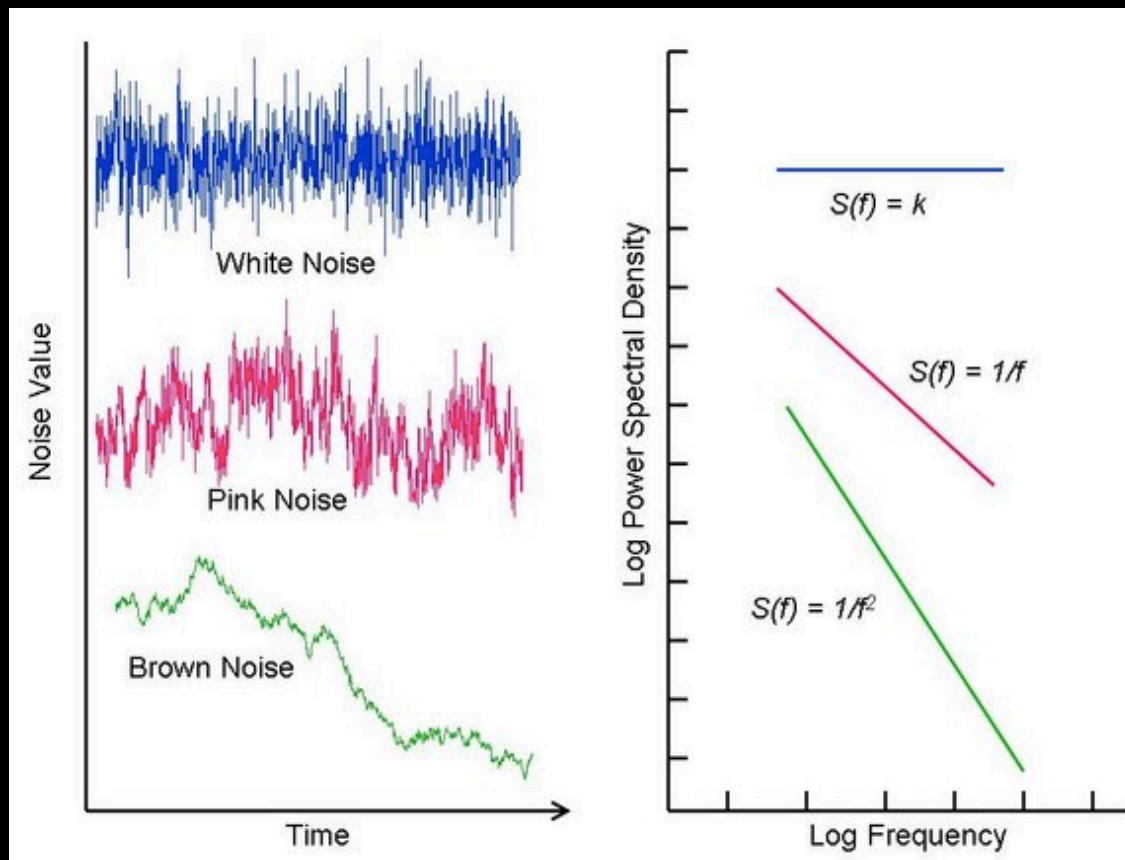
## Musical rhythm spectra from Bach to Joplin obey a $1/f$ power law

Daniel J. Levitin<sup>a,1</sup>, Parag Chordia<sup>b</sup>, and Vinod Menon<sup>c,1</sup>

$$S(f) = \frac{1}{f^\alpha}$$

# Musical rhythm spectra from Bach to Joplin obey a $1/f$ power law

Daniel J. Levitin<sup>a,1</sup>, Parag Chordia<sup>b</sup>, and Vinod Menon<sup>c,1</sup>



# Musical rhythm spectra from Bach to Joplin obey a $1/f$ power law

Daniel J. Levitin<sup>a,1</sup>, Parag Chordia<sup>b</sup>, and Vinod Menon<sup>c,1</sup>

Quartet No. 1 (Op.18 No. 1) Ludwig van Beethoven

Allegro con brio

Violin I

Violin II

Viola

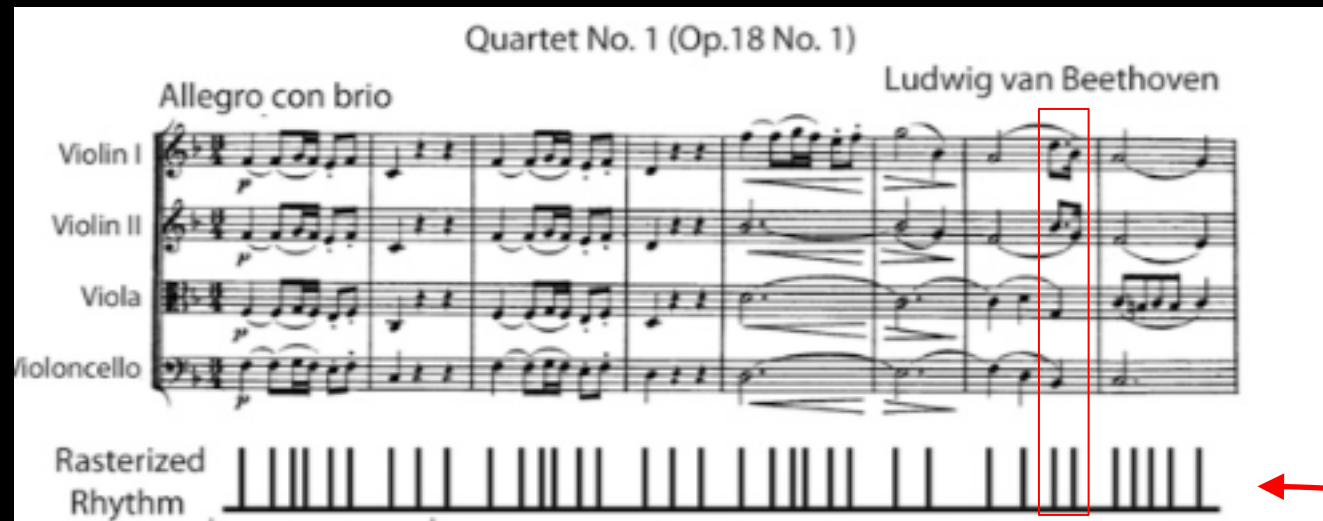
Violoncello

Rasterized Rhythm



# Musical rhythm spectra from Bach to Joplin obey a $1/f$ power law

Daniel J. Levitin<sup>a,1</sup>, Parag Chordia<sup>b</sup>, and Vinod Menon<sup>c,1</sup>



Y analiza una señal continua construida a partir de esta secuencia de spikes

Quartet No. 1 (Op.18 No. 1) Ludwig van Beethoven

Allegro con brio

Violin I

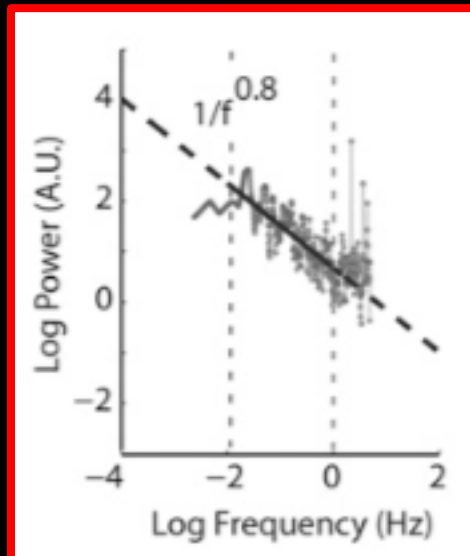
Violin II

Viola

Violoncello

Rasterized Rhythm

Se le calcula el Espectro →



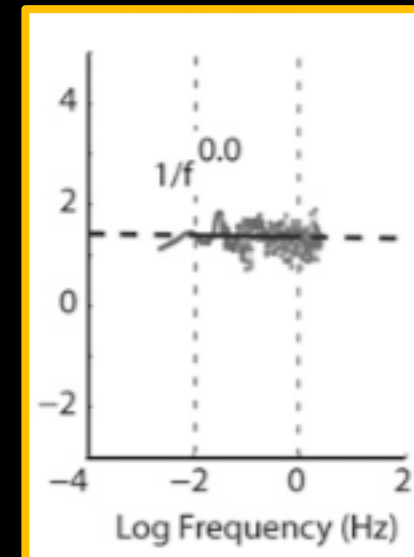
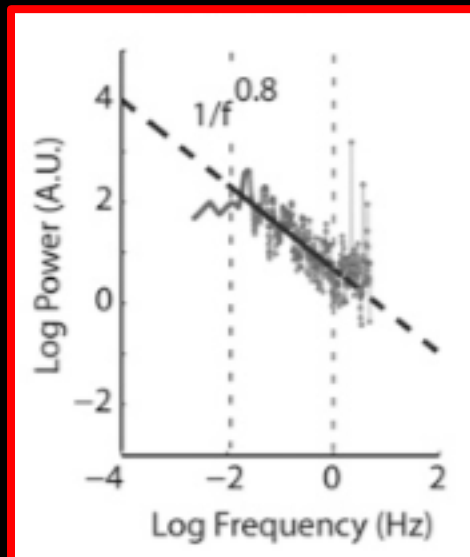
Quartet No. 1 (Op.18 No. 1) Ludwig van Beethoven

Allegro con brio

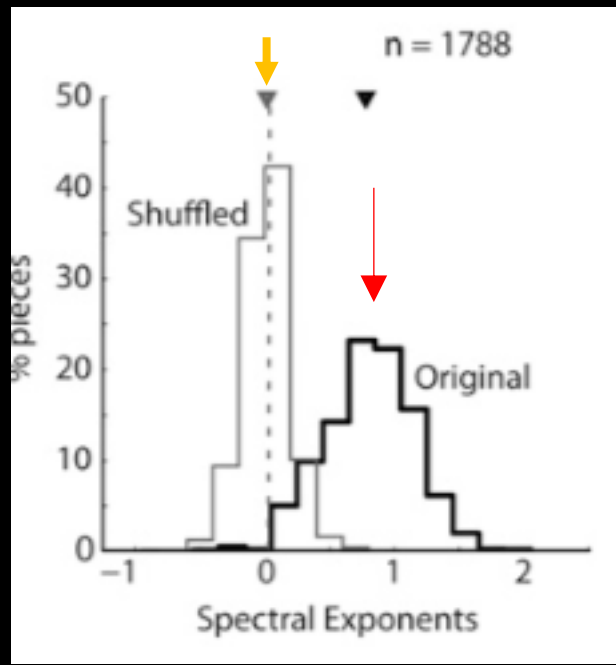
Violin I  
Violin II  
Viola  
Violoncello

Rasterized Rhythm

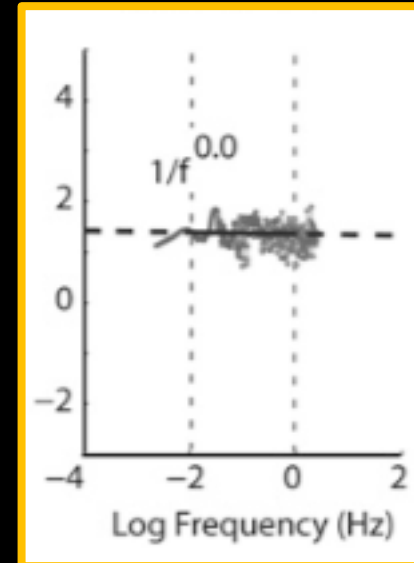
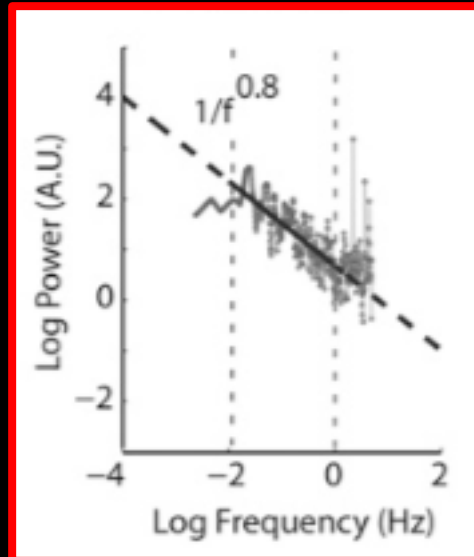
Se le calcula el Espectro →



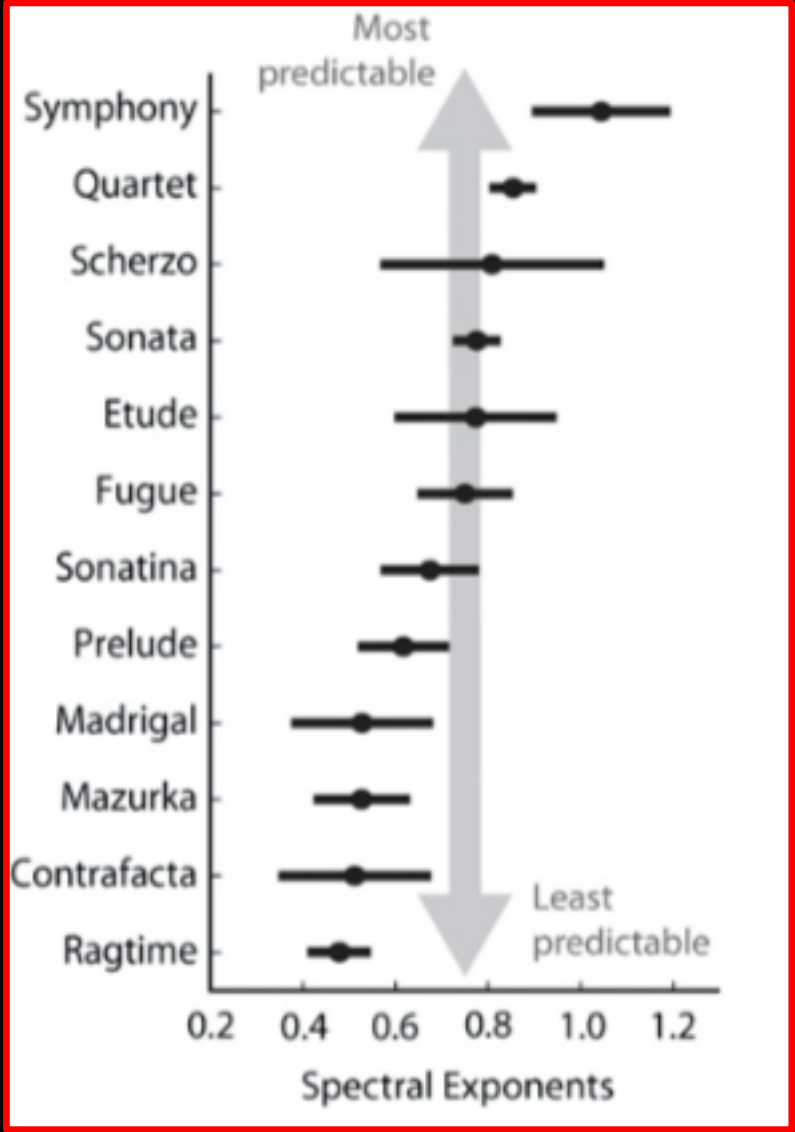
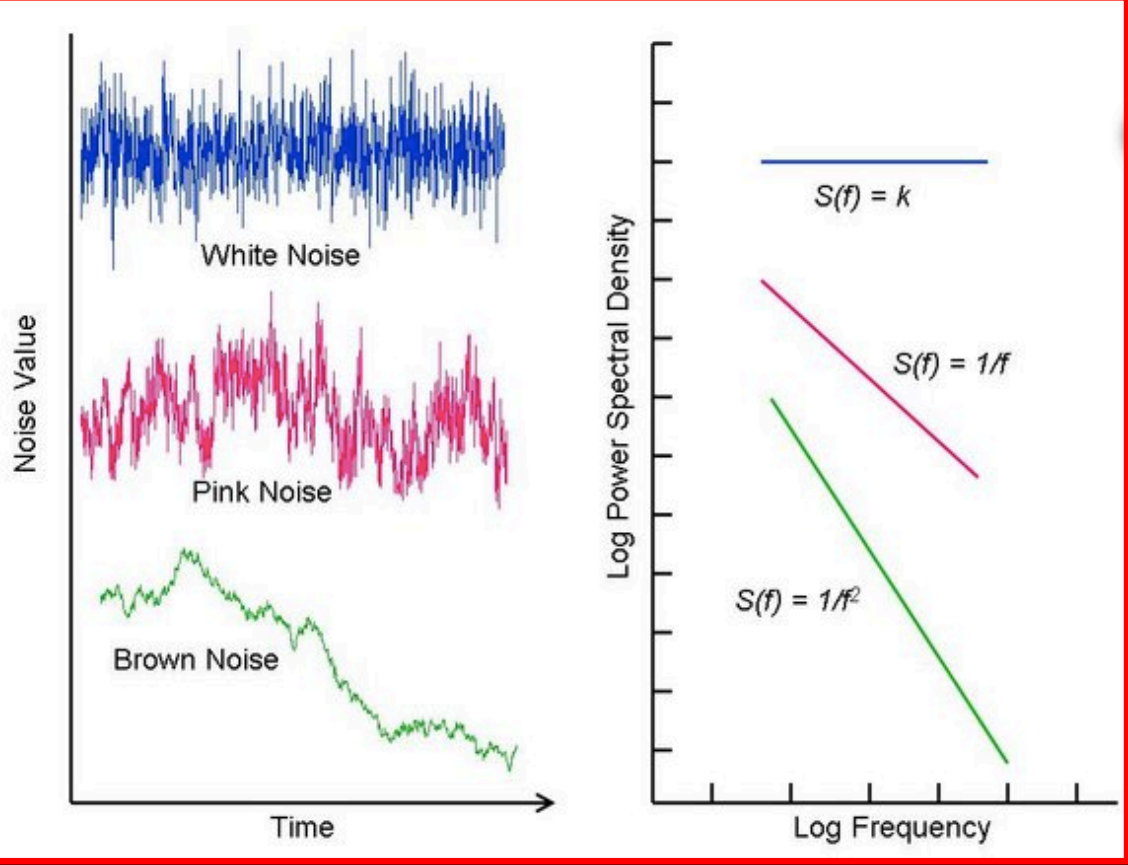
Randomizando los ataques (no las duraciones)

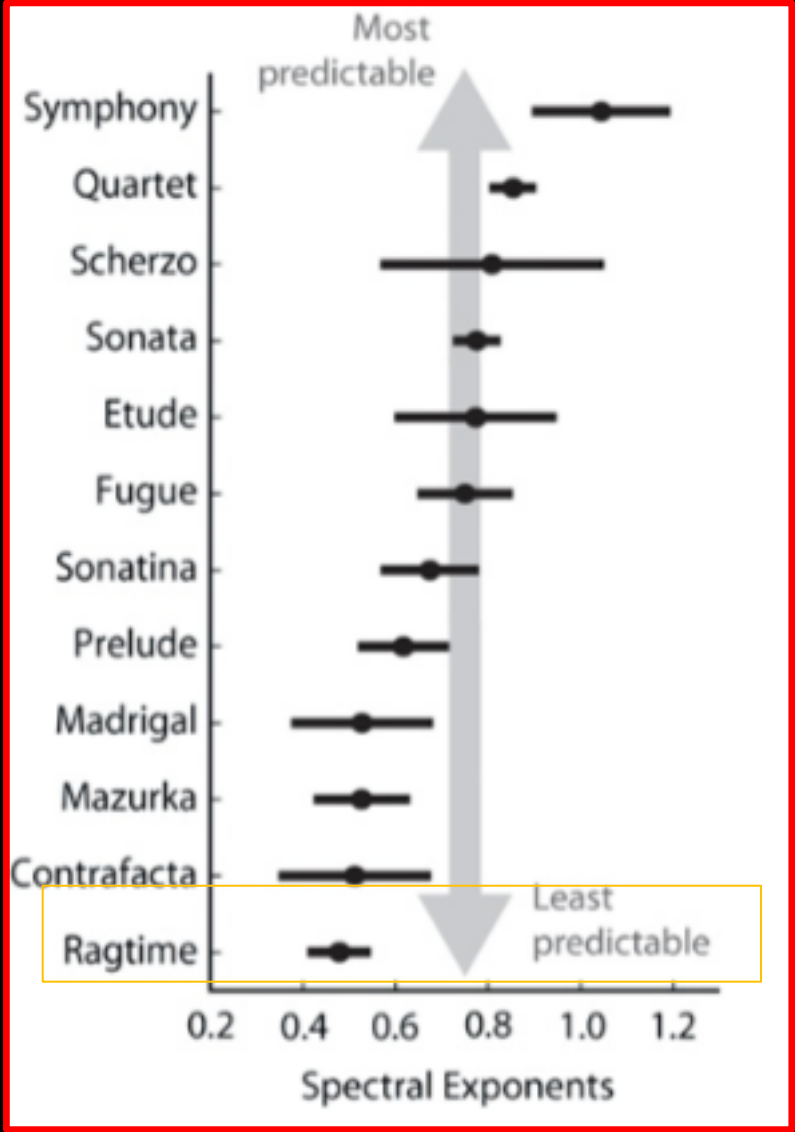
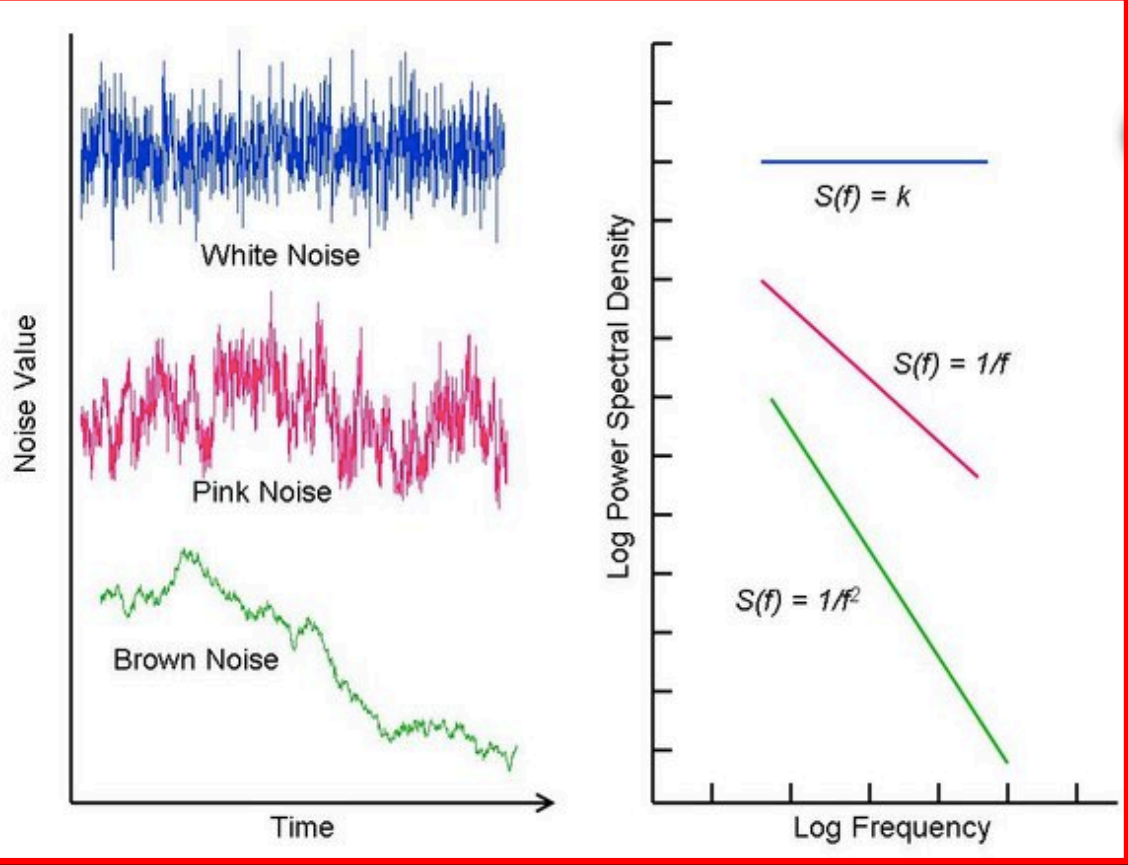


Se le calcula el Espectro →



← Randomizando los ataques (no las duraciones)





Ragtime... impredecible

