



# *Oscilaciones cerebrales*

Neurociencia cognitiva y computacional  
Maestría en Ciencias Cognitivas

Francisco Cervantes Constantino

22 de octubre de 2024

[fcervantes@psico.edu.uy](mailto:fcervantes@psico.edu.uy)

# Agenda

- Oscilaciones cerebrales
- Métodos de análisis de las OC
- Origen y tipos de oscilaciones
- Oscilaciones en neurociencia cognitiva y computacional
  - En atención
  - En memoria
  - En percepción auditiva y del habla

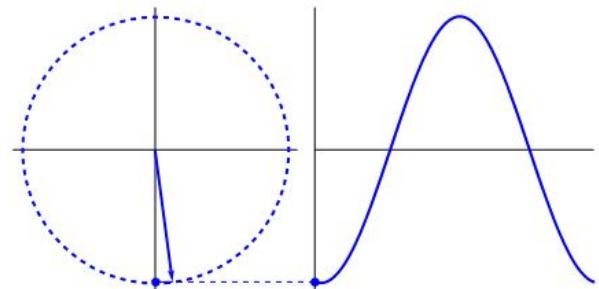
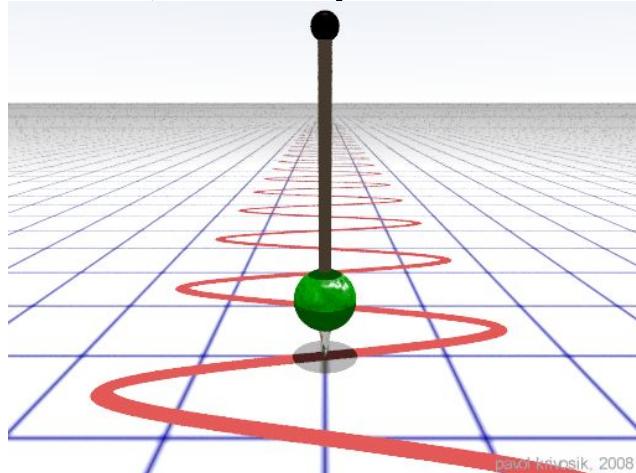
# ¿Qué es una oscilación?

- Variación repetitiva en el tiempo
- Entre un valor mínimo y otro máximo
- Respecto a un punto de equilibrio



# ¿Qué es una oscilación?

- Tipo de oscilación más fundamental: **sinusoide** o **armónica**
- Frecuente en el mundo natural (luz, sonido, viento, etc.)



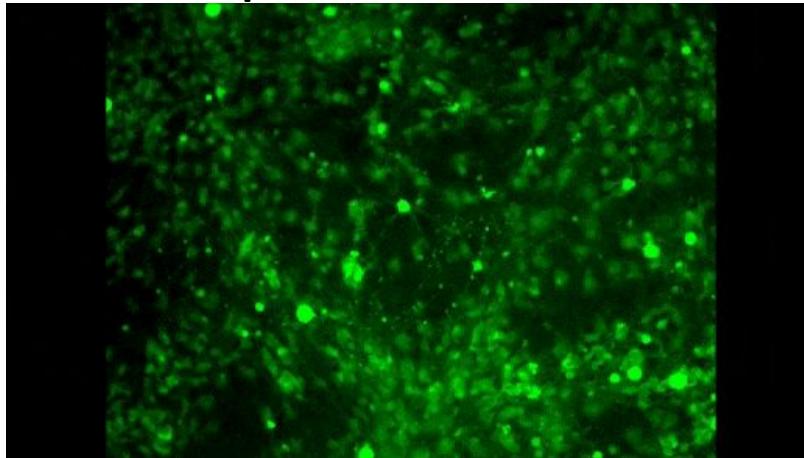
La oscilación sinusoidal es fundamental por su asociación con el círculo

# ¿Cuándo es cerebral?

- Por la dinámica de su actividad:

# ¿Cuándo es cerebral?

- El funcionamiento **de las neuronas** *no es estacionario*. Varía en función del tiempo.



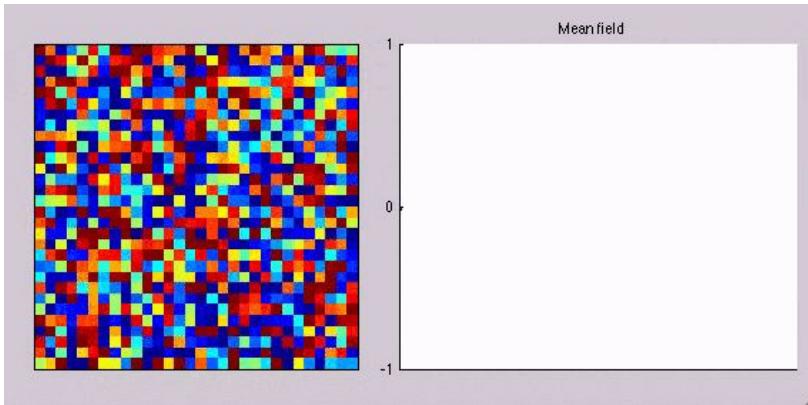
Descarga neural  
sincronizada

Dinámica global  
emergente

- La dinámica total **del cerebro** varía en consecuencia.
- Esta dinámica *incluye* actividad aproximadamente oscilatoria.

# ¿Cuándo es cerebral?

- Las neuronas no están aisladas
  - Si alguna oscila, probable que su vecina también
  - Si ambas oscilan al compás, están sincronizadas
- La actividad de un ensamble neural está definida por la coherencia del conjunto



Cada píxel representa la actividad de una unidad. La curva representa la actividad del ensamble.

La oscilación global es una propiedad emergente del conjunto

# ¿Por qué estudiarlas?

- La sincronización entre neuronas puede tener utilidad computacional.

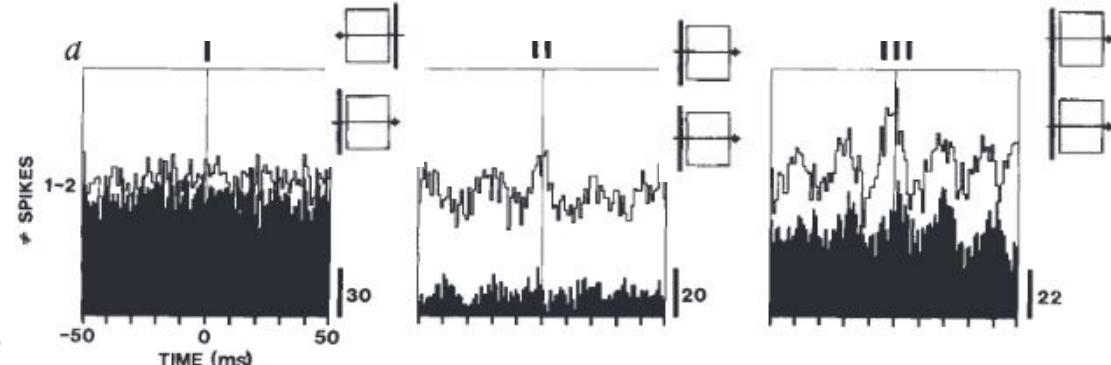
Registro multi-unit en corteza visual (detección de orientaciones)

Se investigan dos sitios independientes, distantes, con campos receptivos separados

Aunque sí coinciden con la misma preferencia de orientación...

Ejemplo: Sincronía a estímulos está

- I) no coordinada entre sí, cuando los estímulos son opuestos
- II) débilmente coordinada, cuando los estímulos son iguales
- III) fuertemente coordinada, cuando es un único estímulo común

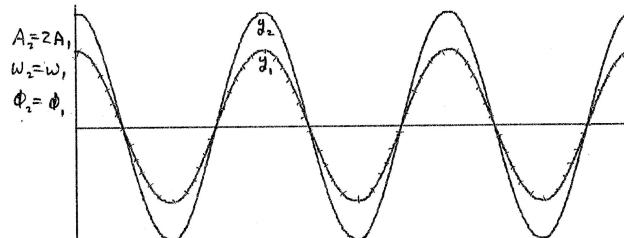


# Análisis de oscilaciones cerebrales

## Parámetros de una oscilación armónica

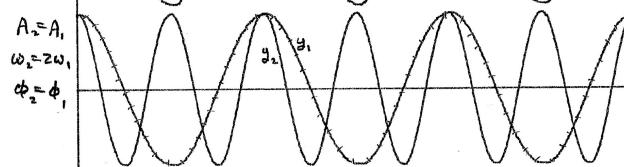
$$y = A \cos(\omega t + \phi)$$

1)



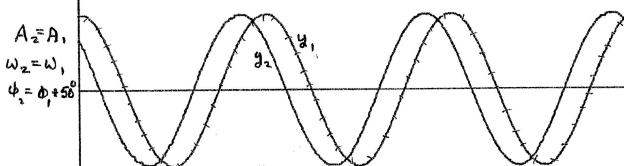
Éstas dos oscilaciones son idénticas en todo, excepto en su **Amplitud**. Una es más amplia que la otra.

2)



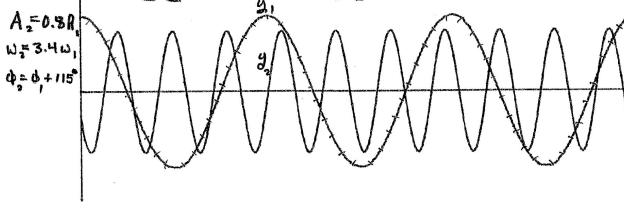
Aquí, difieren solamente en **Frecuencia**. Una termina y reinicia más veces que la otra.

3)



En este caso se distinguen por su **Fase** nada más. El ciclo de una termina y reinicia con retraso siempre.

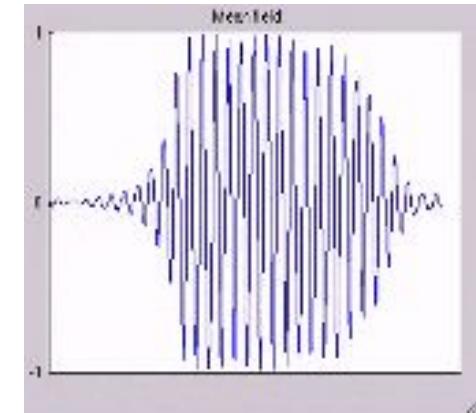
4)



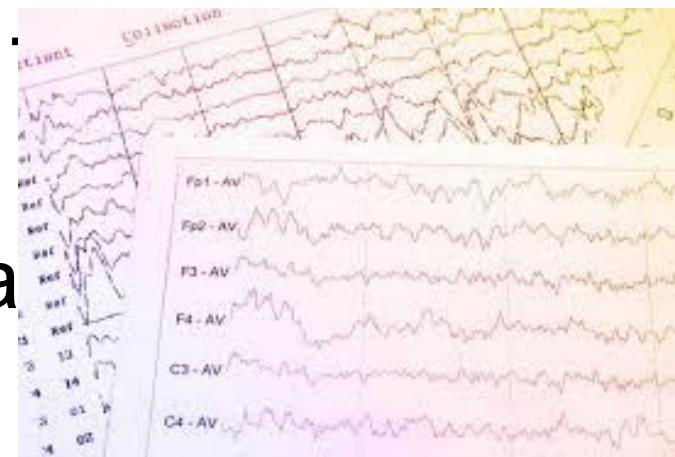
Determine por cuál(es) de los 3 parámetros se distinguen éstas dos oscilaciones.

# Análisis de oscilaciones cerebrales

- *La mala noticia:* En la práctica, las oscilaciones cerebrales **no** son exactamente armónicas
  - Y en la mayoría de los casos, tampoco lo son aproximadamente..



- *La buena...* misma situación para muchos otros fenómenos naturales



# Análisis de oscilaciones cerebrales

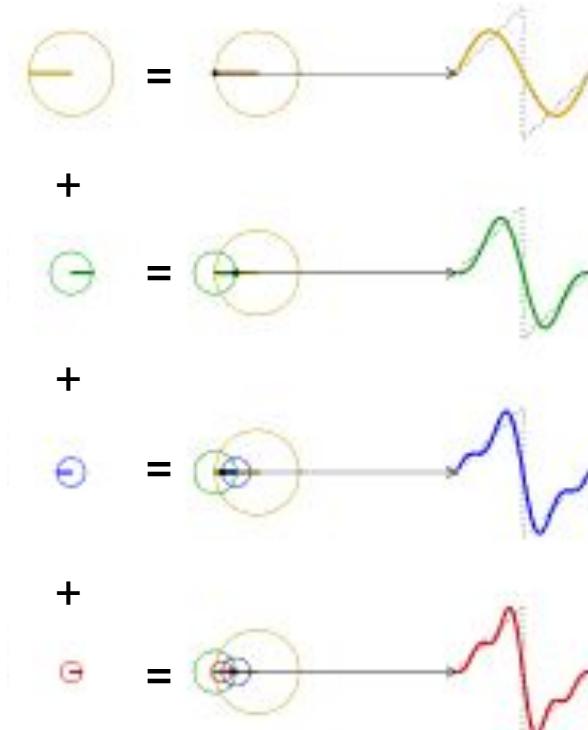
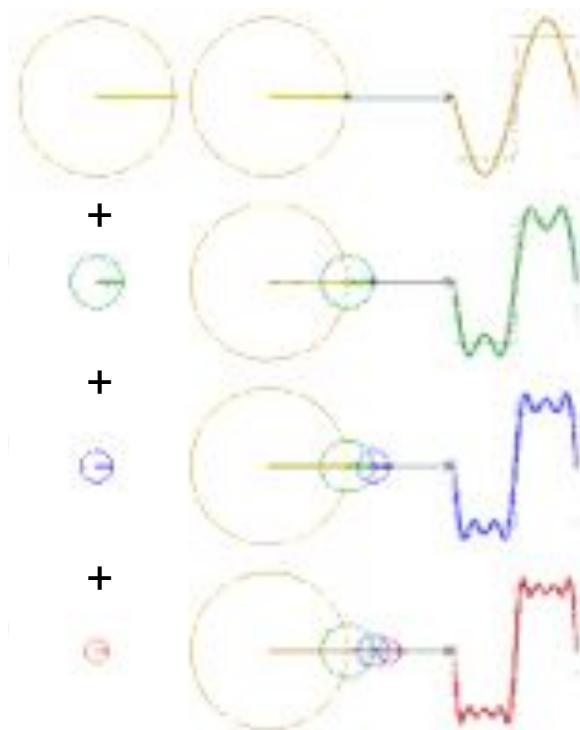
- Método fundamental para analizar oscilaciones:  
**análisis de Fourier**
  - “Toda serie de datos, por compleja que sea, puede expresarse como una suma de series armónicas”
- Aunque una oscilación cerebral no sea armónica, *tiene una familia equivalente de oscilaciones armónicas*

Cada círculo representa un oscilador armónico. La serie neural es arbitraria (**rojo**)

Para aproximarla, súmese múltiples osciladores armónicos.

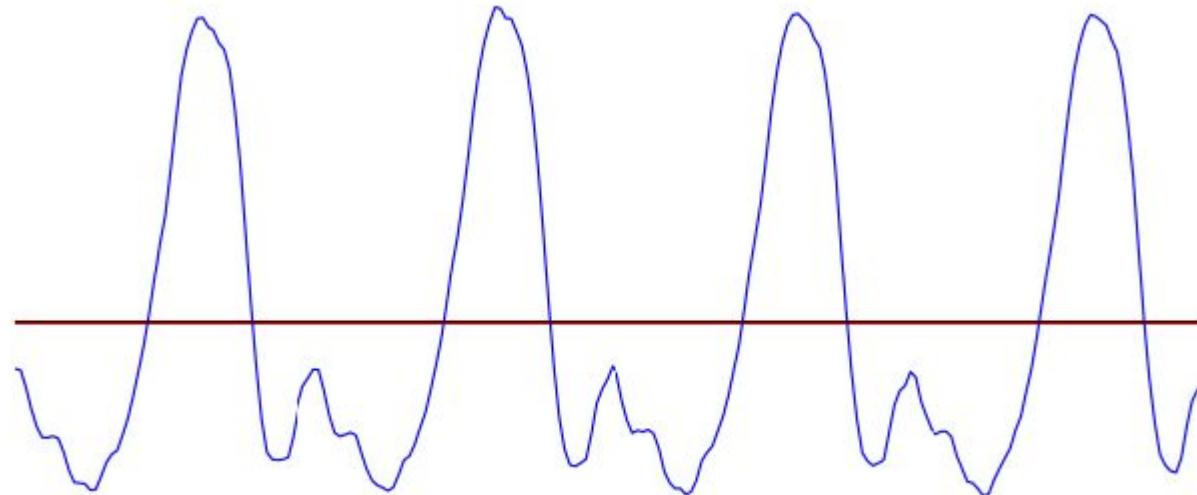
Cada oscilador (círculo) tiene su propia: **Amplitud** (tamaño), **Frecuencia** (rapidez de ciclo), y **Fase** (ángulo inicial).

*Infinitas combinaciones posibles, se puede producir cualquier serie*

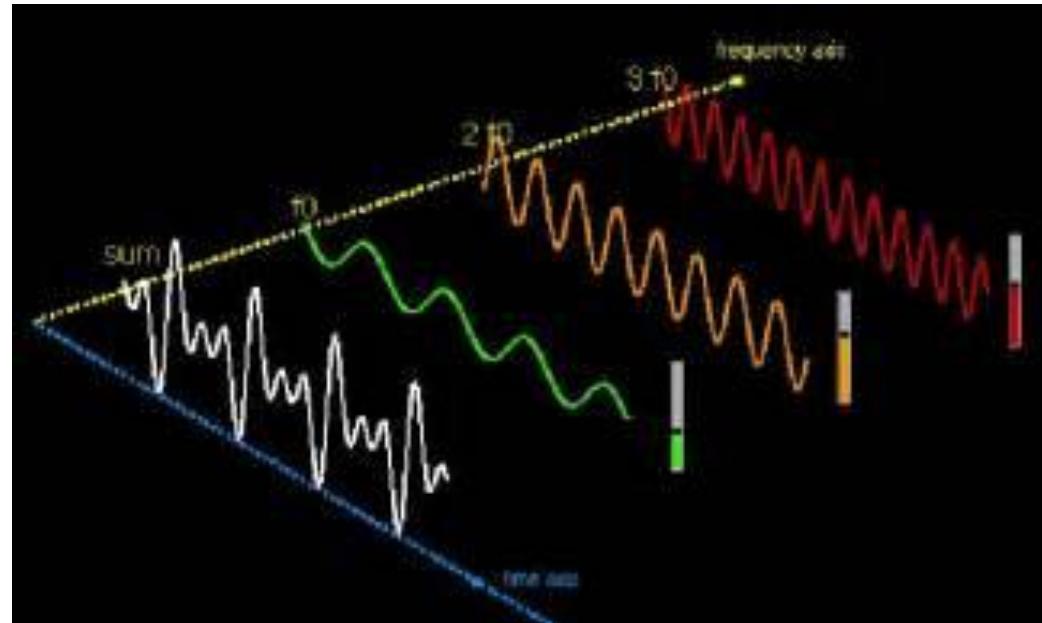


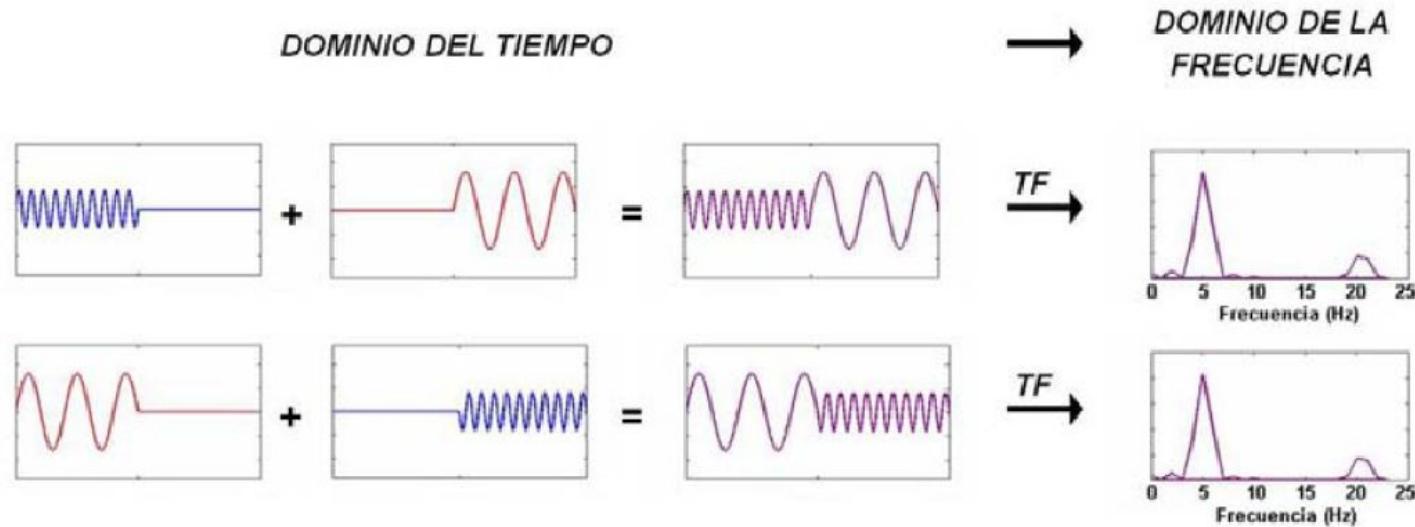
# Análisis de oscilaciones cerebrales

- A más osciladores sumados, más precisa la aproximación a la señal original



# Análisis de oscilaciones cerebrales





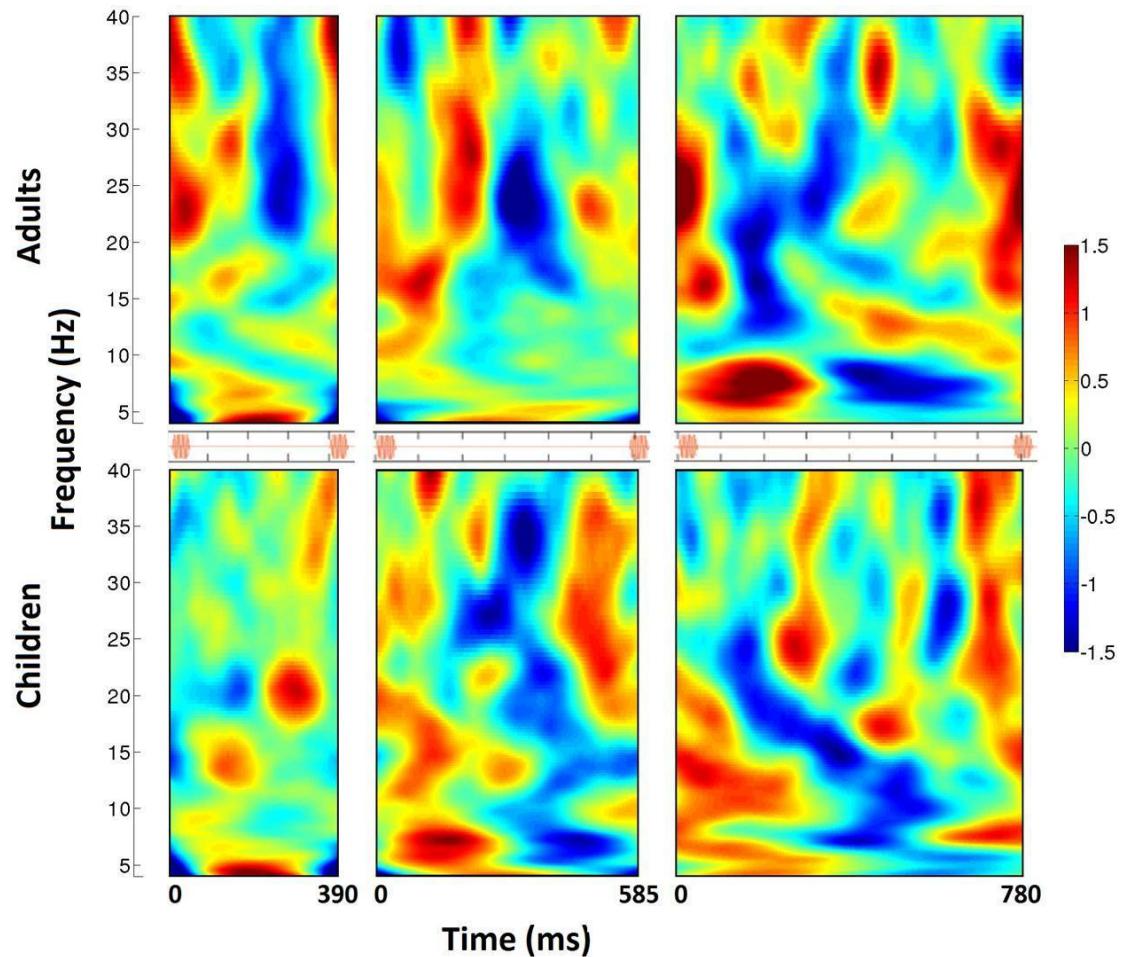
**Figura 20.** Análisis de Fourier de dos señales no estacionarias. Ambas están formadas por las mismas ondas componentes (onda de 20 Hz, en azul; onda de 5 Hz, en rojo), pero en distintos momentos temporales. Dado que la TF no identifica esta temporalidad (porque asume que los componentes espectrales existen en todos los momentos – asunción de estacionariedad), los espectros de potencia de ambas señales son idénticos, a pesar de que las señales no lo son.

## Una solución: spectrograma

Cada “rebanada” vertical del **espectrograma** representa un espectro para ese instante de tiempo

Instante a instante, el espectro va variando.

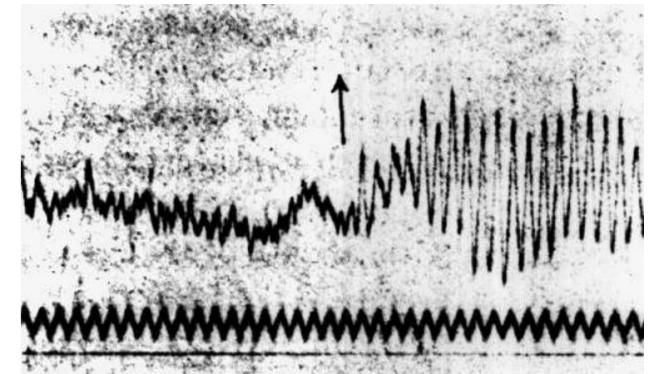
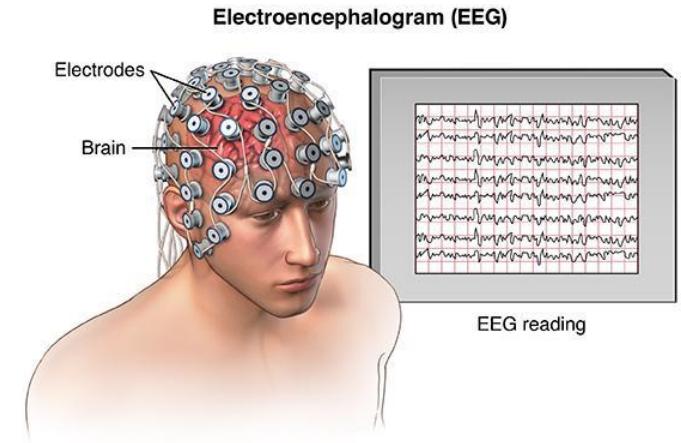
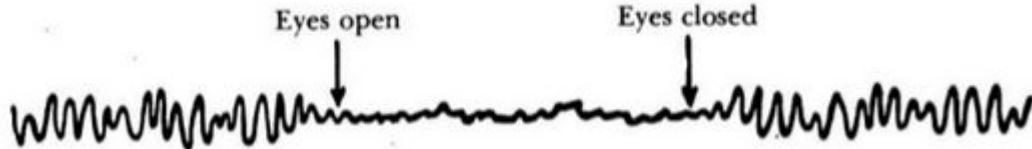
El mapa que indica cómo lo hace es el **espectrograma**

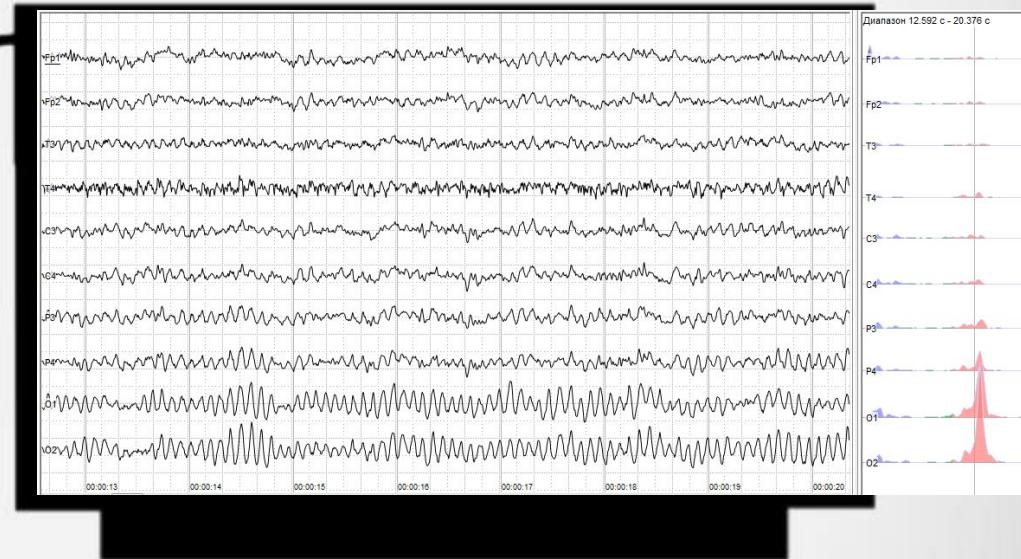
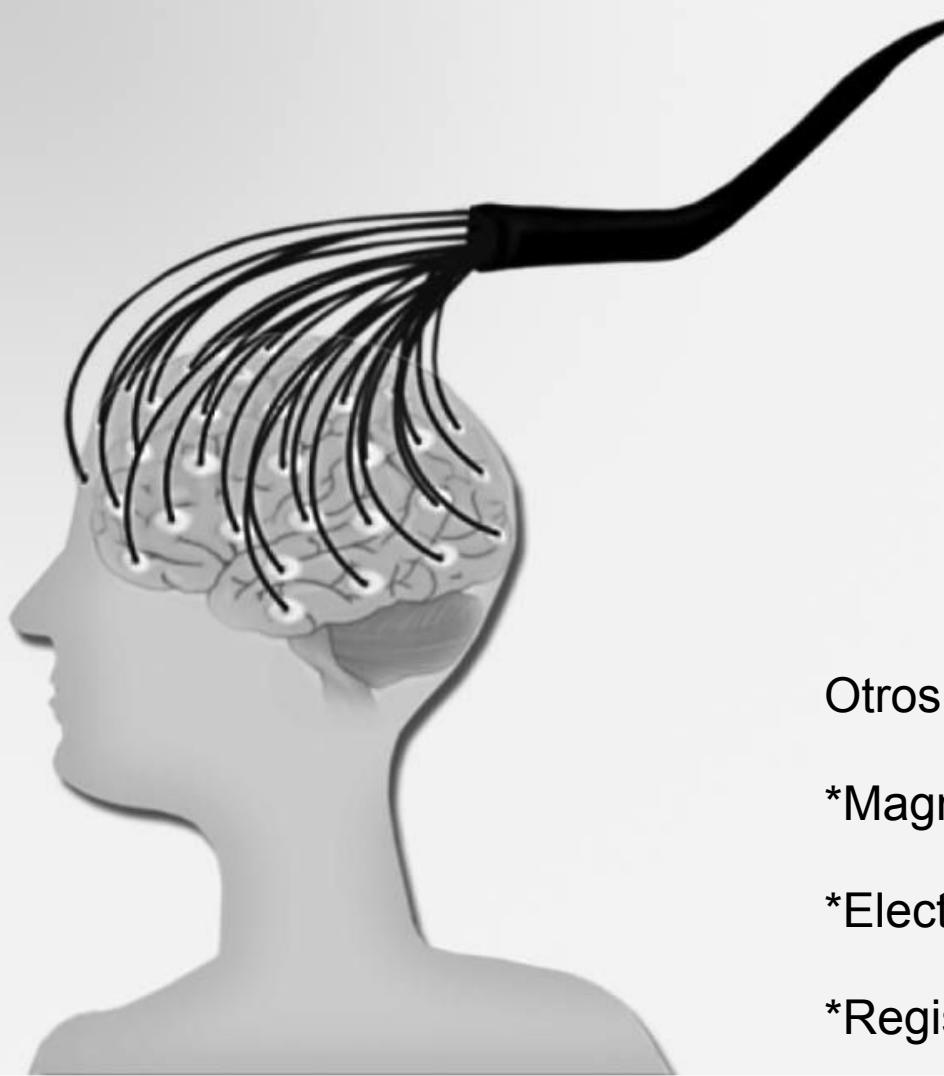


# Origen de las oscilaciones cerebrales

EEG -1929 Hans Berger  
*Elektrenkephalogramm*

describió las ondas *alfa*, iniciadas al cerrar los ojos  
y *beta*, que las sustituían al abrirlos.





Otros métodos para observar OC incluyen:

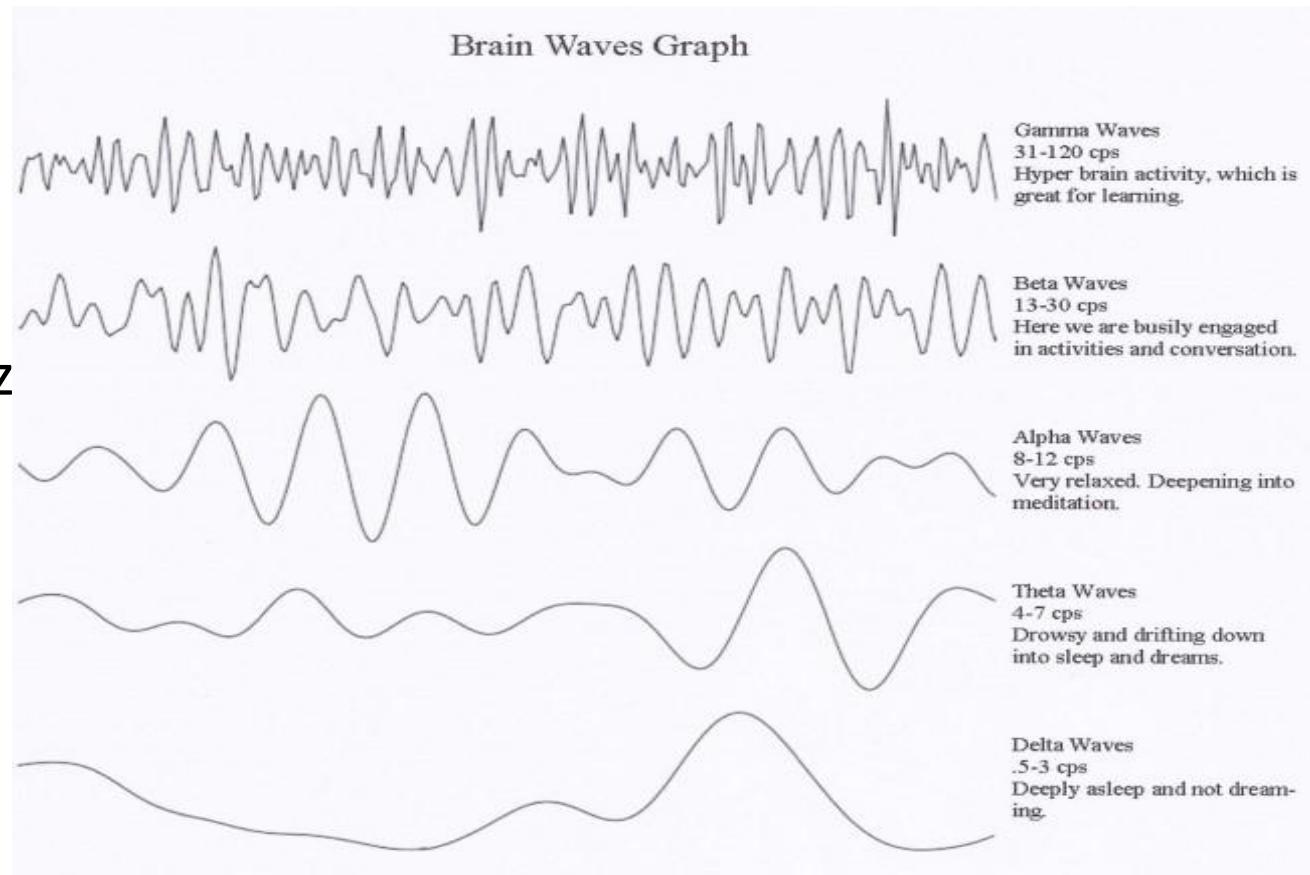
\* Magnetoencefalograma

\* Electrocorticograma

\* Registros multicelulares (potencial de campo local)

# Tipos de oscilaciones cerebrales

- *Delta* (1-4 hz)
- *Theta* (4-8 hz)
- *Alfa* (8-12 hz)
- *Beta* (12-30 hz)
- *Gamma* (30-90 hz)



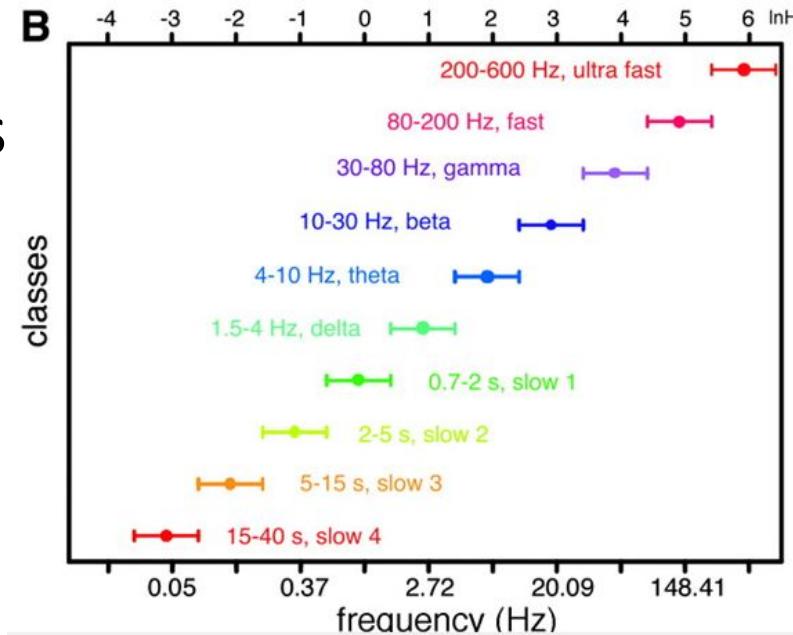
# Brain Cortical Columns and Neural Activity Simulation



0:36 / 1:06

# Hipótesis Penttonen & Buzsaki 2003

- Propone relación matemática (logaritmo natural) para clasificar las frecuencias de los distintos osciladores cerebrales.
- Modelos animales (rata)
- Al menos 10 mecanismos cerebrales para poder cubrir todo el rango de frecuencias desde 0,05 hasta 600 hz



# Ritmos alfa y beta

- Beta: oscilación fundamental del sistema motor.
- La potencia del ritmo beta disminuye al comenzar la ejecución motora y aumenta al detenerse esa ejecución

# Oscilaciones cerebrales: atención

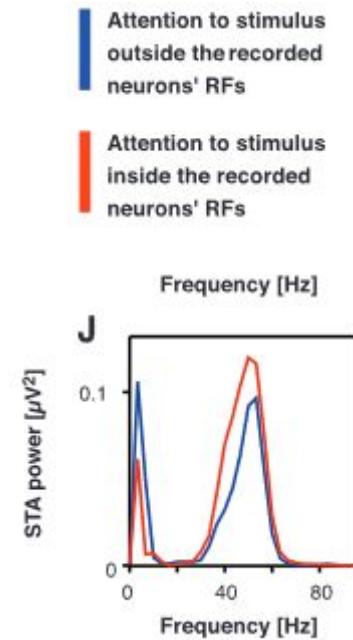
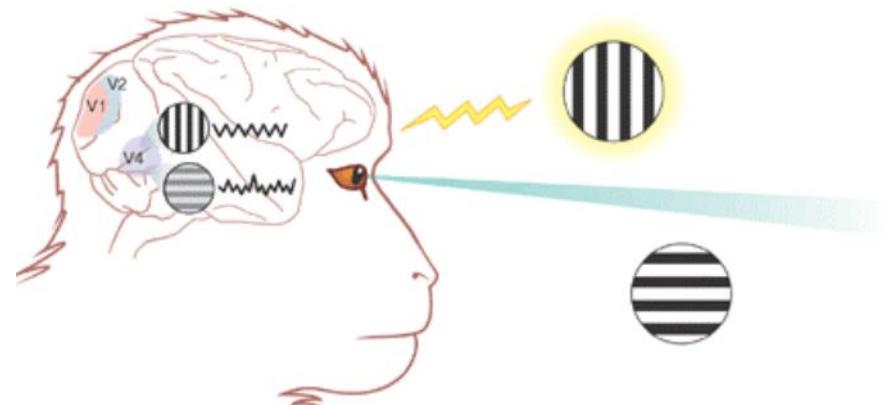
- Supresión del ritmo alfa asociado a alerta general (por clave o por ocurrencia del estímulo diana) Babiloni, et, al 2014
- Aumento en la actividad alfa vinculada con la localidad no atendida frente a la presencia del estímulo diana. (Supresión del distractor ). Worden et al., 2000.
- Aumento de la actividad gamma durante tareas de atención visual (Keil.et.al, 2001)

Aumento de la actividad gamma asociado a la conciencia de

# Oscilaciones cerebrales: atención

- Neuronas en V4 demuestran patrones oscilatorios según si responden a un estímulo atendido o desatendido
- Las neuronas que codifican el estímulo están sujetas a modulación atencional:
  - Con atención, mayor sincronización gamma, menor sincr. alfa
- Promueve coincidencias entre los potenciales de acción en un margen 10 ms (inferior a la ventana de adaptación neural). Evita adaptación en un margen 15-50 ms.
- Mecanismo NETO de **amplificación** efectiva para lo que está siendo atendido

Fries et al 2001



# Oscilaciones cerebrales: atención

- Las redes cortico-corticales modulan ritmos alfa y gamma durante la atención espacial visual (más atención, *mayor sincronización alfa*).

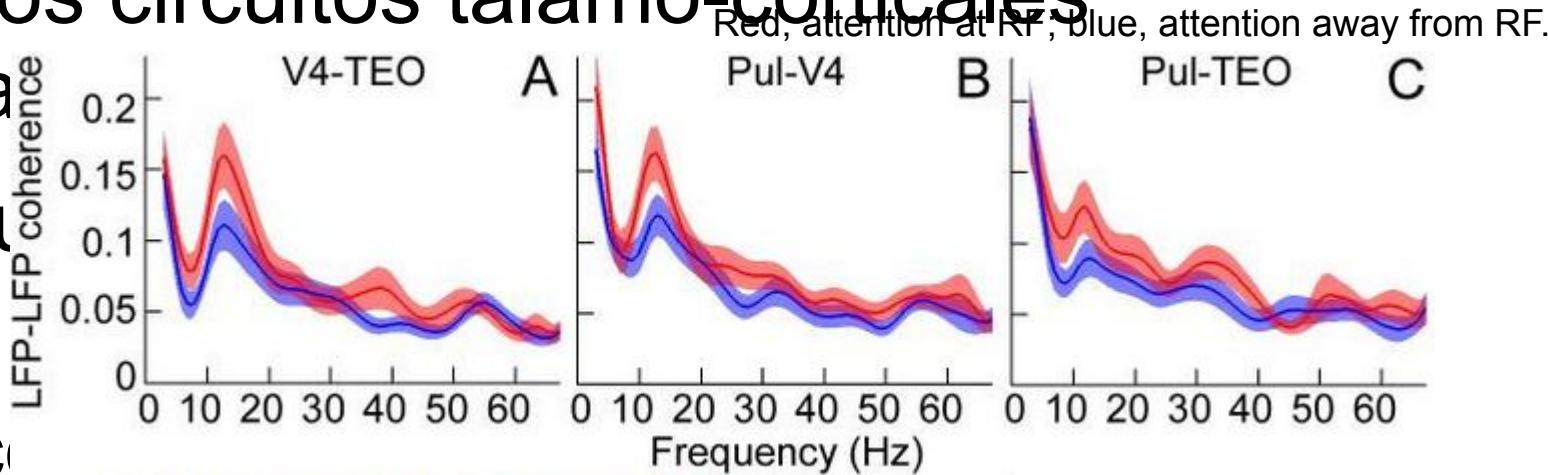
- También los circuitos tálamo-corticales manifiesta

- Esta modulación de la actividad gamma

Saalmann et al 2012

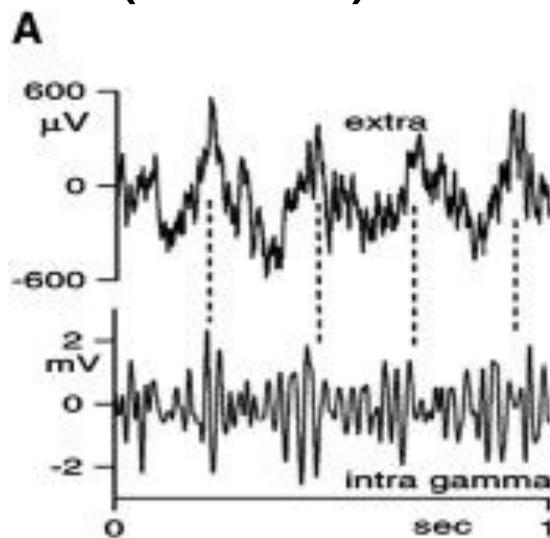
Schmidt et al 2012

• Tálamo: c



# Oscilaciones cerebrales: memoria

- Propuesta: OC como código neural para mensajes basados en múltiples elementos (ítems)



del *potencial de campo local*

LFP hipocámpico, oscila en theta (arriba)  
y gamma (abajo).

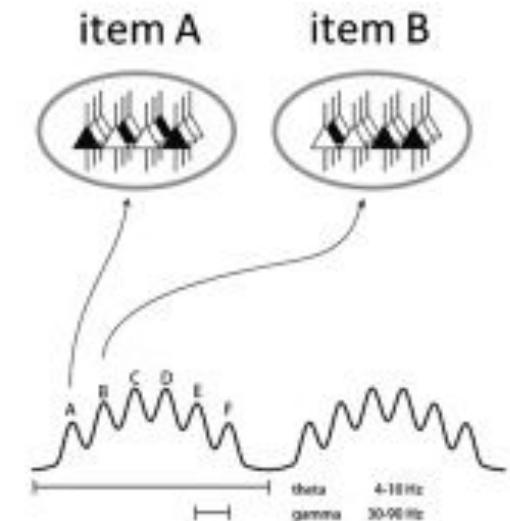
A notar la coordinación entre bandas.

(Lisman y Jensen, 2013)

# Oscilaciones cerebrales: memoria

- Fases en **theta**: sirven para referenciar el comienzo y extensión de un mensaje a recuperar de la memoria
- Períodos en **gamma**: indican clústers de descarga de ensambles de neuronas. 1 clúster = 1 ítem

• Theta alinea y ordena

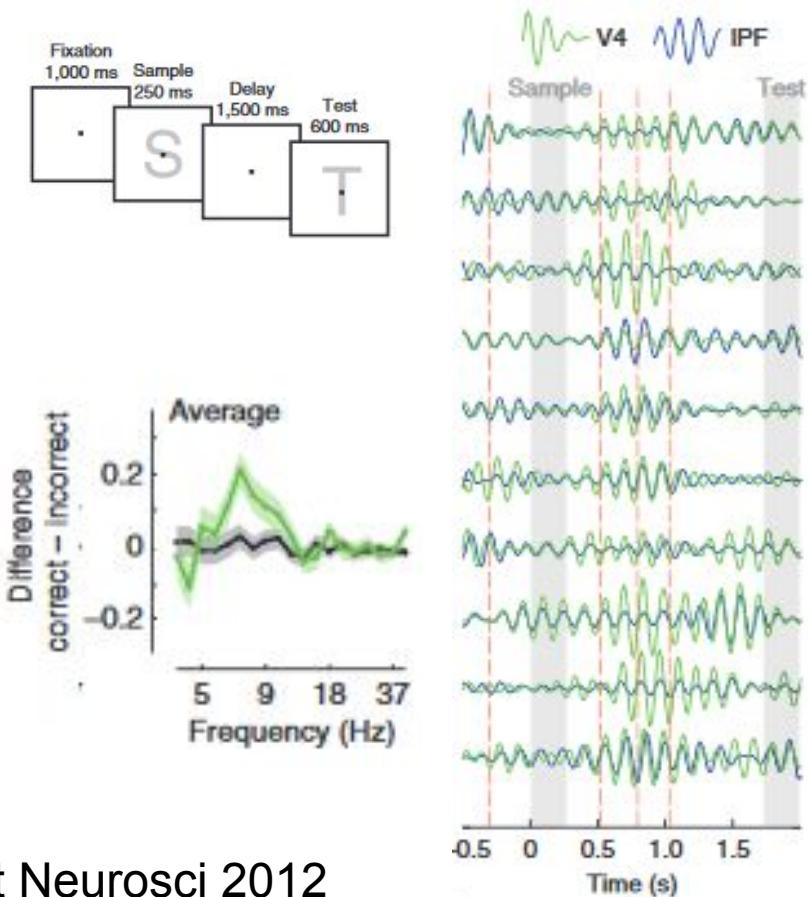


Cada óvalo representa un estado de actividad del mismo ensamblaje al representar a un ítem u otro.  
Duran lo que un ciclo gamma.

(Lisman y Jensen, Neuron 2013)

# Oscilaciones cerebrales: memoria

- Evidencia directa de comunicación vía ritmo theta, en memoria.
- Macaco debe recordar un estímulo visual 1.5 s después
- A inspeccionar: sincronización entre actividad V4 y PF-



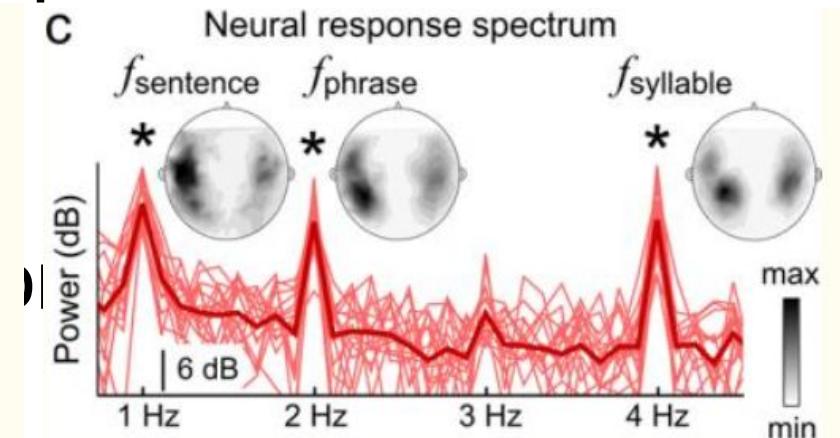
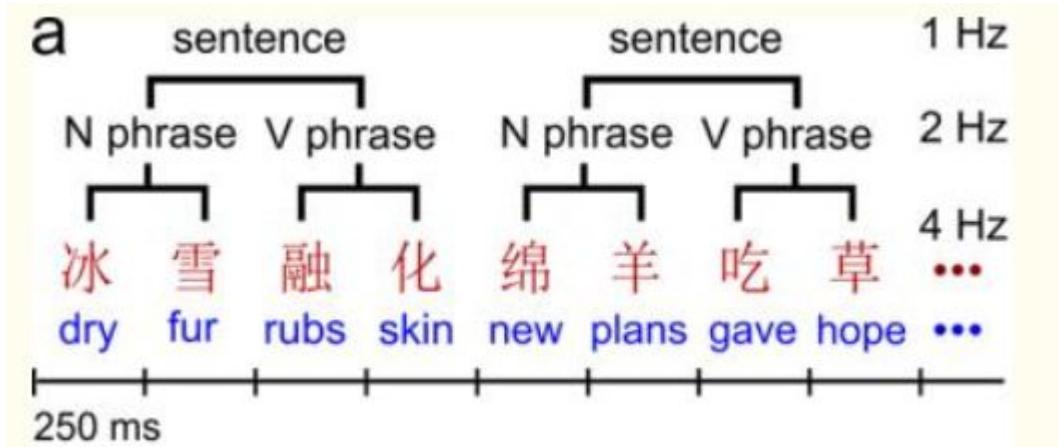
Liebe et al., Nat Neurosci 2012

# Oscilaciones cerebrales: percepción del habla

- Modelo análogo de OC gamma anidadas en theta
- A su vez las oscilaciones theta pueden estar anidadas en delta (más lenta) Giraud & Poeppel 2012
- Anidamiento se corresponde con la jerarquía natural del habla: sílabas (cortas), palabras (más largas)

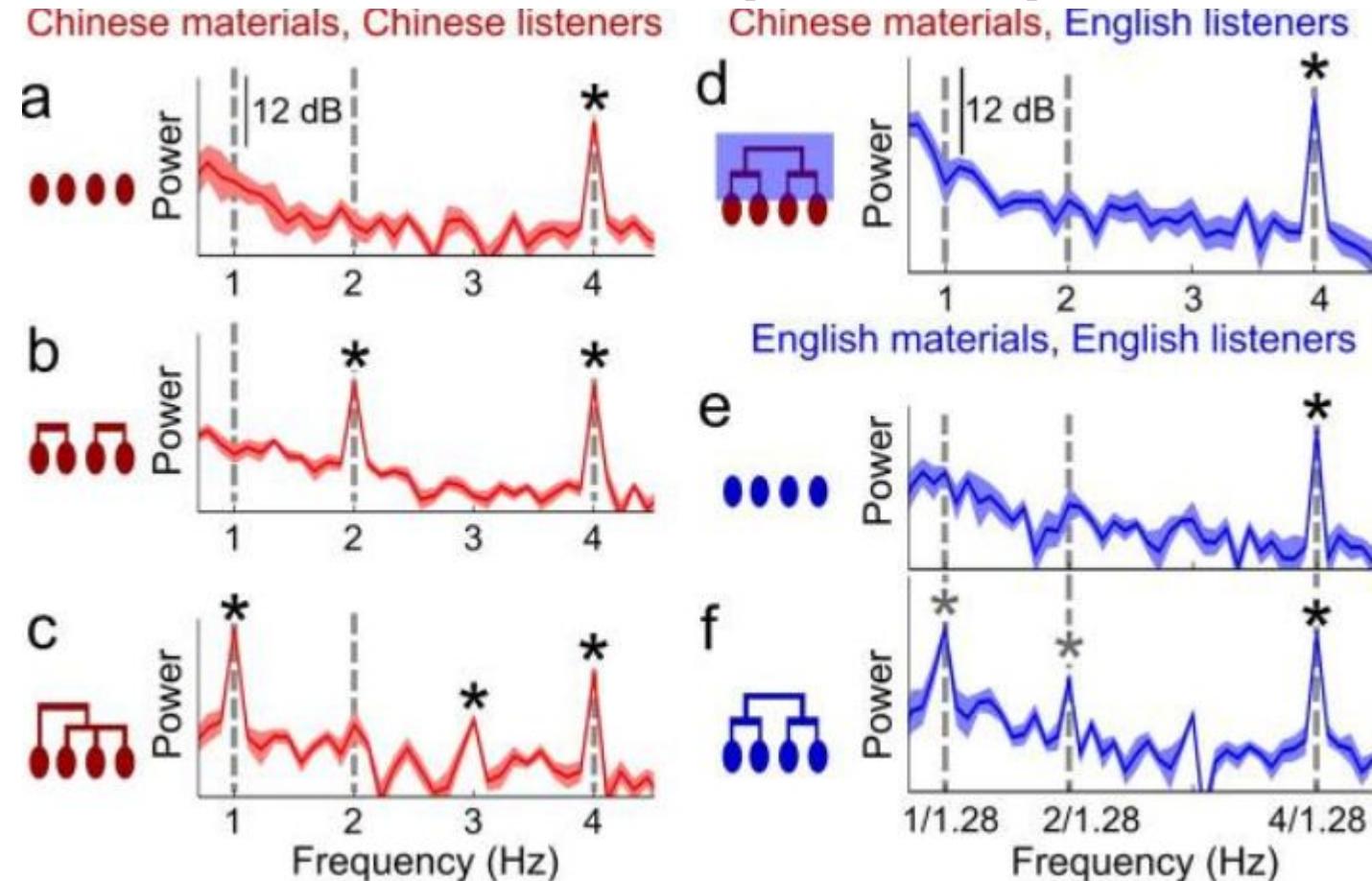
# Oscilaciones cerebrales: percepción del habla

- Evidencia de sincronización por nivel de análisis lingüístico
- Sonidos monosílabicos representables a nivel



# Oscilaciones cerebrales: percepción

- De eliminarse la comprensión del nivel de frase u oración, la sincronización a éstos



King et al., 2016

## *Lectura recomendada*

(General) Fries (2015) **Rhythms for cognition: communication through coherence**  
DOI: [10.1016/j.neuron.2015.09.034](https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.034)

(General) Buzsáki & Draguhn (2004) **Neuronal oscillations in cortical networks**  
DOI: [10.1126/science.1099745](https://doi.org/10.1126/science.1099745)

(Atención) Fries et al. (2001) **Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention**  
DOI: [10.1126/science.1055465](https://doi.org/10.1126/science.1055465)

(Memoria) Lisman & Jensen (2013) **The theta-gamma neural code**  
DOI: [10.1016/j.neuron.2013.03.007](https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.03.007)

(Habla) Giraud & Poeppel (2012) **Cortical oscillations and speech processing: emerging computational principles and operations**  
DOI: [10.1038/nn.3063](https://doi.org/10.1038/nn.3063)