

Estacionariedad débil en registros polisomnográficos de adultos mayores

Julio Cesar Enciso Alva

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

6 de Diciembre de 2017

Antecedentes

- Censo Población y Vivienda 2010: 10 millones de AM¹
 - Encuesta Intercensal 2015: 12 y medio millones de AM²
- Posible relación: DC en AM y trastornos del sueño³
- Posible relación: PDC en AM y atrofia del hipocampo + cambios en el EEG⁴
- Epidemiología del DC en Hidalgo: eficiencia del sueño⁵

¹ INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>. Revisado: 2017-11-15.

² INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/encogares/especiales/intercensal/>. Revisado: 2017-11-15.

³ Seiko Miyata y col. "Poor sleep quality impairs cognitive performance in older adults". En: *Journal of Sleep Research* 22.5 (2013), págs. 535-541.

⁴ Pauline Brayet y col. "Quantitative EEG of Rapid-Eye-Movement Sleep: A Marker of Amnestic Mild Cognitive Impairment". En: *Clinical EEG and Neuroscience* 47.2 (2016), págs. 134-141.

⁵ G. R. Vázquez-Tagle Gallegos y col. *Correlación inter-hemisférica durante el sueño MOR del Adulto Mayor con Deterioro Cognitivo*. Congreso Nacional, Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas. Campeche, México. 2016.

Deterioro Cognitivo

Definición (Demencia)

Síndrome que consiste en el desarrollo de déficit cognoscitivos suficientemente graves como para interferir significativamente en las actividades laborales y sociales, respecto al nivel de actividad previo.

Los sujetos con demencia tienen una baja capacidad para aprender información nueva y suelen olvidar lo aprendido anteriormente, siendo éste el síntoma más prominente^a.

^aCelso Arango Lopez. *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales: DSM-5*. Editorial medica panamericana, 2014.

Pruebas neuropsicológicas

- Estado cognoscitivo general
 - Evaluación Neuropsicológica (**Neuopsi**)
 - Mini Mental State Examination (**MMSE**)
- Detectar pseudodemencia depresiva y ansiedad
 - Escala breve para la detección de ansiedad del anciano (**SATS**)
 - Escala de Depresión Geriátrica (**GDS**)
- Detectar cambios en la vida cotidiana
 - Escala sobre las actividades cotidianas de la vida diaria (**KATZ**)

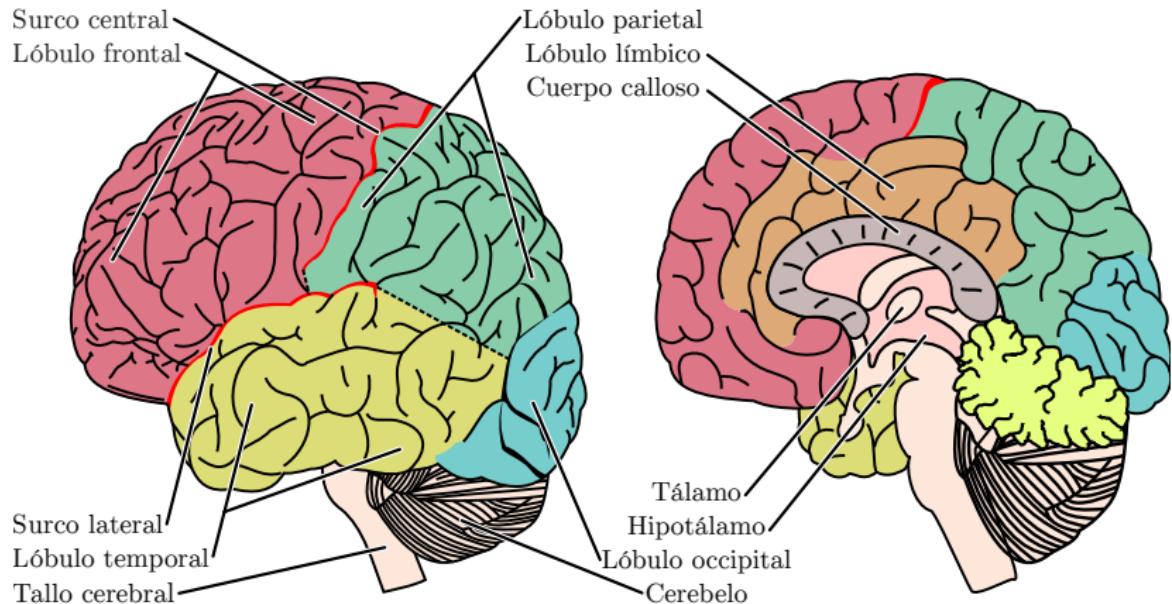
Conceptos

Sueño Proceso vital cíclico complejo y activo

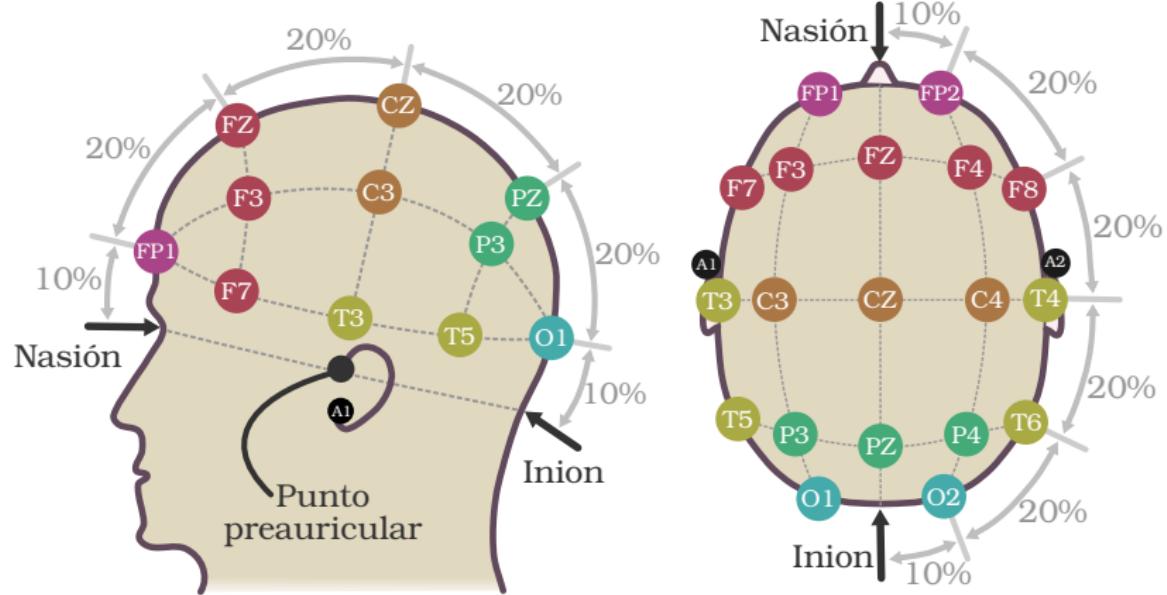
S. MOR Fase más profunda, alta actividad cerebral, se producen ensoñaciones, *sueño paradójico*

- Movimientos oculares rápidos
- Atonía muscular
- Actividad cerebral desincronizada

Sustrato fisiológico

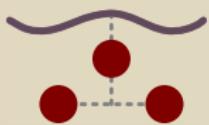


Polisomnograma: EEG

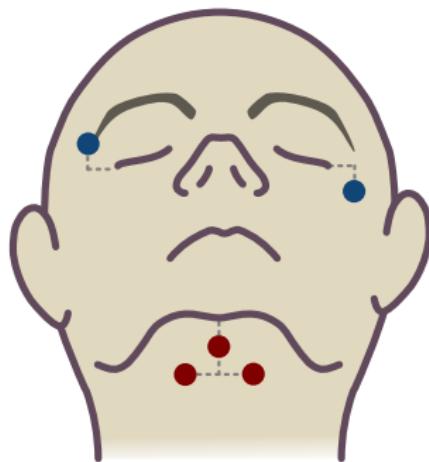


Polisomnograma: EOG + EMG

Actividad muscular



EMG



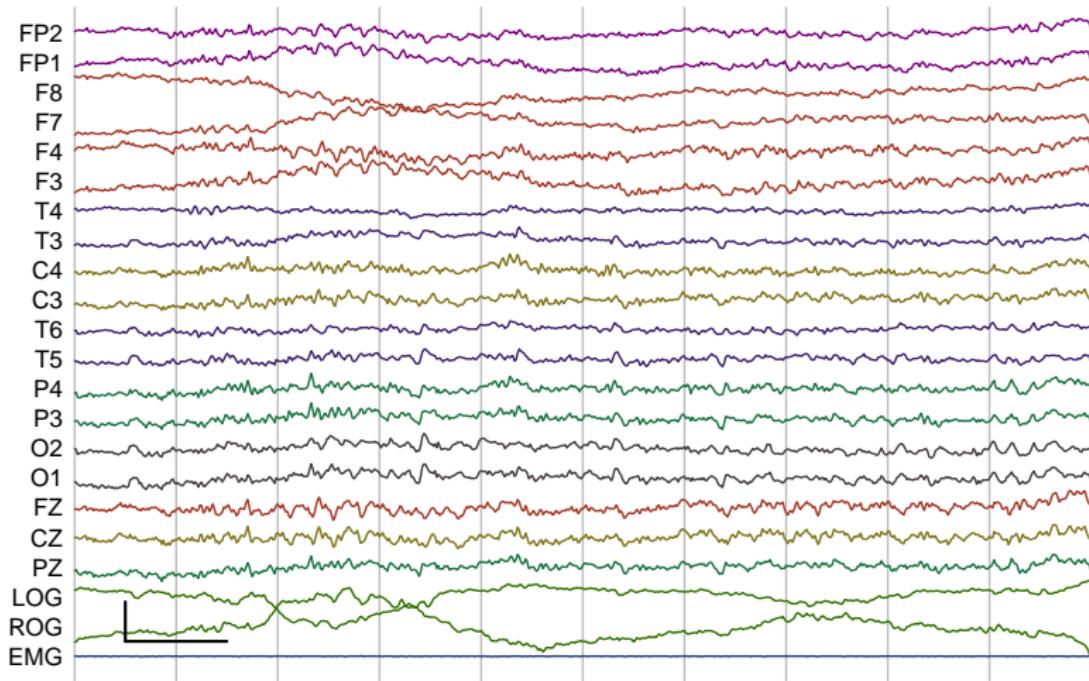
Movimientos oculares



ROG

LOG

Registro de PSG



Conceptos

Definición (Función de densidad espectral, FDE)

Sea $\{X(t)\}$ un proceso estocástico a tiempo continuo, débilmente estacionario

$$h(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left[\frac{|G_T(\omega)|^2}{2T} \right]$$

Donde $G_T(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-T}^T X(t) e^{-i\omega t} dt$

Conceptos

Definición (Estacionariedad débil)

Un proceso estocástico es débilmente estacionario si y sólo si para cualesquiera tiempos admisibles t, s se tiene que

- $E[X(t)] = \mu_X$
- $\text{Var}(X(t)) = \sigma_X^2$
- $\text{Cov}(X(t), X(s)) = \rho_X(s - t)$

Con μ_X, σ_X^2 constantes, $\rho_X(\tau)$ únicamente depende de τ

Teorema (Wiener-Khinchin)

Una condición suficiente y necesaria para que ρ sea función de autocorrelación para algún proceso a tiempo continuo débilmente estacionario y estocásticamente continuo, $\{X(t)\}$, es que exista una función F tal que

- Es monótonamente creciente
- $F(-\infty) = 0$
- $F(+\infty) = 1$
- Para todo $\tau \in \mathbb{R}$ se cumple que

$$\rho(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega\tau} dF(\omega)$$

Representación de Wold-Cramér

Teorema

Sea $\{X(t)\}$ un proceso a tiempo continuo, débilmente estacionario, estocásticamente continuo, de media 0 y varianza finita. Entonces, existe un proceso ortogonal $\{Z(\omega)\}$ tal que

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\omega} dZ(\omega)$$

El proceso $\{Z(t)\}$ cumple para todo ω

- $E[dZ(\omega)] = 0$
- $E[|dZ(\omega)|^2] = dH(\omega)$
- $Cov(dZ(\omega), dZ(\lambda)) = 0 \Leftrightarrow \omega \neq \lambda$

Con H la SDF integrada de $\{X(t)\}$

Espectro evolutivo

Se consideran procesos no-estacionarios, estocásticamente continuos, de media cero y varianza finita, y que admitan una representación de la forma

$$X(t) = \int_{-\pi}^{\pi} A(t, \omega) e^{it\omega} dZ(\omega)$$

tal que

- $\text{Cov}(dZ(\omega), dZ(\lambda)) = 0 \Leftrightarrow \omega \neq \lambda$
- $E[|dZ(\omega)|^2] = \mu(\omega)$

El **espectro evolutivo** fue definido por Priestley⁶ como

$$f(t, \omega) = |A(t, \omega)|^2$$

⁶Maurice B Priestley. "Evolutionary Spectra and Non-stationary Processes". En: *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 27.2 (1965), págs. 204-237.

Definición (Estimador de doble ventana)

Se define a \widehat{f} , estimador para la f , como

$$\widehat{f}(t, \omega) = \int_{t-T}^t w_T(u) |U(t-u, \omega)|^2 du$$

- $U(t, \omega) = \int_{t-T}^t g(u) X(t-u) e^{i\omega(t-u)} du$
- $2\pi \int_{-\infty}^{\infty} |g(u)|^2 du = \int_{-\infty}^{\infty} |\Gamma(\omega)|^2 d\omega = 1$
- $w_\tau(t) \geq 0$ para cualesquiera t, τ
- $w_\tau(t) \rightarrow 0$ cuando $|t| \rightarrow \infty$, para todo τ
- $\int_{-\infty}^{\infty} w_\tau(t) dt = 1$ para todo τ
- $\int_{-\infty}^{\infty} (w_\tau(t))^2 dt < \infty$ para todo τ
- $\exists C$ tal que $\lim_{\tau \rightarrow \infty} \tau \int_{-\infty}^t |W_\tau(\lambda)|^2 d\lambda = C$

Proposición

El estimador $Y(t, \omega) = \log(\hat{f}(t, \omega))$ satisface que

- $E[Y(t, \omega)] \approx \log(f(t, \omega))$
- $\text{Var}(Y(T, \omega)) \approx \frac{C}{\tau} \int_{-\infty}^{\infty} |\Gamma(\theta)|^4 d\theta$

Más aún, puede escribirse

$$Y(t, \omega) = \log(f(t, \omega)) + \varepsilon(t, \omega)$$

donde las variables $\varepsilon(t, \omega)$ satisfacen que

- $E[\varepsilon(t, \omega)] = 0$
- $\text{Var}(\varepsilon(t, \omega)) \approx \frac{C}{\tau} \int_{-\infty}^{\infty} |\Gamma(\theta)|^4 d\theta$

Sujetos

Criterios de inclusión:

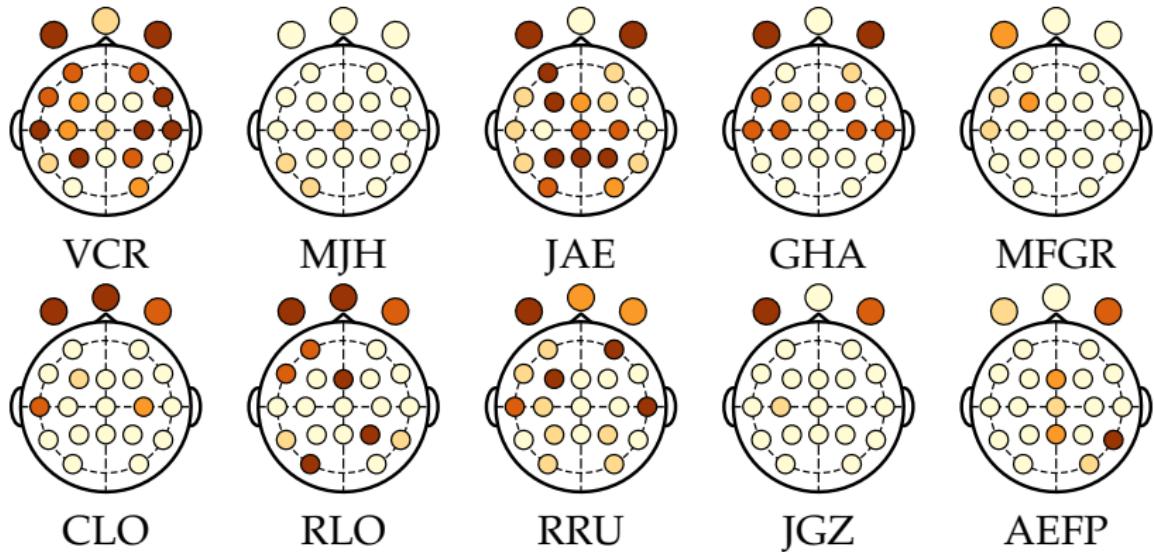
- Firma del consentimiento informado
- Edad entre 60 y 85 años
- Diestros (mano derecha dominante)
- Sin ansiedad, depresión o síndromes focales
- No usar medicamentos o sustancias para dormir
- Voluntario para el registro de PSG

10 participantes: 5 CTL, 5 PDC

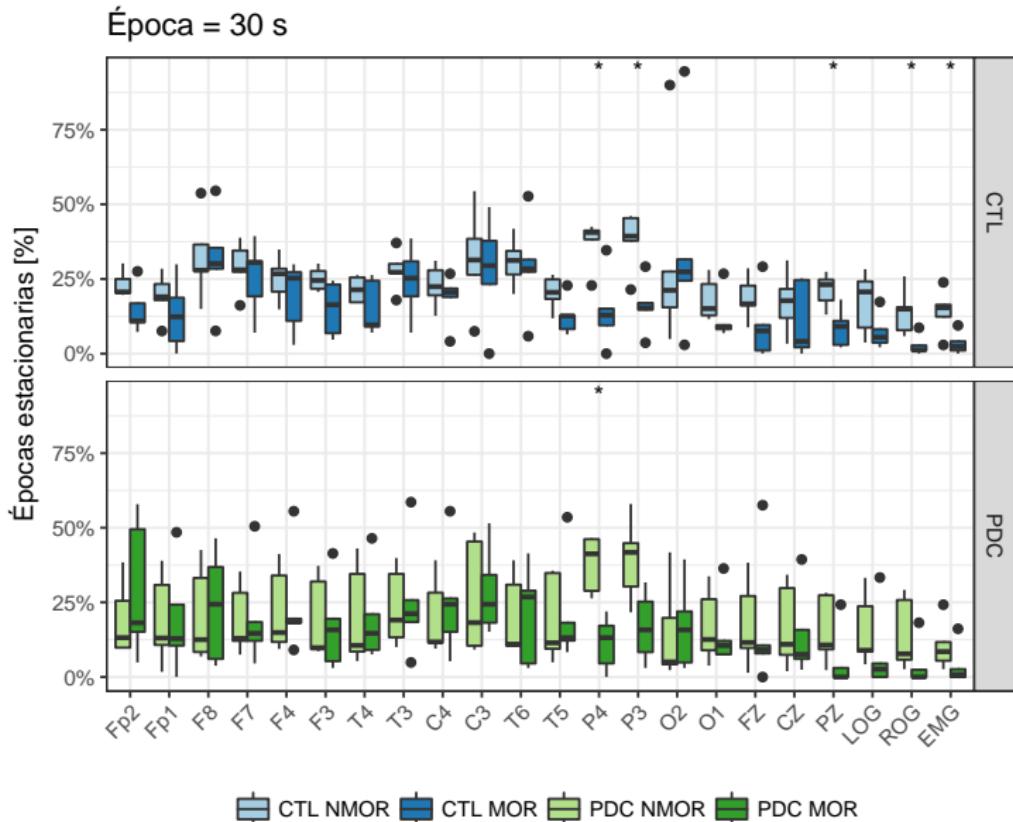
Análisis de estacionariedad

- Cada época fue clasificada **estacionaria en el sentido de PSR** no se rechaza la hipótesis de estacionariedad ($\alpha < 0.05$)
- Debido a la variabilidad entre sujetos, se consideró la proporción de épocas estacionarias
- El énfasis de las comparaciones es entre MOR y NMOR

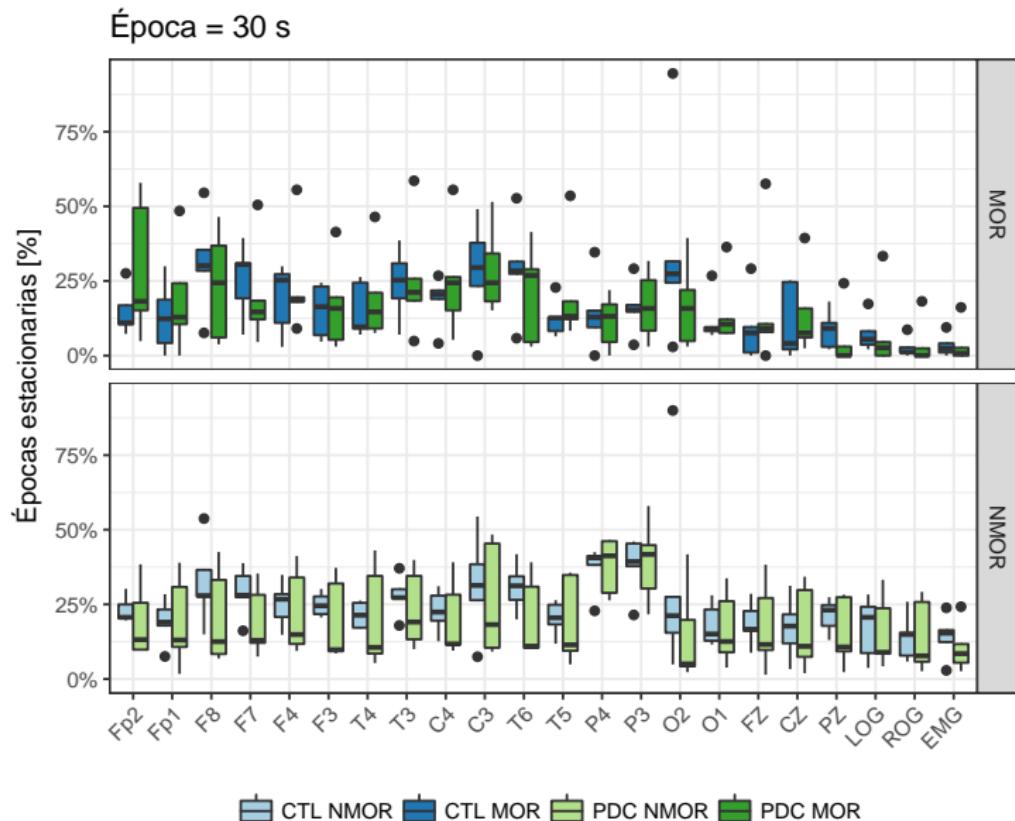
MOR vs NMOR, individual



MOR vs NMOR, grupal

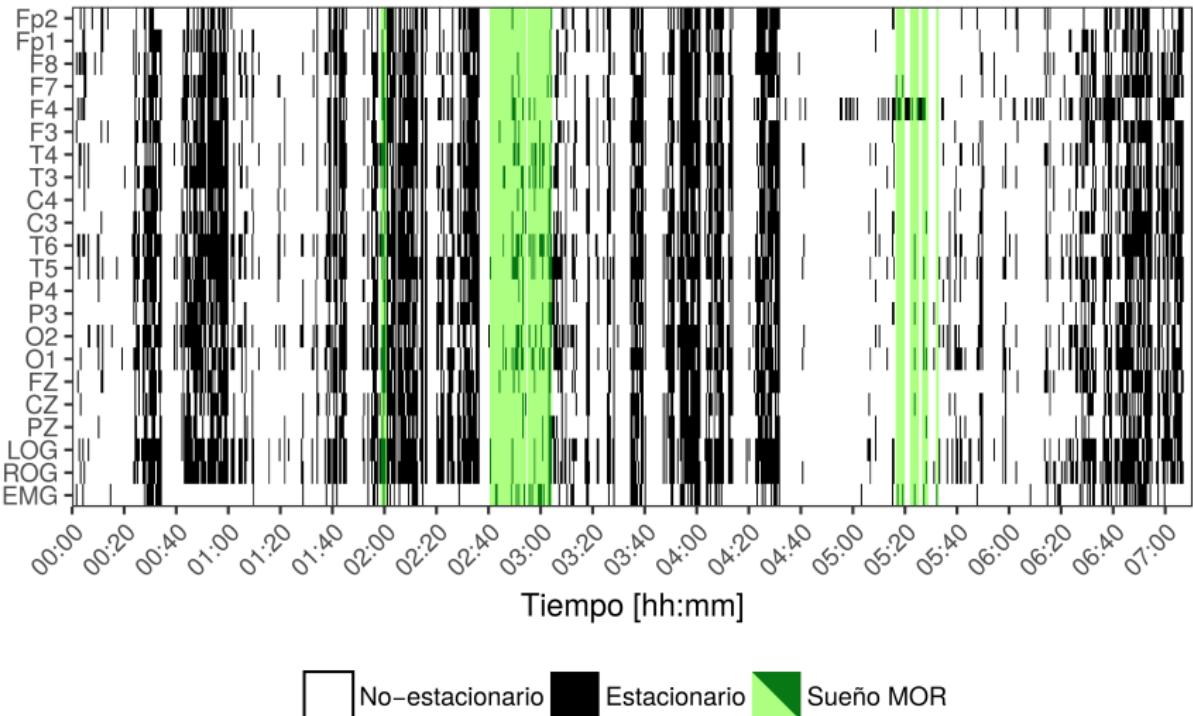


Gpo. Control vs Gpo. PDC



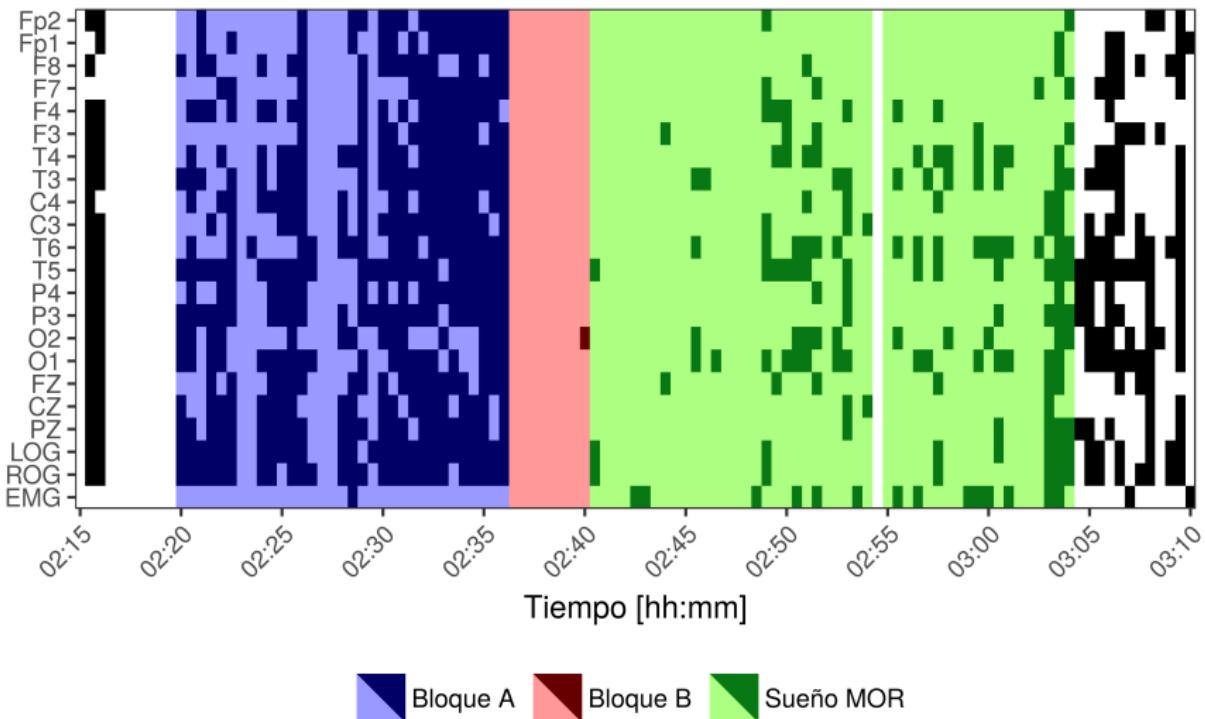
Patrones visuales

Participante: VCR | Grupo: CTL

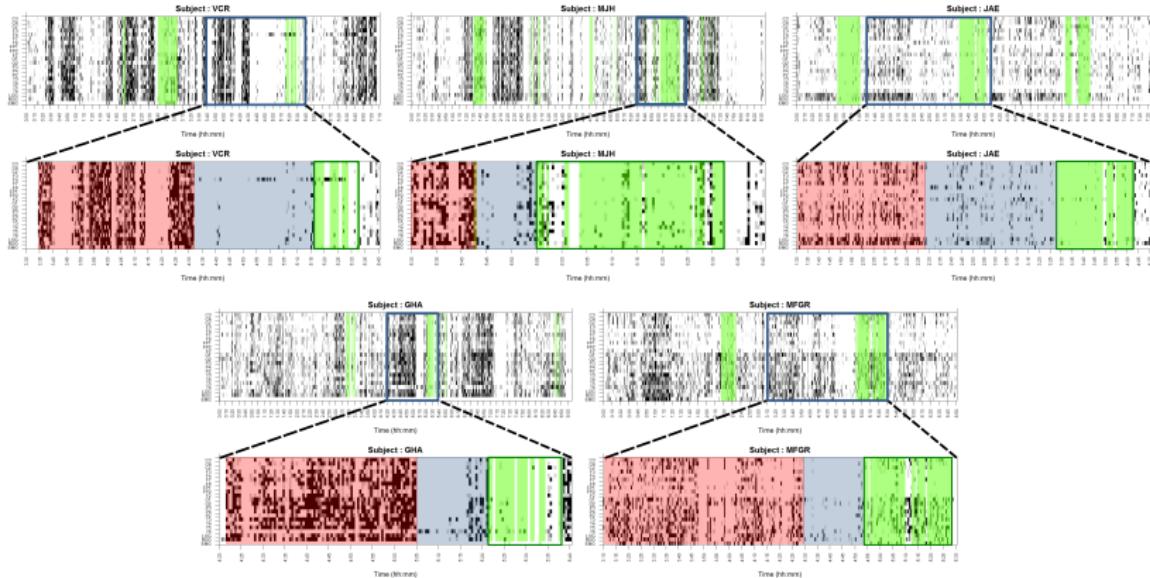


Patrones visuales: sueño MOR

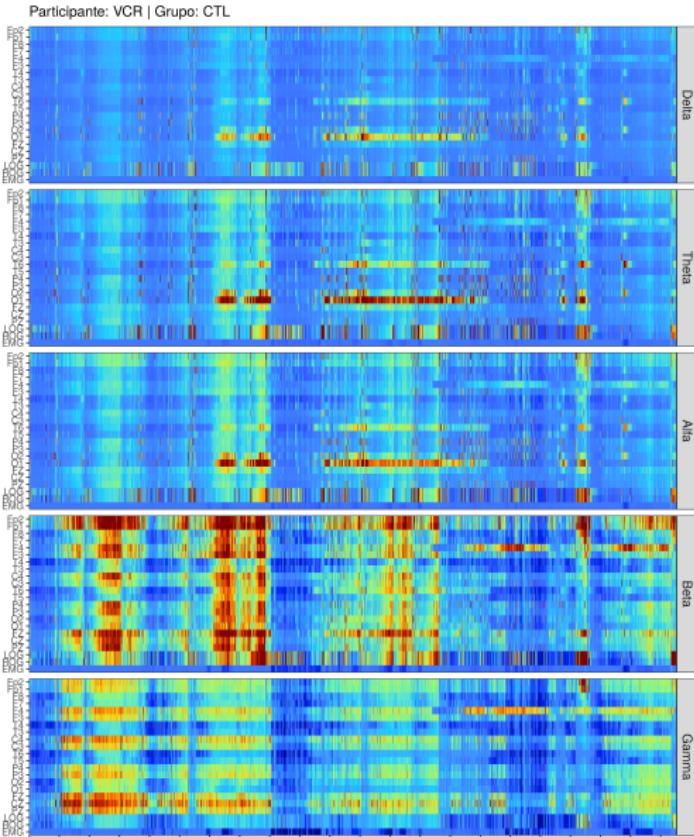
Participante: VCR | Grupo: CTL



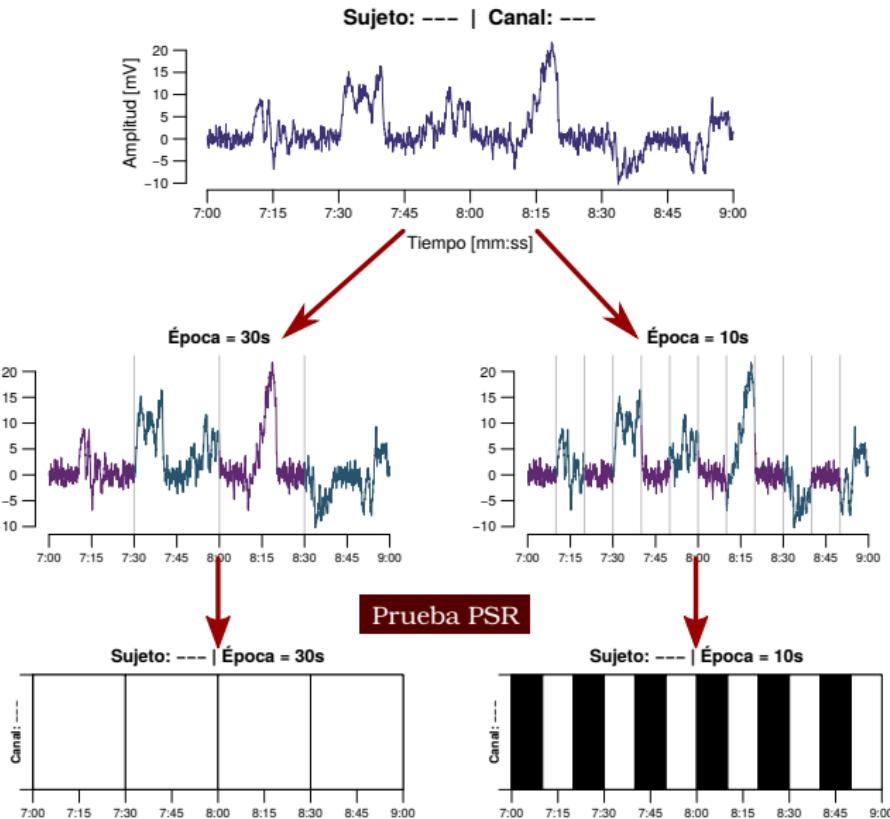
Los patrones son consistentes



Estacionariedad y espectro de potencias



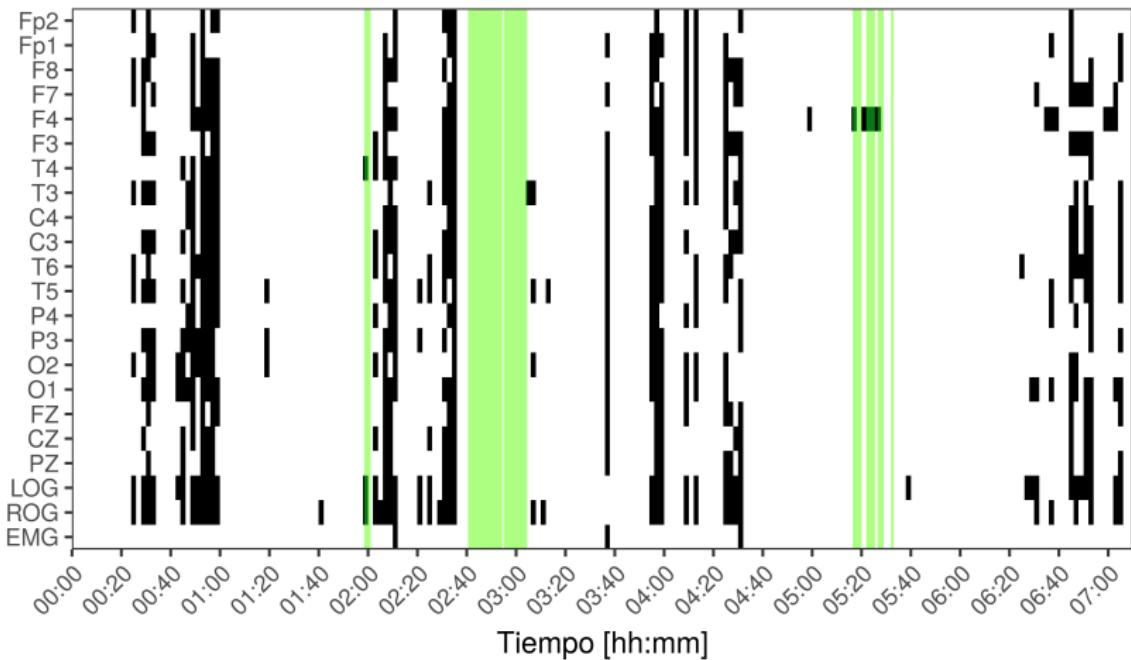
Diferentes tamaños de ventana



¿Ventanas muy grandes?

Participante: VCR | Grupo: CTL

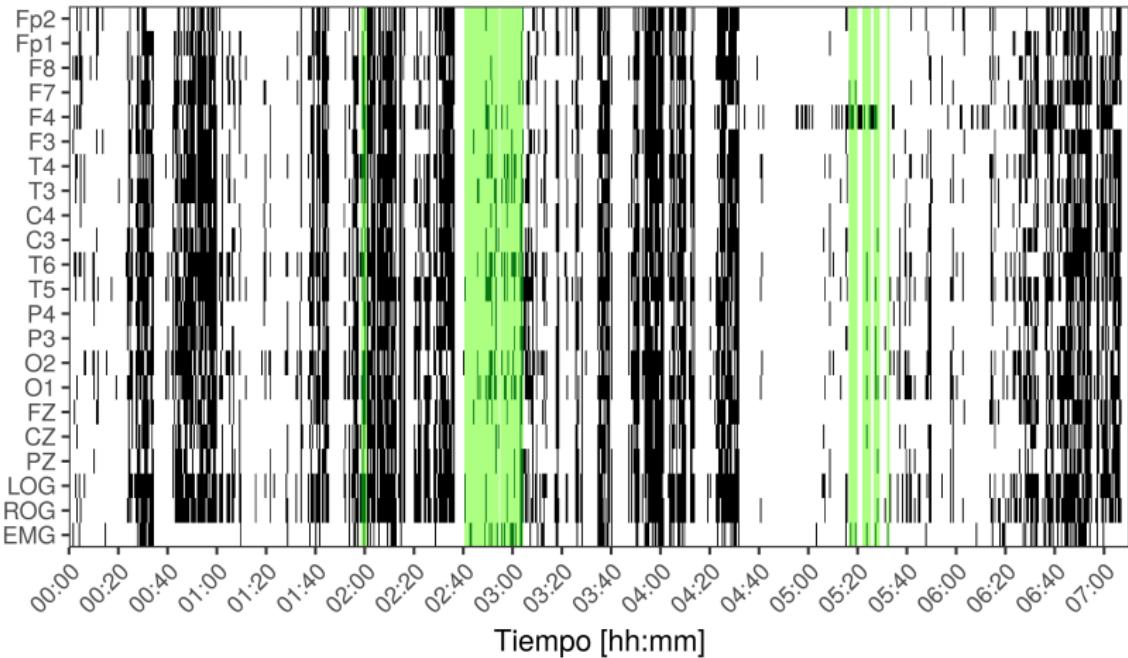
Época = 120



Ventanas de tamaño estándar

Participante: VCR | Grupo: CTL

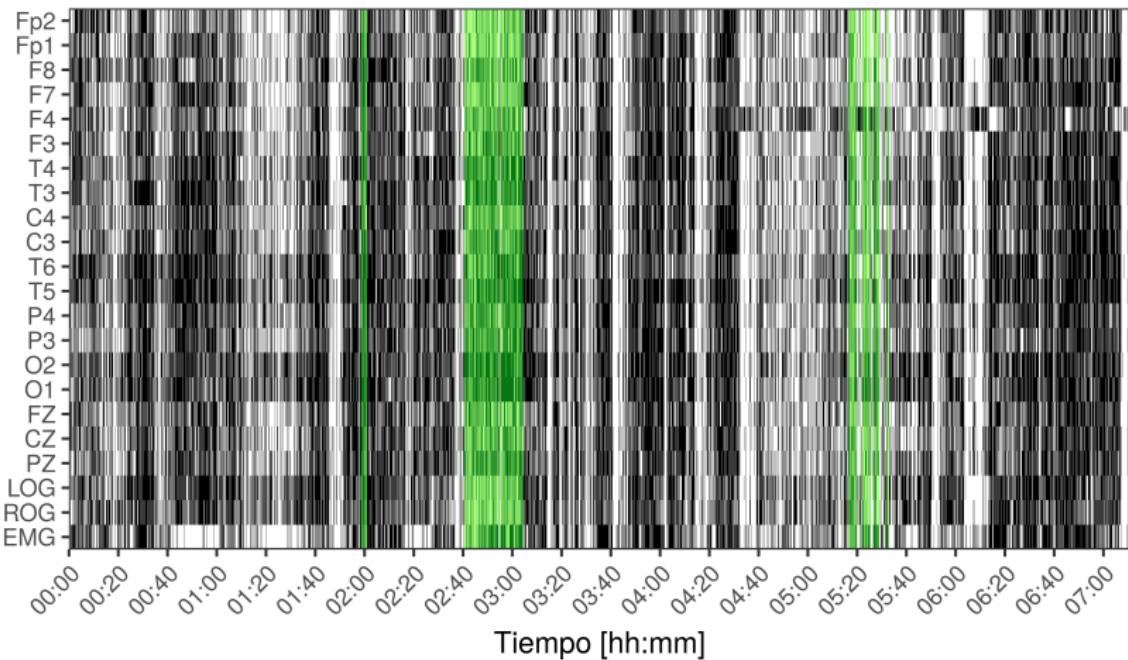
Época = 30



¿Ventanas muy chicas?

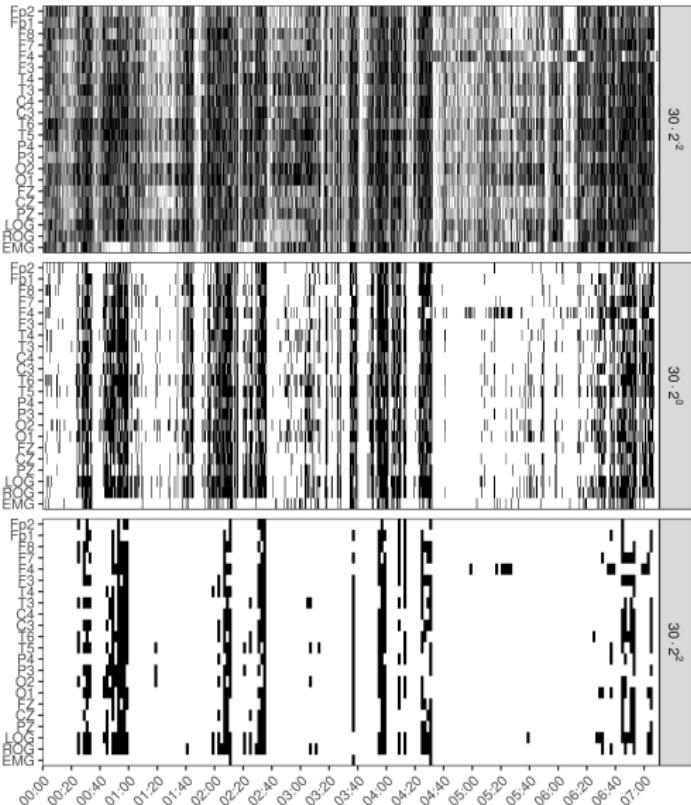
Participante: VCR | Grupo: CTL

Época = 7.5

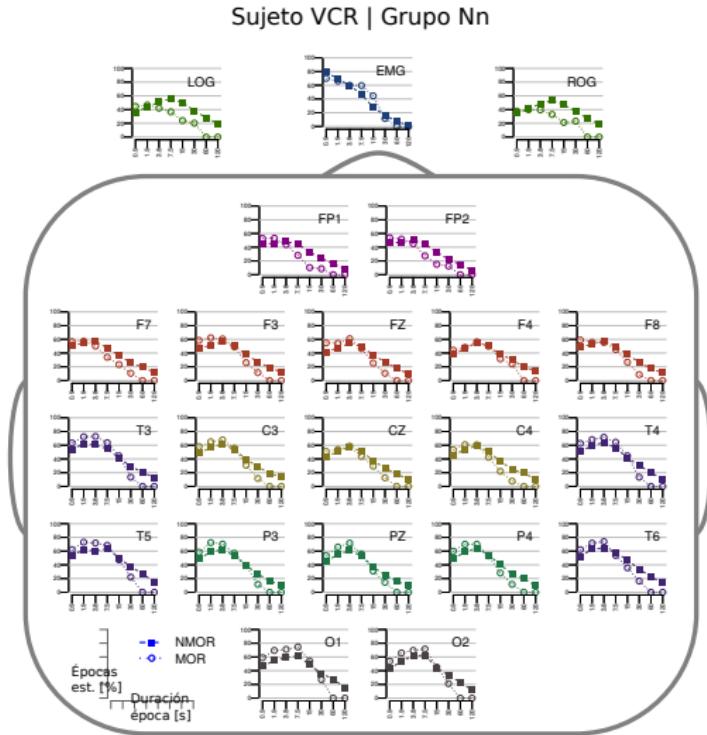


Escalamiento y homogeneidad

Participante: VCR | Grupo: CTL



¡Series de tiempo cortas y no-estacionarias!



Conclusiones

- Presencia proporcional de estacionariedad débil, significativamente diferente en MOR vs NMOR en grupo Control
- Patrones visuales, predicen parcialmente sueño MOR
- Registros de PSG en AM, localmente estacionarias

Gracias por su atención

El cerebro es, quizá,
el único órgano del
cuerpo humano capaz
de estudiarse
así mismo

