

# Estacionariedad débil en registros polisomnográficos

Como marcador de posible deterioro cognitivo en adultos  
mayores

---

Julio Cesar Enciso Alva

Enero de 2018

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

# Introducción

---

- Encuesta Intercensal 2015 (INEGI): 12,500,000 adultos mayores, 10.4 % de la población<sup>1</sup>
- Posible relación trastornos del sueño y DC en la vejez<sup>2</sup>
- Epidemiología del DC en Hidalgo: eficiencia del sueño<sup>3</sup>
- Se buscan marcadores clínicos para el diagnóstico de DC

---

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*.

<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>. Revisado: 2017-11-15.

<sup>2</sup>Seiko Miyata y col. "Poor sleep quality impairs cognitive performance in older adults". En: *Journal of Sleep Research* 22.5 (2013), págs. 535-541.

<sup>3</sup>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.

¿La caracterización de registros de PSG como series de tiempo débilmente estacionarias, puede ser usada como marcador diagnóstico del deterioro cognitivo en adultos mayores?

# 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  $\mu_X, \sigma_X^2$  constantes,  $\rho_X(\tau)$  únicamente depende de  $\tau$*

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

## Teorema (Wiener-Khinchin)

*Una condición suficiente y necesaria para que  $\rho$  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  $\omega$*

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

*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 Priestley<sup>4</sup> como

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

---

<sup>4</sup>Maurice 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  $\hat{f}$ , estimador para la  $f$ , como

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

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

## Proposición

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

- $E[Y(t, \omega)] \approx \log(f(t, \omega))$  item

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

Más aún, puede escribirse

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

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

- $E[\varepsilon(t, \omega)] = 0$

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

# Metodología

---

## 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**

# Participantes

|                  | Sexo | Edad | Escol. | Neuropsi | MMSE | SATS | KATZ | GDS |
|------------------|------|------|--------|----------|------|------|------|-----|
| <b>Grupo CTL</b> |      |      |        |          |      |      |      |     |
| VCR              | F    | 59   | 12     | 107      | 29   | 21   | 0    | 3   |
| MJH              | F    | 72   | 9      | 113      | 30   | 18   | 0    | 0   |
| JAE              | F    | 78   | 5      | 102      | 28   | 19   | 0    | 5   |
| GHA              | M    | 65   | 9      | 107.5    | 30   | 23   | 0    | 7   |
| MFGR             | F    | 67   | 11     | 115      | 30   | 18   | 0    |     |
| $\hat{\mu}$      |      | 68.2 | 9.2    | 108.9    | 29.4 | 19.8 | 0.0  | 3.0 |
| $\hat{\sigma}$   |      | 7.2  | 2.7    | 5.2      | 0.9  | 2.2  | 0.0  | 3.0 |
| <b>Grupo PDC</b> |      |      |        |          |      |      |      |     |
| CLO              | F    | 68   | 5      | 81       | 28   | 22   | 1    | 6   |
| RLO              | F    | 63   | 9      | 90       | 29   | 20   | 0    | 3   |
| RRU              | M    | 69   | 9      | 85       | 27   | 10   | 0    | 3   |
| JGZ              | M    | 65   | 11     | 87       | 25   | 20   | 0    | 1   |
| AEFP             | M    | 73   | 8      | 96       | 29   |      | 0    | 2   |
| $\hat{\mu}$      |      | 67.6 | 8.4    | 87.8     | 27.4 | 18.0 | 0.2  | 3.0 |
| $\hat{\sigma}$   |      | 3.4  | 2.2    | 5.6      | 1.8  | 5.4  | 0.4  | 1.9 |

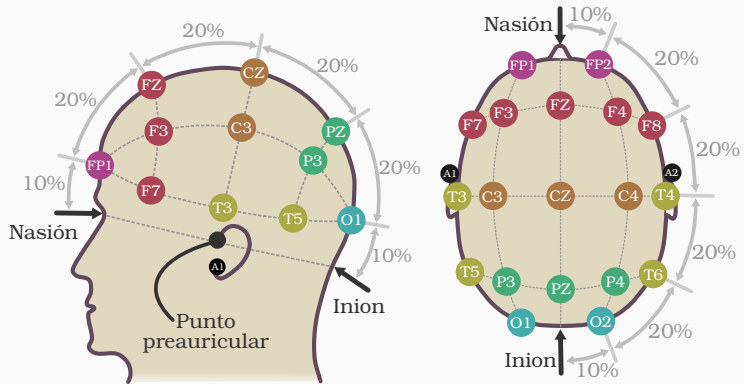
**Sueño** Proceso vital cíclico complejo y activo

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

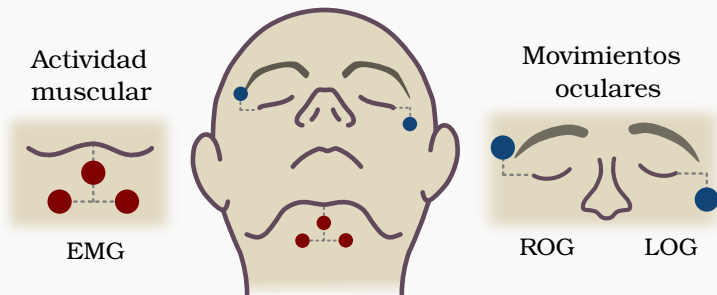
- Movimientos oculares rápidos
- Atonía muscular
- Actividad cerebral desincronizada



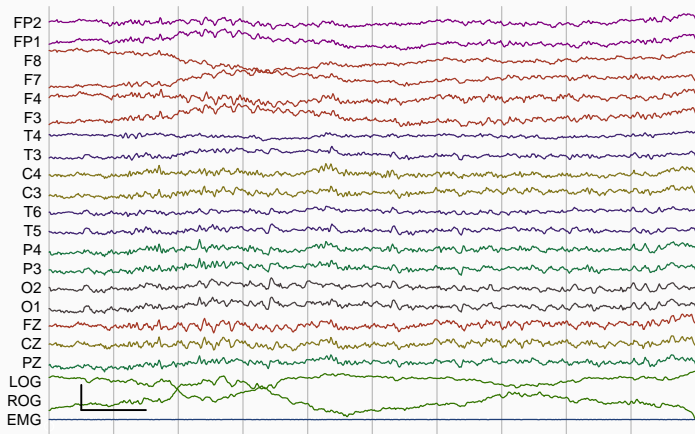
# Polisomnograma: EEG



# Polisomnograma: EOG + EMG



# Registro de PSG



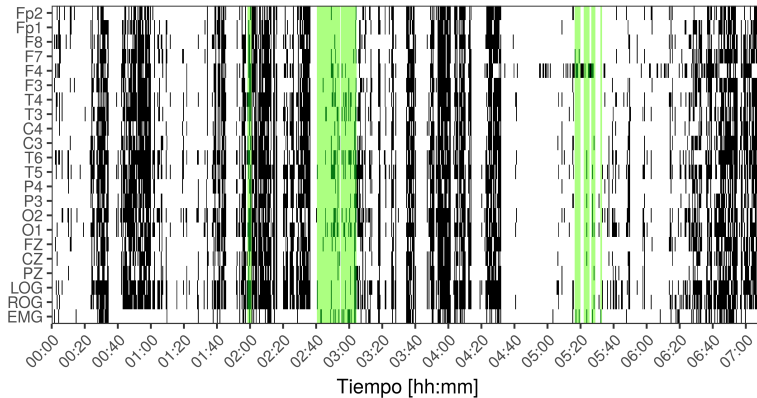
# Registro de PSG

|                | Frecuencia de muestreo [Hz] | Total    |          | MOR*    |         |       |
|----------------|-----------------------------|----------|----------|---------|---------|-------|
|                |                             | Puntos   | Tiempo   | Puntos  | Tiempo  | %     |
| Grupo CTL      |                             |          |          |         |         |       |
| VCR            | 200                         | 5166000  | 7:10:30  | 438000  | 0:36:30 | 8.48  |
| MJH            | 512                         | 15851520 | 8:36:00  | 1950720 | 1:03:30 | 12.31 |
| JAE            | 512                         | 13931520 | 7:33:30  | 2626560 | 1:25:30 | 18.85 |
| GHA            | 200                         | 6558000  | 9:06:30  | 330000  | 0:27:30 | 5.03  |
| MFGR           | 200                         | 4932000  | 6:51:00  | 570000  | 0:47:30 | 11.56 |
| $\hat{\mu}$    |                             |          | 7:51:30  |         | 0:52:06 | 11.25 |
| $\hat{\sigma}$ |                             |          | 0:57:36  |         | 0:23:00 | 5.13  |
| Grupo PDC      |                             |          |          |         |         |       |
| CLO            | 512                         | 14499840 | 7:52:00  | 2027520 | 1:06:00 | 13.98 |
| RLO            | 512                         | 12994560 | 7:03:00  | 1520640 | 0:49:30 | 11.70 |
| RRU            | 200                         | 2484000  | 3:27:00  | 228000  | 0:19:00 | 9.18  |
| JGZ            | 512                         | 18539520 | 10:03:30 | 506880  | 0:16:30 | 2.73  |
| AEFP           | 512                         | 14699520 | 7:58:30  | 629760  | 0:20:30 | 4.28  |
| $\hat{\mu}$    |                             |          | 7:16:48  |         | 0:34:18 | 8.38  |
| $\hat{\sigma}$ |                             |          | 2:24:43  |         | 0:22:14 | 4.79  |

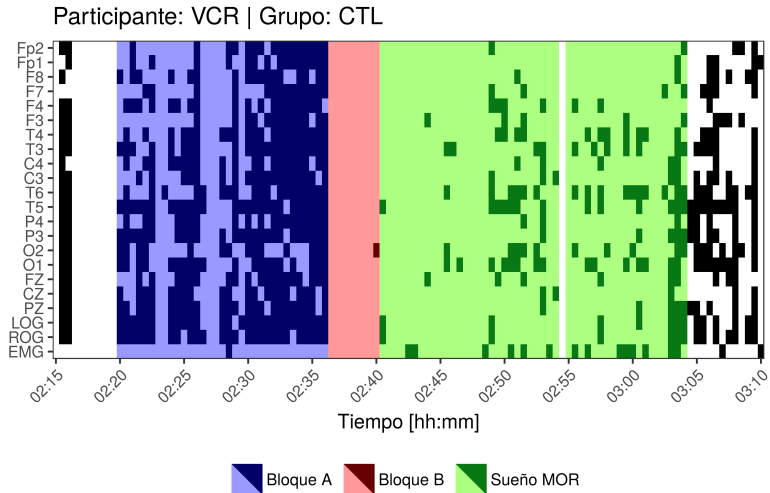
- Cada época fue clasificada **estacionaria en el sentido de PSR** no se rechaza la hipótesis de estacionariedad ( $\alpha < 0.05$ )
- Debido a la variabilidad entre sujetos, se consideró la proporción de épocas estacionarias
- El énfasis de las comparaciones es entre MOR y NMOR

# Patrones visuales

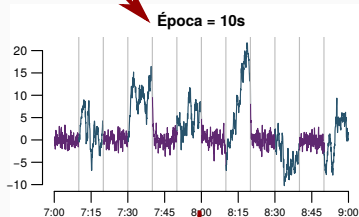
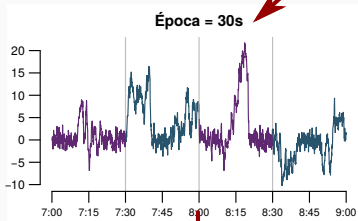
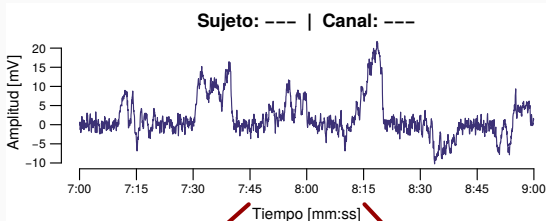
Participante: VCR | Grupo: CTL



# Patrones visuales



# Diferentes tamaños de ventana



Prueba PSR

Sujeto: --- | Época = 30s

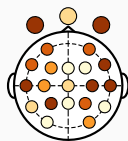


Sujeto: --- | Época = 10s

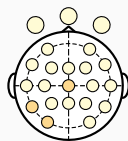




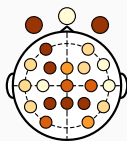
# MOR vs NMOR, individual



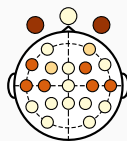
VCR



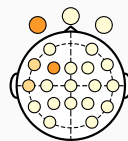
MJH



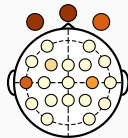
JAE



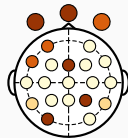
GHA



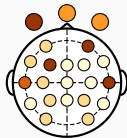
MFGR



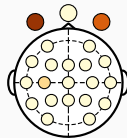
CLO



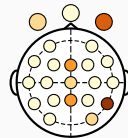
RLO



RRU

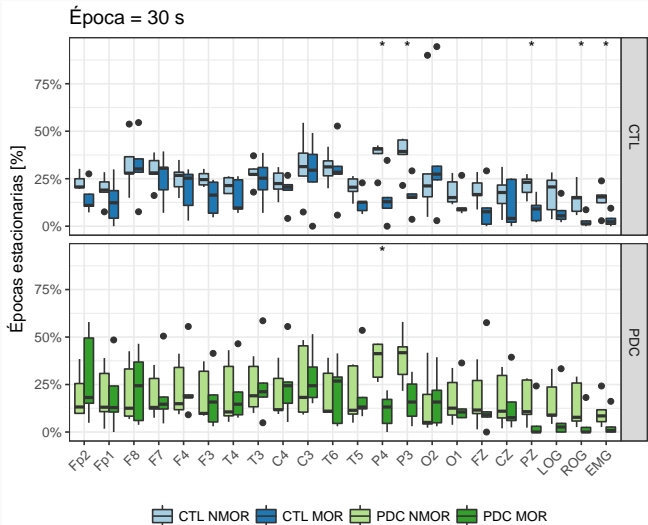


JGZ

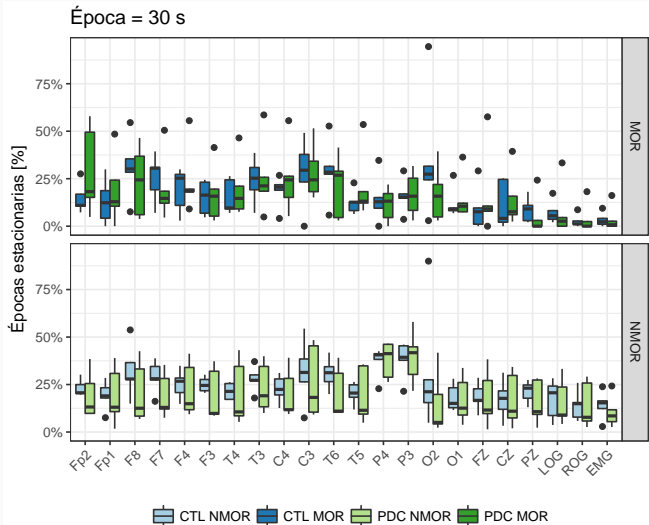


AEFP

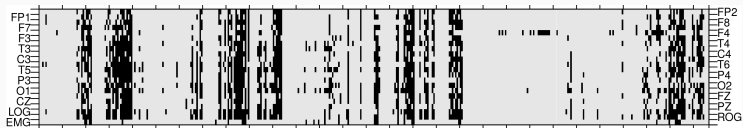
# MOR vs NMOR, grupal



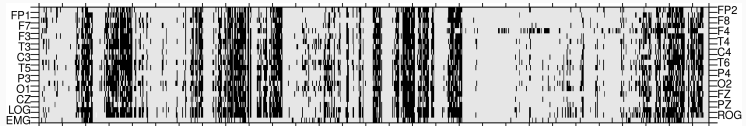
# Gpo. Control vs Gpo. PDC



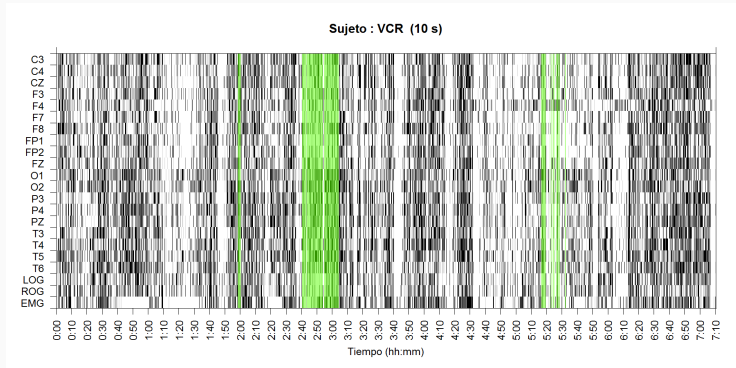
# Sobre el tamaño de la época



# Sobre el tamaño de la época

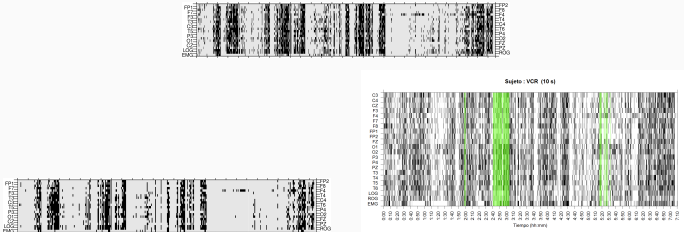


# Sobre el tamaño de la época



# Sobre el tamaño de la época

## Estacionariedad local<sup>5</sup>



<sup>5</sup>Bernard Allan Cohen y Anthony Sances. "Stationarity of the human electroencephalogram". En: *Medical and Biological Engineering and Computing* 15.5 (1977), págs. 513-518.

- Presencia proporcional de estacionariedad débil, significativamente diferente en MOR vs NMOR en grupo Control
- Análisis para un AM con parálisis facial, detectó este padecimiento
- Consistente con trabajos anteriores
- Patrones visuales, predicen parcialmente sueño MOR en el grupo Control
- Registros de PSG en adultos mayores, localmente estacionarias



- Porcentaje estacionariedad, patrones visuales: marcadores de no-DC
- Marcador conocido del DC: 'enlentecimiento' de actividad cerebral<sup>6</sup>
- Prueba de Priestley-Subba Rao: estimadores locales para SDF
  - Los estimadores usados ¿pueden detectar enlentecimiento?
- Patrones visuales, auxiliares para detección de MOR en de PSG
  - Identificabilidad de MOR a través de patrones, ¿marcador clínico?

---

<sup>6</sup>Becerra12.

**Gracias por su atención**

---