

# Neuromonitoreo multimodal Integrado

---

La información que no vemos. El desafío de integrar señales.

---

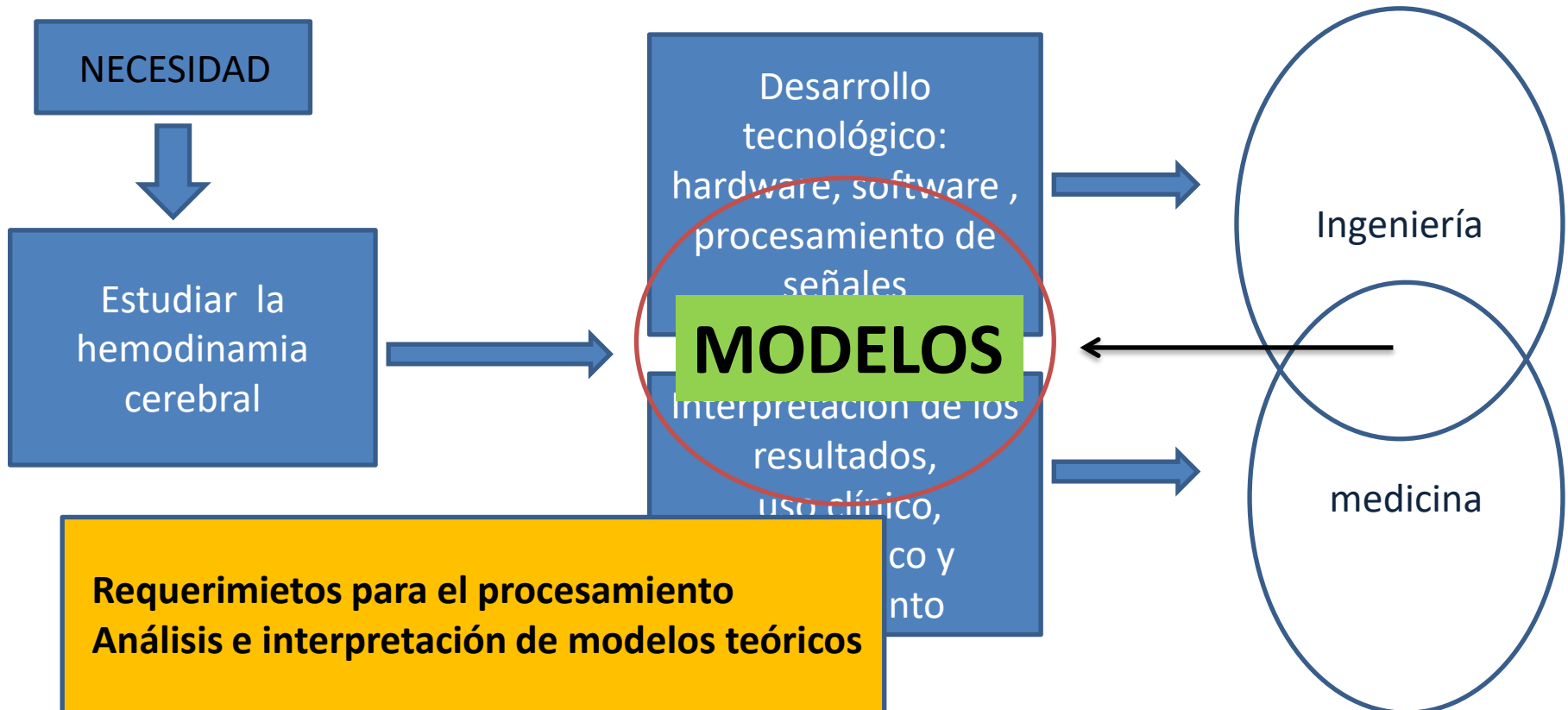
Bernardo Yelicich  
Ingeniero Electricista

Laboratorio de Hemodinamia Intracraneana  
Grupo de Neuroreanimación  
Unidad Académica de Medicina Intensiva

# Grupo de Neuromonitoreo- Neuroreanimación

## Historia:

- 2004 - 2005 – Dra. Puppo , Ing. Hector Gómez , Dr. Leandro Moraes , Ing. Jorge Camacho
  - Ponencia de D. H. Evans en Facultad de Ciencias 2004
- 2006 - Bernardo Yelicich.



# Áreas de investigación

Estudio de la hemodinamia cerebral en distintas patologías y en sanos.

- Auto  
– Pre
- Com
- Presión crítica de cierre
- Estudio dinámico de presiones y flujo
- Comparación de medidas (presiones) de distintos equipamientos.

## **INTEGRACIÓN DE SEÑALES**

**Monitoreo múltiple**

**Monitoreo multimodal**

ma)

# Otras áreas de investigación y/o desarrollo

- Bomba de enfriamiento (hipotermia) cerebral selectiva (MOSQUITO)
- Sistema para la gestión y control de uso de psicofármacos (iCOUNTER)
- Sistema para la detección precoz de obstrucciones en el tubo de ventilación mecanizada

# MOSQUITO



# FANTOMA MOSQUITO



Hidrogel de colágeno

# FANTOMA MOSQUITO



Dura madre

# FANTOMA MOSQUITO



Resistor 20W



# ESQUEMA GENERAL

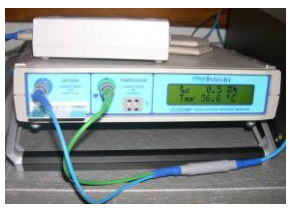
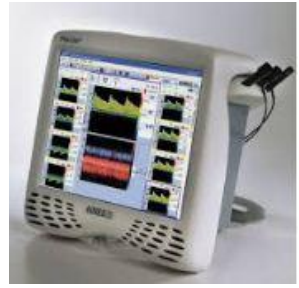


PACIENTE

MONITOR MULTI-FUNCIÓN  
CARDIOPAC SG-SERIES



DOPPLER TRANSCRANEAL  
TC2-64B , EME , GERMANY



Fotopletismografía en el Dedo

SALIDA

- ECG
- PA (PAM)
- PIC
- PANI
- VFSC (FV)
- rSO2
- PTIO2
- CO2



Concentración  
adquisición

Sincronizadas en el tiempo  
Y en un formato estándar

VARIABLES/SEÑALES

BIOLOGICAS/VITALES

Se necesita adquirir toda la señal (forma de onda), no solo los promedios o datos puntuales.

Monitores pueden tener:

- Salida analógica
- Salida digital

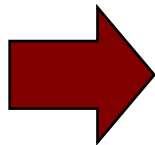
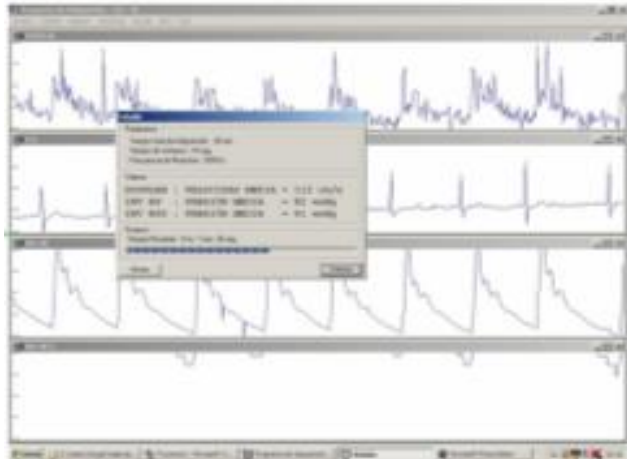


**SINCRONIZADOS**

# ESQUEMA GENERAL



ADQUISICIÓN



# GESTIÓN

Reporte estudio 145 | Lucio Pino

id	nombre
145	Lucio Pino
144	252005-2021
143	Rafael Darcangelo
142	Rafael Darcangelo
141	192005-1959
140	192005-1959
139	Ed Perez
138	Ed Perez
137	Ed Perez
136	Ed Perez
135	Ed Perez
134	252009-2010
133	perez
132	252009-2010
131	382005-2051
130	382005-2048
129	giler perez
128	2712006-2211
127	2712006-2059
126	2712006-1919

**DATOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO NUMERO 145**

Paciente: Lucio Pino  
Sexo: Masculino  
Fecha de nacimiento: 01/01/1951  
Edad al momento del estudio: 54

**DATOS DEL ESTUDIO**

Fecha del Estudio: 10/01/2005  
Responsable: CP  
Hospital: HC  
Sala:  
Cama:

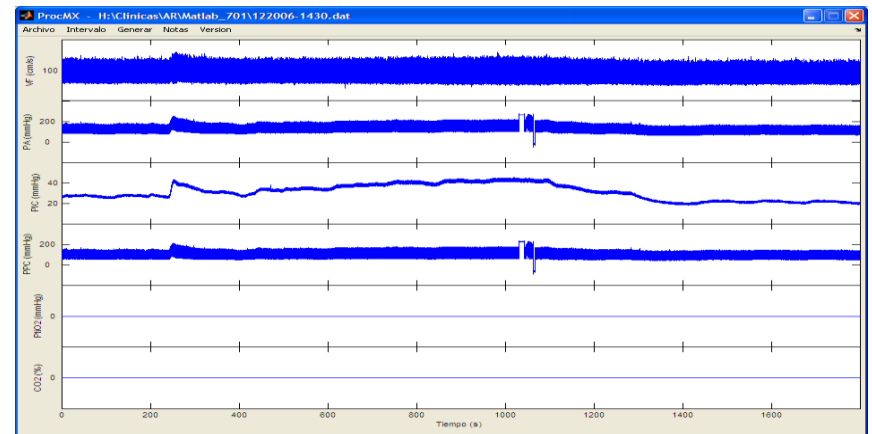
**Comentario:**  
Fecha : 10/17/05 Hora : 3:27:46 PM Tiempo Transcurrido : 0 hs. 3 min. 59 seg.119500%lucio pino 54 años , ptg, tec grave, no quirurgico. tc craneo que evidencia hed derecho. tc control evidencia peoria , hinchazon cerebral.pic menores a 20, no ha requerido medidas especificas.gcs motor 5.tmf grave, y trauma de torax grave.%Fecha : 10/17/05 Hora : 3:28:31 PM Tiempo Transcurrido : 0 hs. 4 min. 43 seg.141500%ETCO2 DE INICIO 40.TR 37,5%Fecha : 10/17/05 Hora : 3:28:52 PM Tiempo Transcurrido : 0 hs. 5 min. 4 seg.152000%BASAL 10 MBW%

**MANIOBRAS realizadas al paciente**  
no hay datos

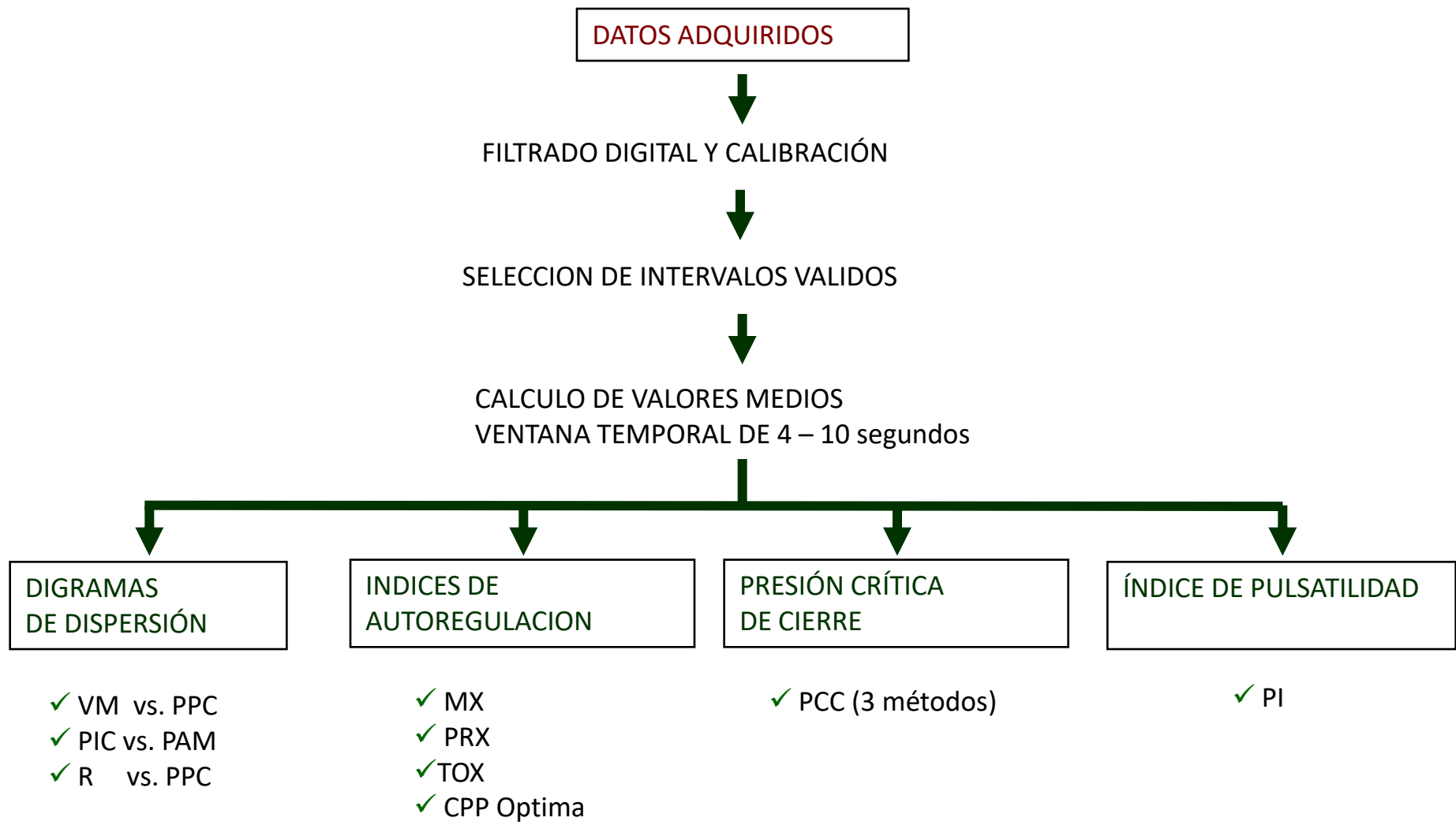
**INDICE DE INTENSIDAD TERAPÉUTICA (TIL)**  
no hay datos

**VALORES AL COMIENZO DEL ESTUDIO**

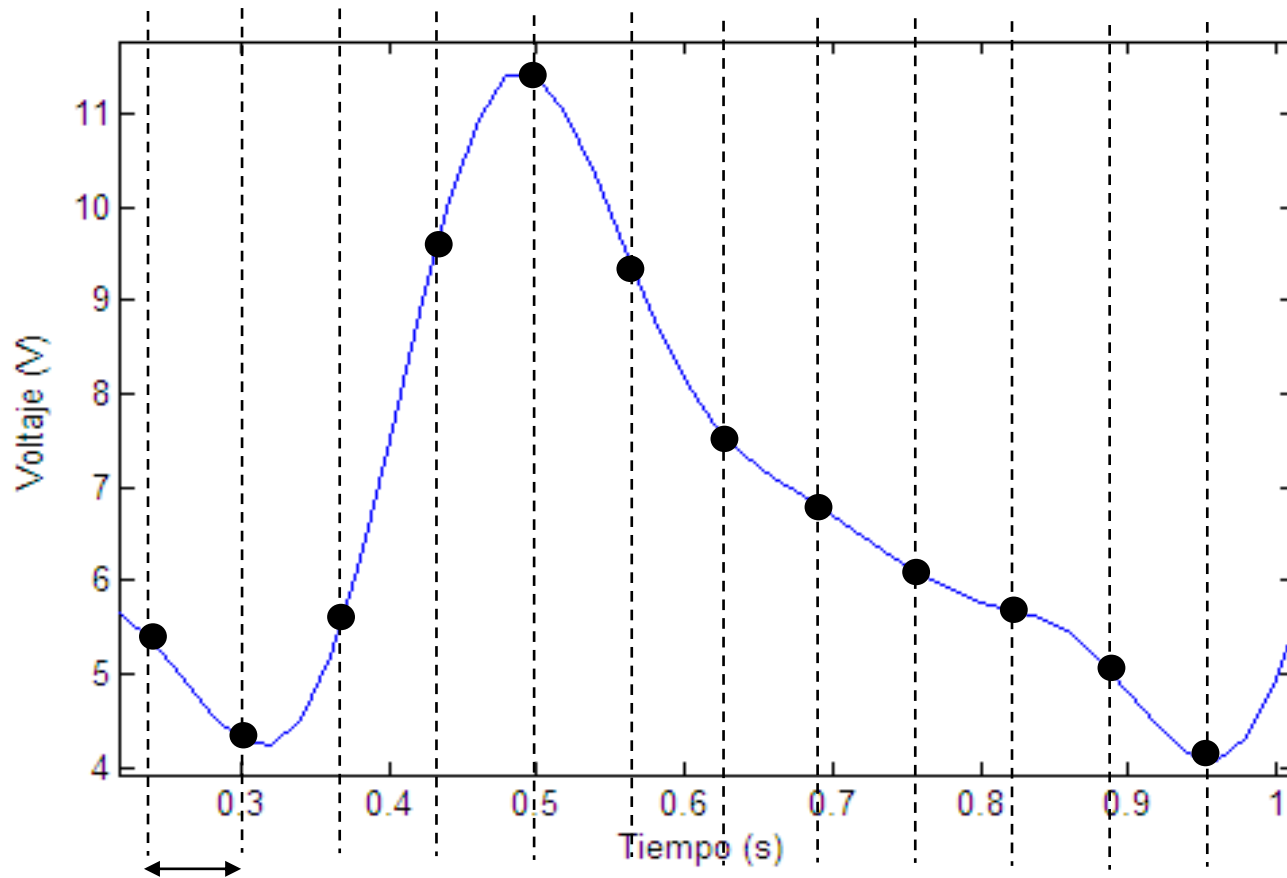
# PROCESAMIENTO



# SOFTWARE DE PROCESAMIENTO

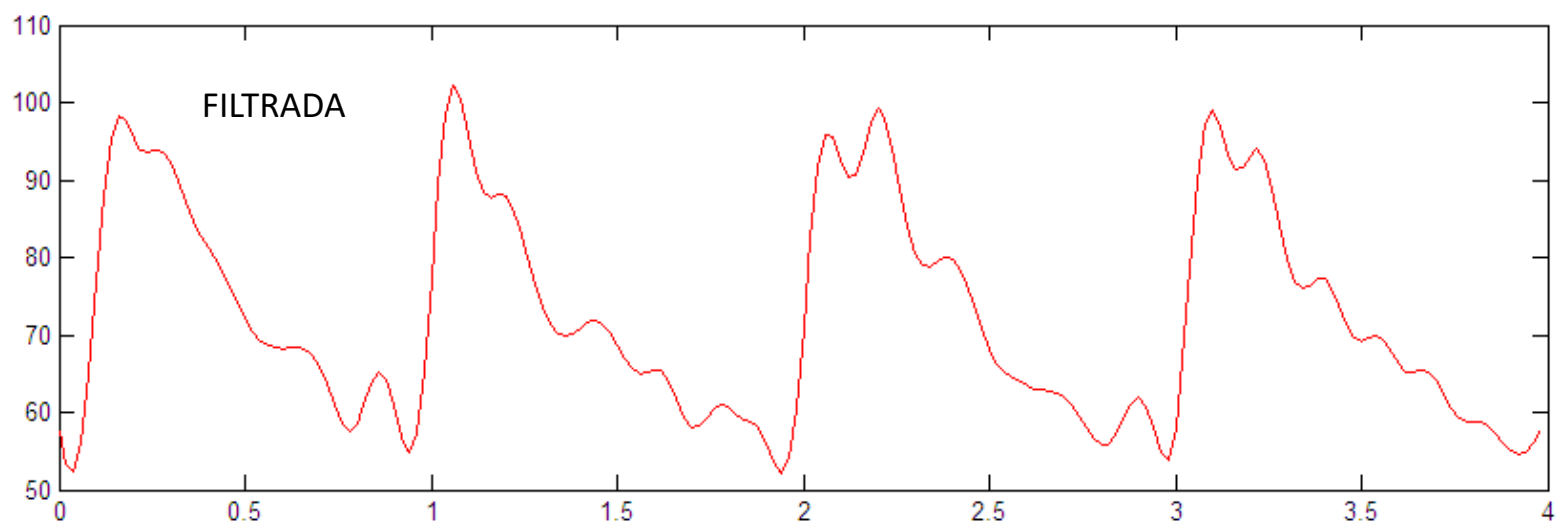
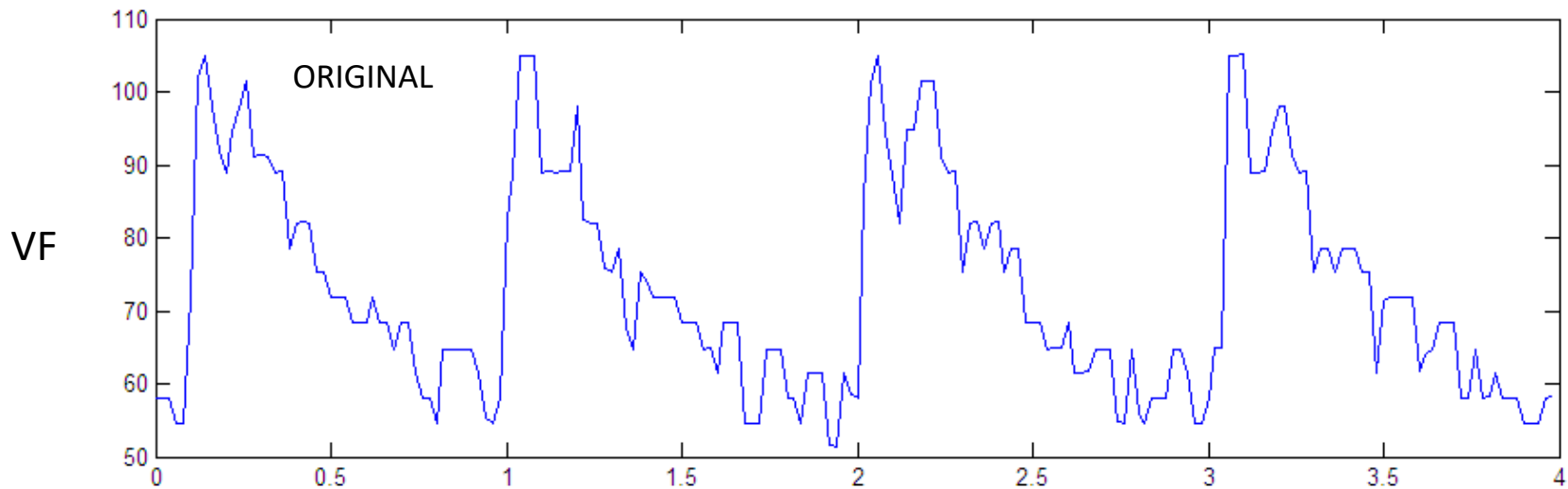


# DIGITALIZACIÓN



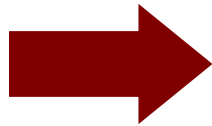
PERÍODO DE  
MUESTREO

# ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

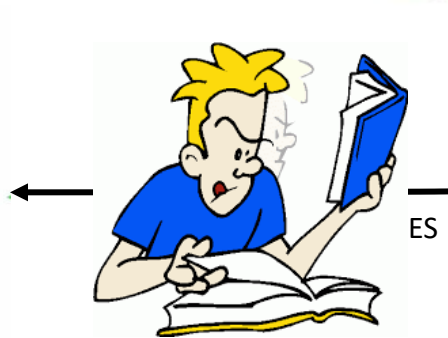


PROCESO DE ADQUISICIÓN

PACIENTE



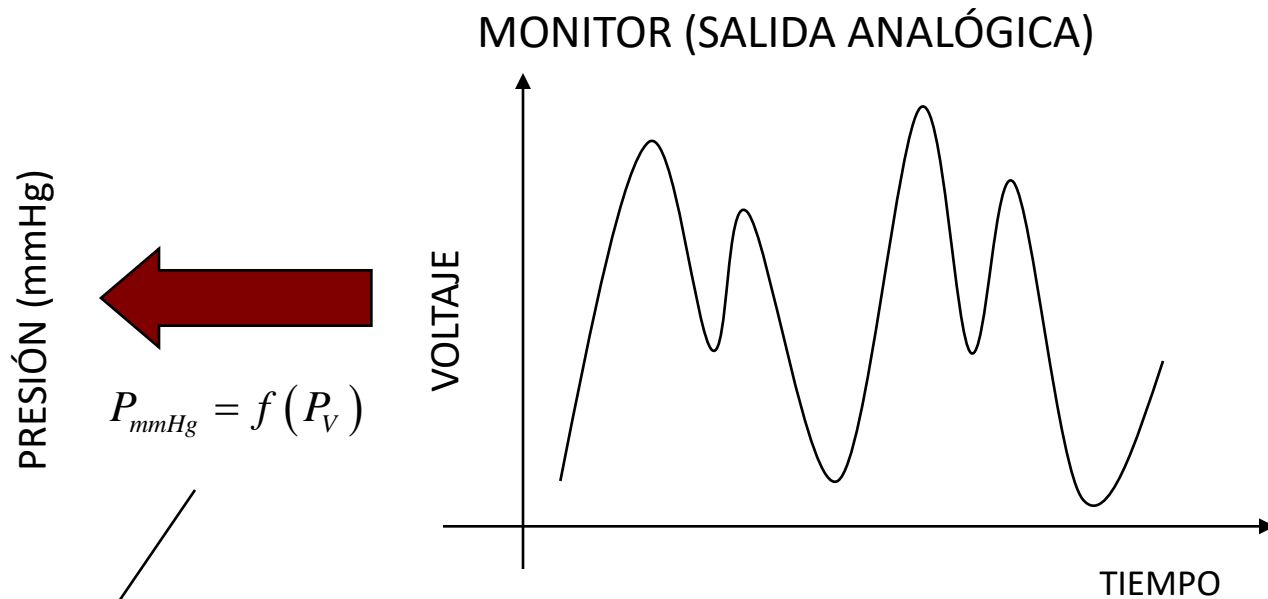
MONITORES CON SALIDAS DIGITALES



**IMPORTANTE :**

QUE PROPOCRIONE LAS ONDAS, NO SÓLO LOS VALORES MEDIOS

# CALIBRACIÓN

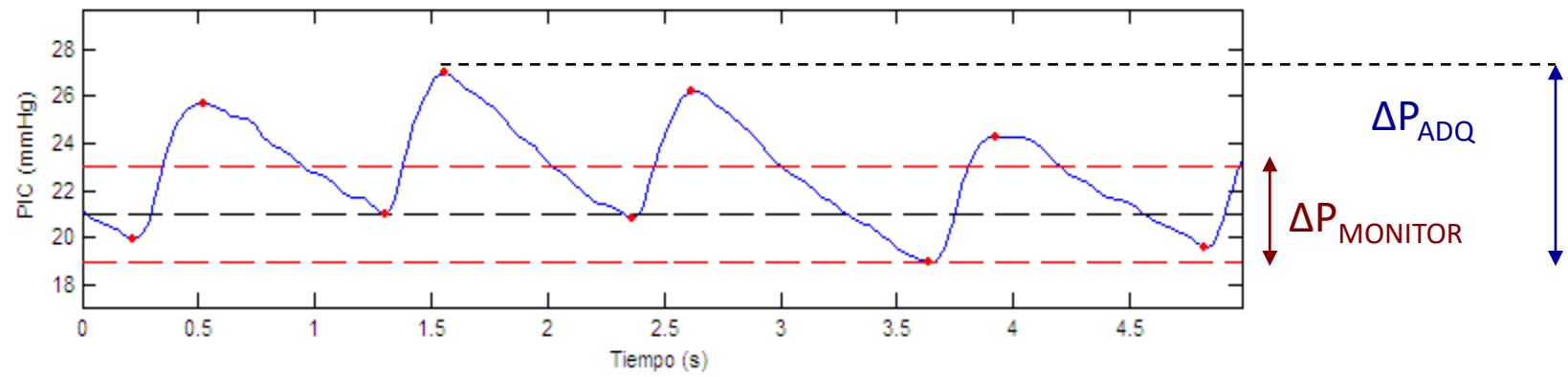
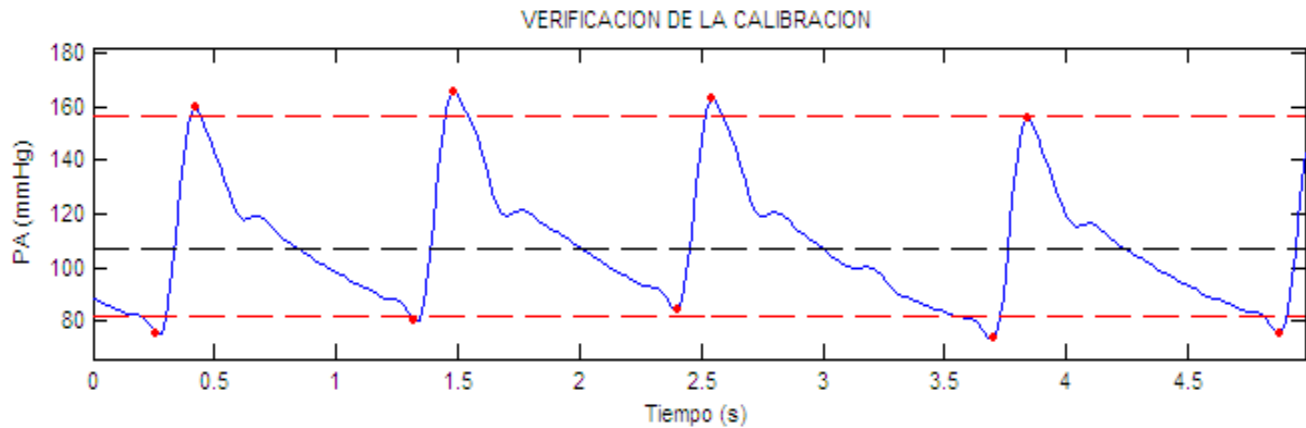


LA FÓRMULA DE CONVERSIÓN ES **NO SIEMPRE!!** DEPENDIÉNDOTE DEL MONITOR

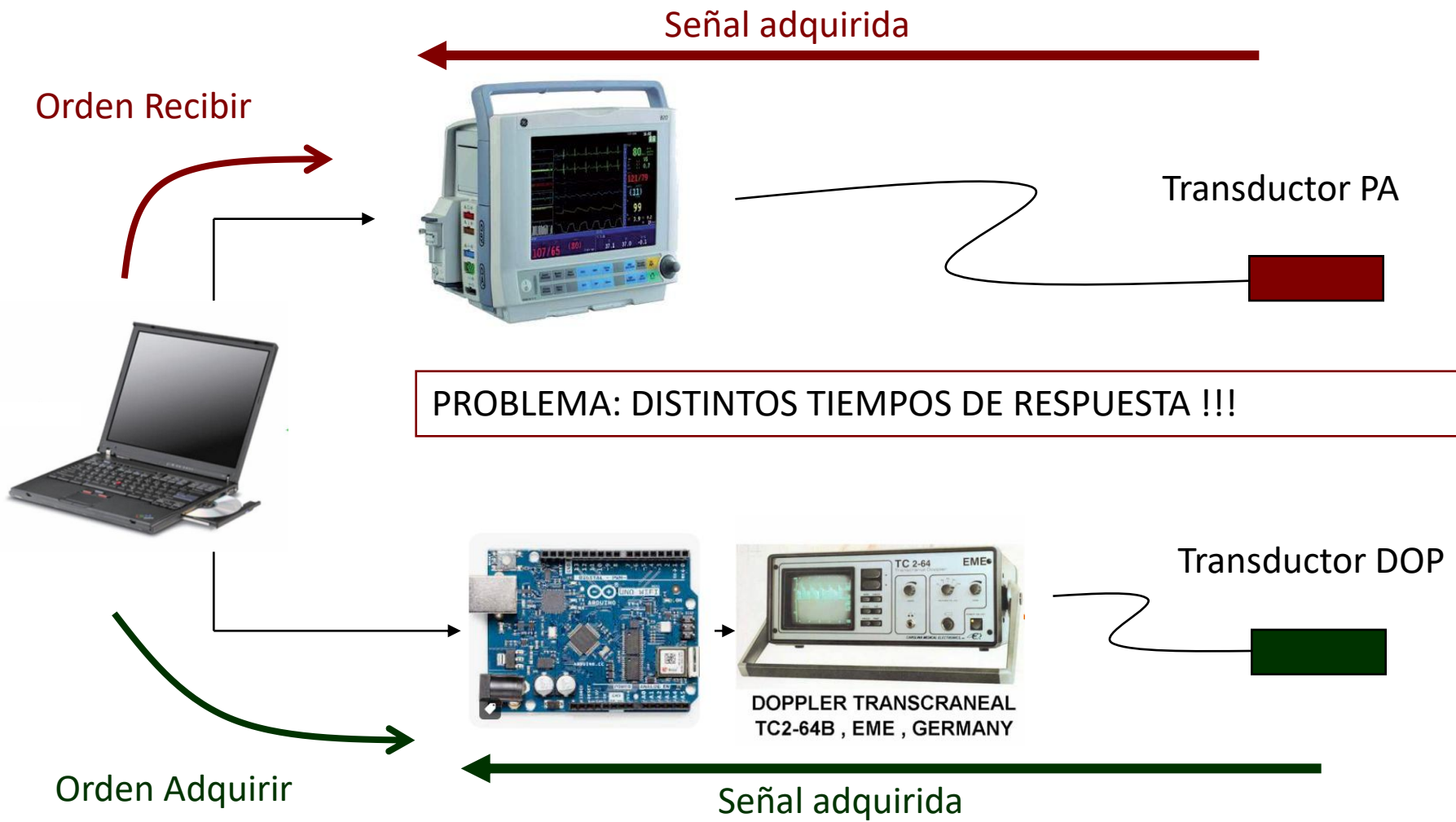
HEMOS ENCONTRADO DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES CONVERTIDOS Y LOS QUE SE LEEN DIRECTAMENTE DE LA PANTALLA DEL MONITOR



# CORRECCIÓN DE LA CALIBRACIÓN



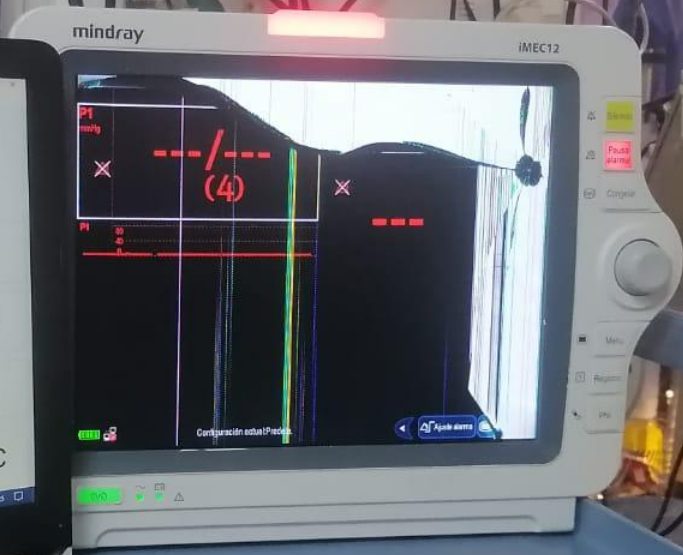
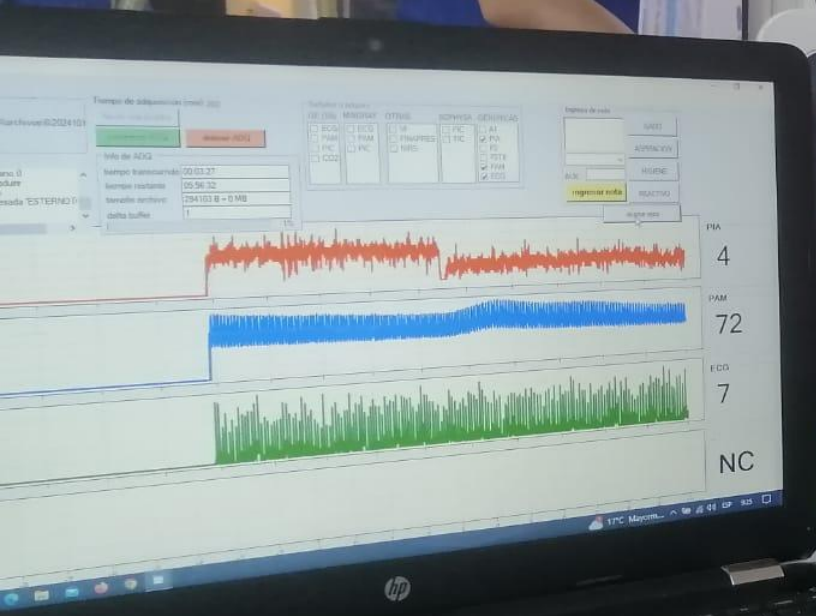
# CORRECCIÓN DE LA LATENCIA



LIVE





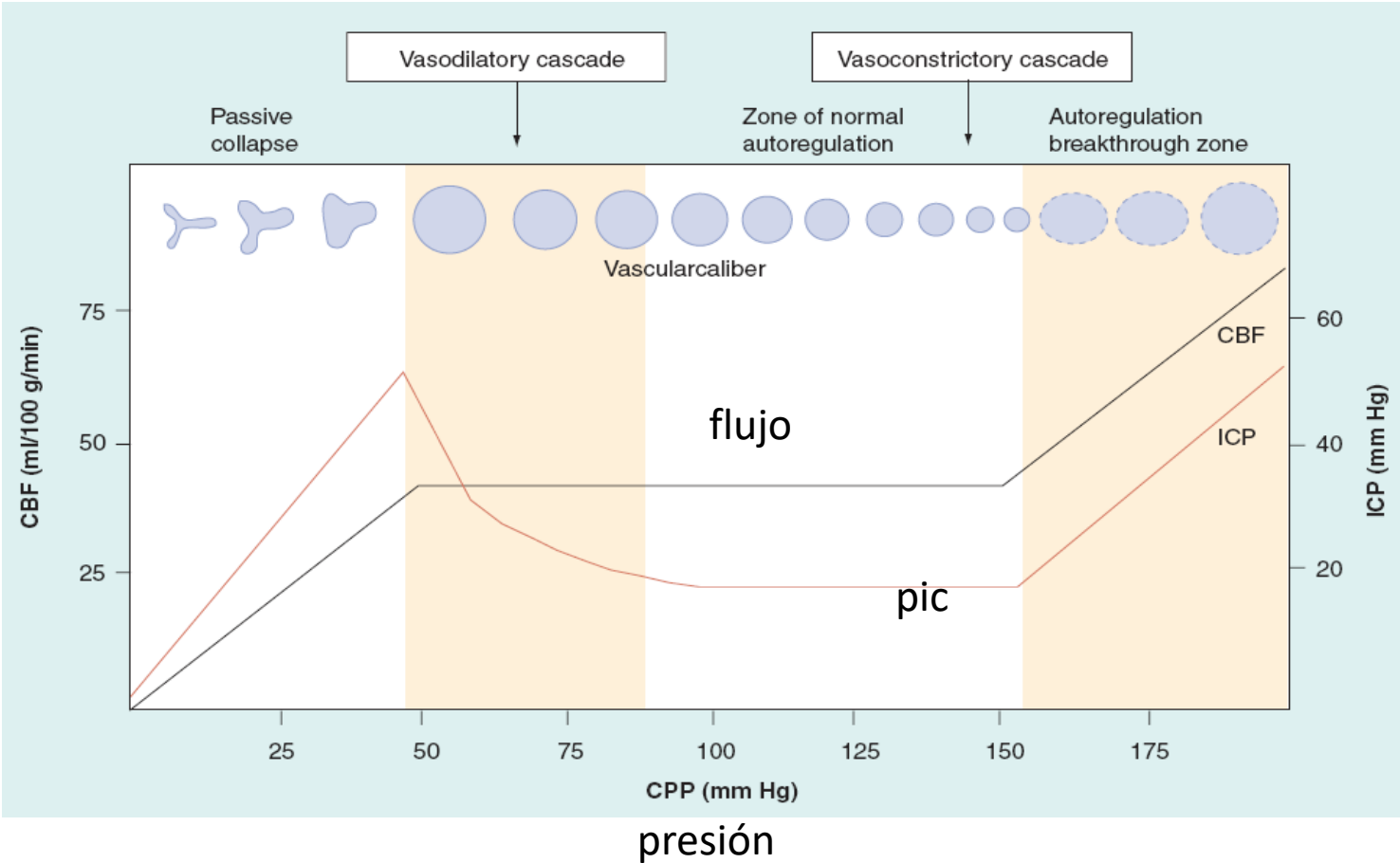


CONTINE

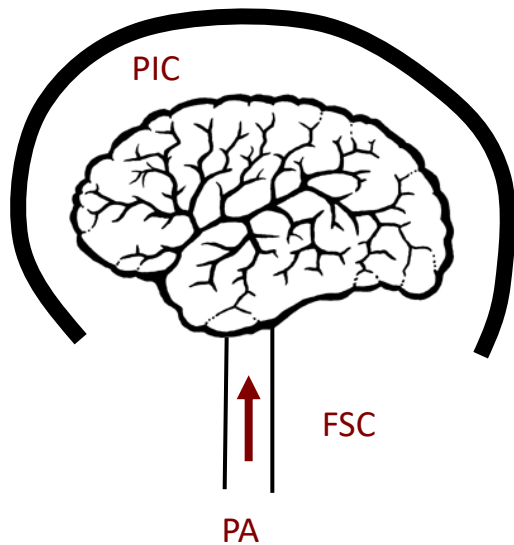
# AUTORREGULACIÓN CEREBRAL

**Mecanismo** que mantiene constante (**estable**) el abastecimiento de **sangre** al **cerebro** (CBF) frente a **cambios** en la **presión** arterial, o más precisamente la **presión de perfusión** **NO EN GRANDES VASOS, en el sistema de ARTERIOLAS**

Ese mecanismo tiene un rango de CPP donde se produce: 50 a 170mmHg. Plateau autorregulatorio (Lassen 1959)



# AUTORREGULACIÓN CEREBRAL



## VARIABLES BÁSICAS

PA : PRESIÓN ARTERIAL

PIC : PRESIÓN INTRA-CRANEANA

FSC : FLUJO SANGUINEO CEREBRAL

} PRESIÓN DE PERFUSIÓN  
**CPP** = PA – PIC

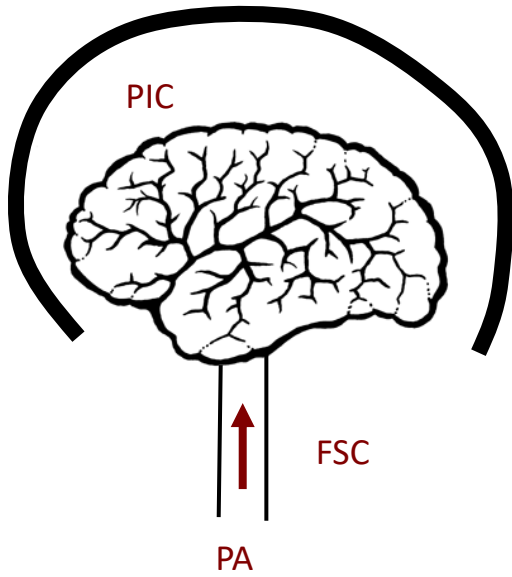


NO SE PUEDE MEDIR DIRECTAMENTE (¡por ahora!)



EN UNA ARTERIA, CUYO DIÁMETRO NO CAMBIA CONSIDERABLEMENTE, EL FLUJO ES PROPORCIONAL A LA VELOCIDAD. ESTA ÚLTIMA SE PUEDE MEDIR MEDIANTE DOPPLER.

# AUTORREGULACIÓN CEREBRAL



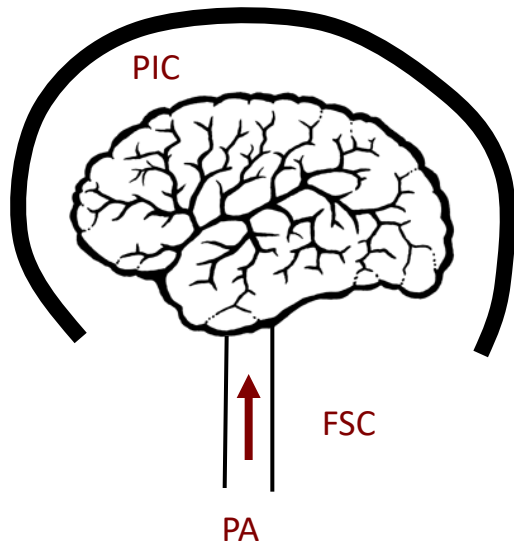
CONSTANTE EN LA ACM

$$VF \times A = FSC$$

$\frac{cm}{s} \times cm^2 = \frac{cm^3}{s}$



# AUTORREGULACIÓN CEREBRAL



## VARIABLES BÁSICAS

PA : PRESIÓN ARTERIAL

PIC : PRESIÓN INTRA-CRANEANA

FSC : FLUJO SANGUINEO CEREBRAL

} PRESIÓN DE PERFUSIÓN  
 $CPP = PA - PIC$

## OTRAS VARIABLES

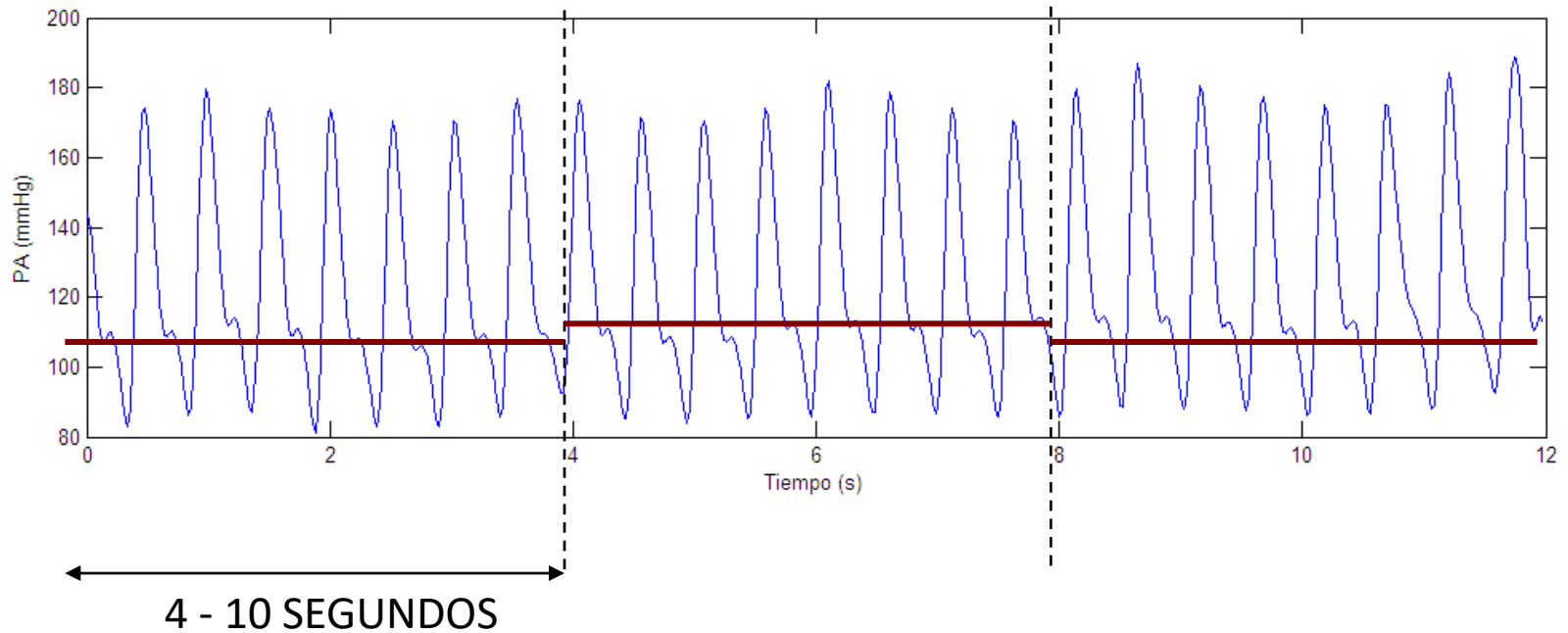
CO<sub>2</sub> : CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub> (Al fin de la espiración ETCO<sub>2</sub>)

PTIO<sub>2</sub> : PRESIÓN TISULAR DE OXÍGENO

NIRS: ESPECTROSCOPÍA POR INFRARROJO CERCANO, rSO<sub>2</sub> (saturación regional de Oxígeno)

# VALORES MEDIOS

SE CALCULAN LOS VALORES MEDIOS EN INTERVALOS DE 4 - 10s






Actualmente se usan 10s de promedio y ventanas de 30 puntos para cálculo de los índices, Lo que da 300s = 5 minutos

# COEFICIENTE PRX

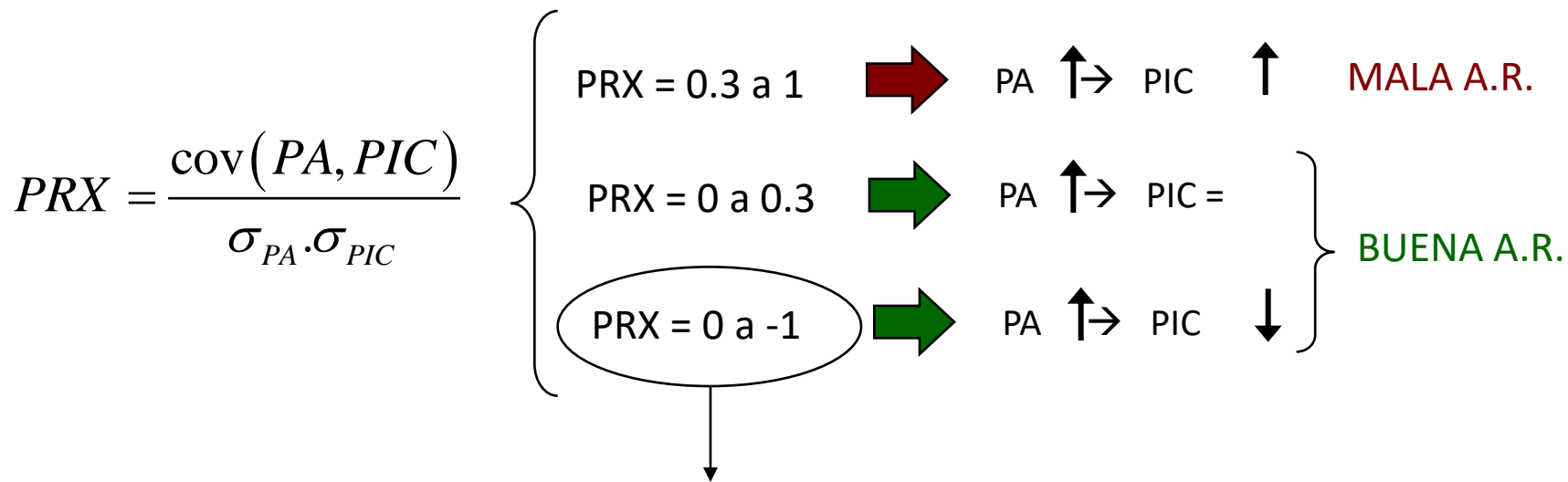
PRX: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE PA Y PIC .  
INDICE DE REACTIVIDAD PRESORA

$$PRX = \frac{\text{cov}(PA, PIC)}{\sigma_{PA} \cdot \sigma_{PIC}}$$

{	PRX = 0.3 a 1		RELACIÓN LINEAL DIRECTA
	PRX = 0 a 0.3		NO HAY RELACIÓN LINEAL
	PRX = 0.3 a -1		RELACIÓN LINEAL INVERSA

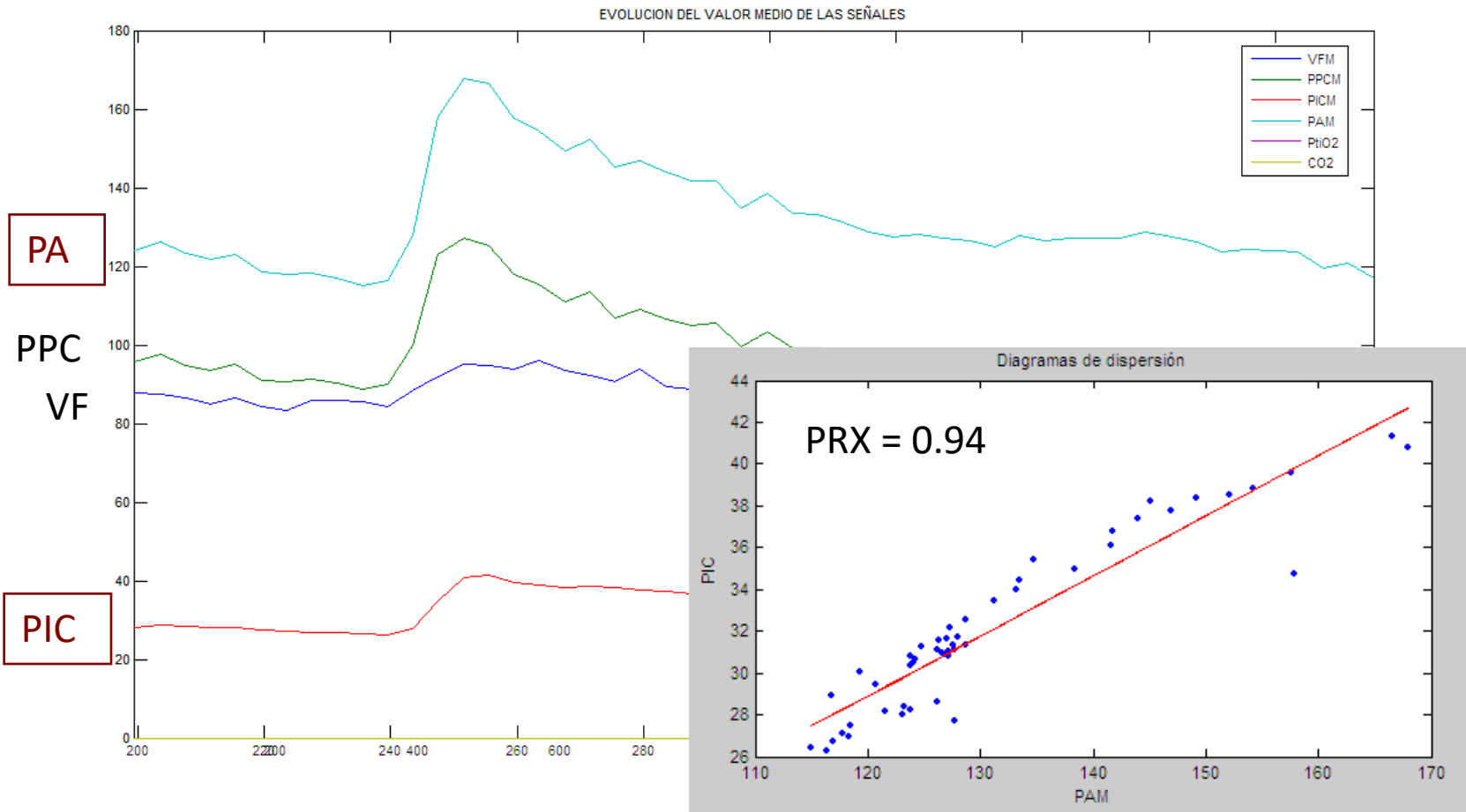
# COEFICIENTE PRX

PRX: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE PA Y PIC

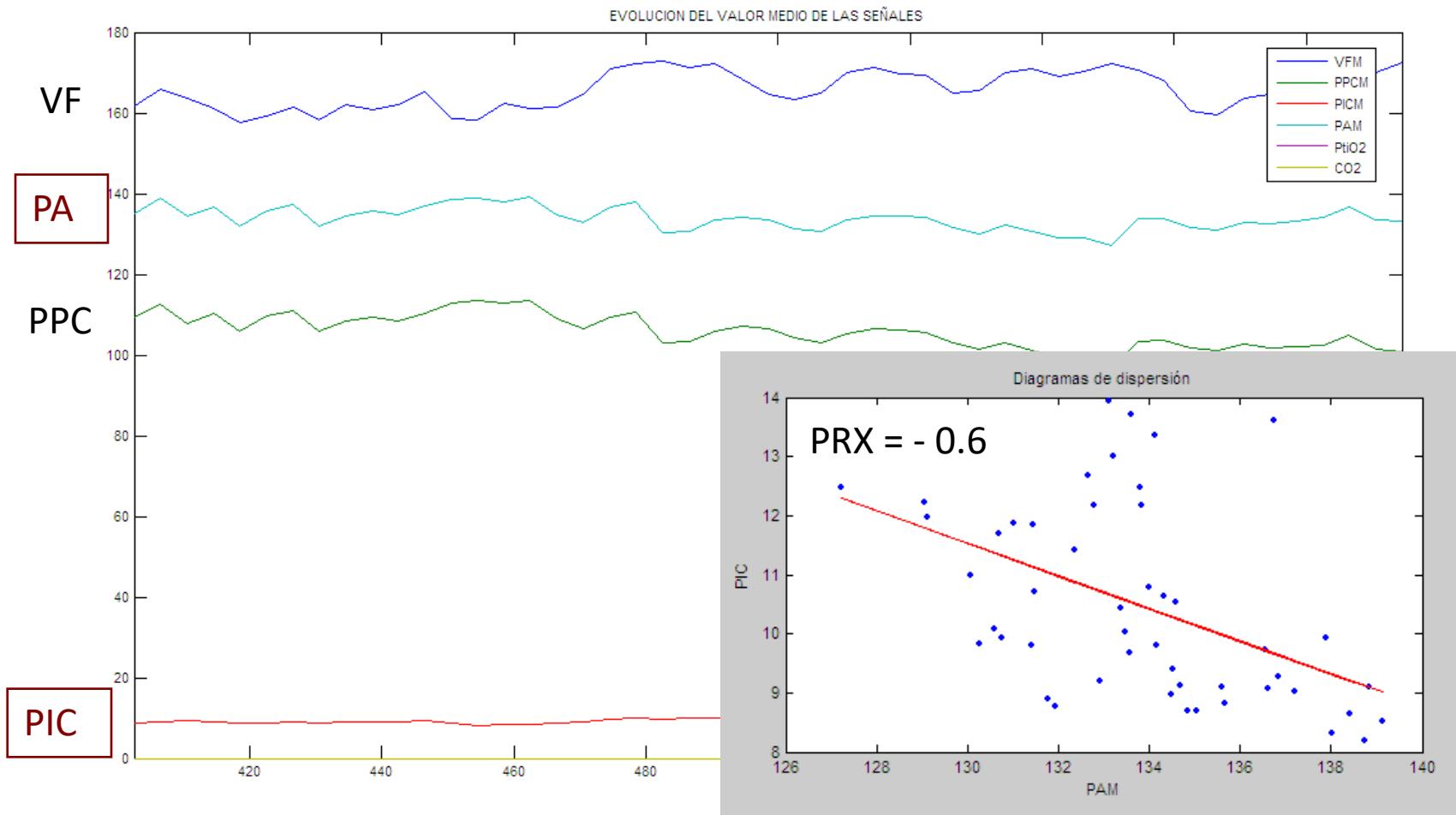


ESTE CASO SE PUEDE INTERPRETAR COMO UNA BUENA A.R.  
PERO CON UNA COMPLIANCE CEREBRAL COMPROMETIDA

# COEFICIENTE PRX

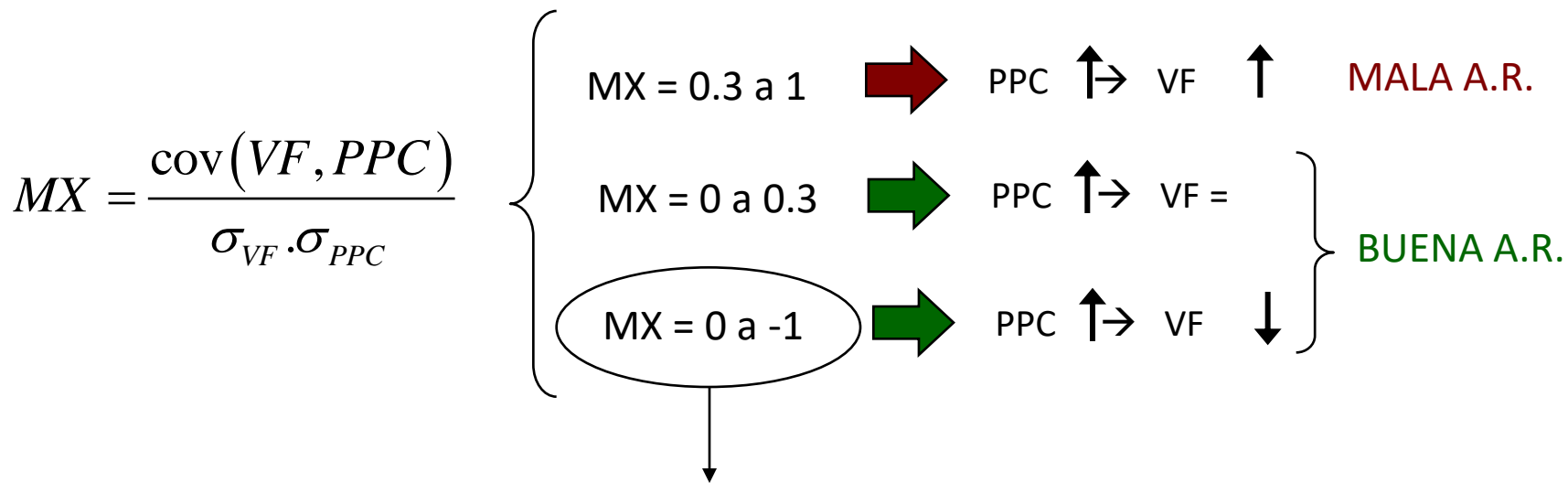


# COEFICIENTE PRX



# COEFICIENTE MX

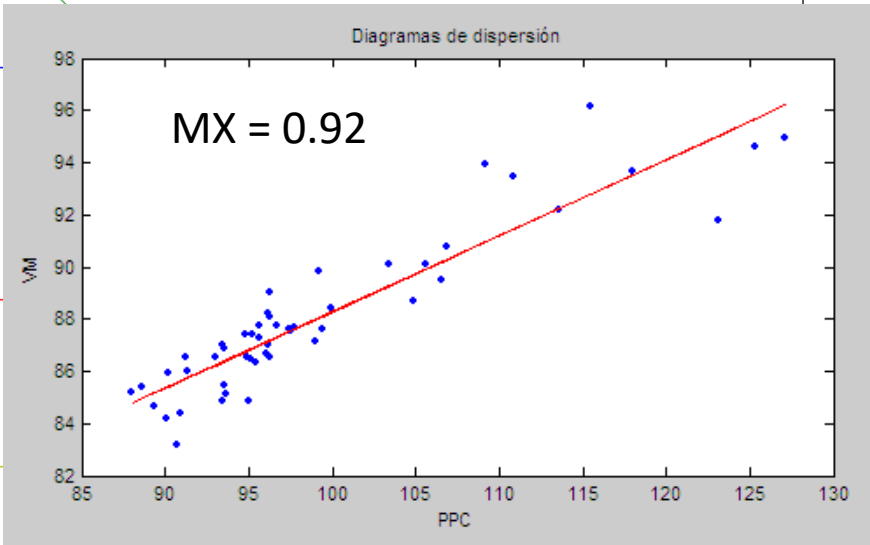
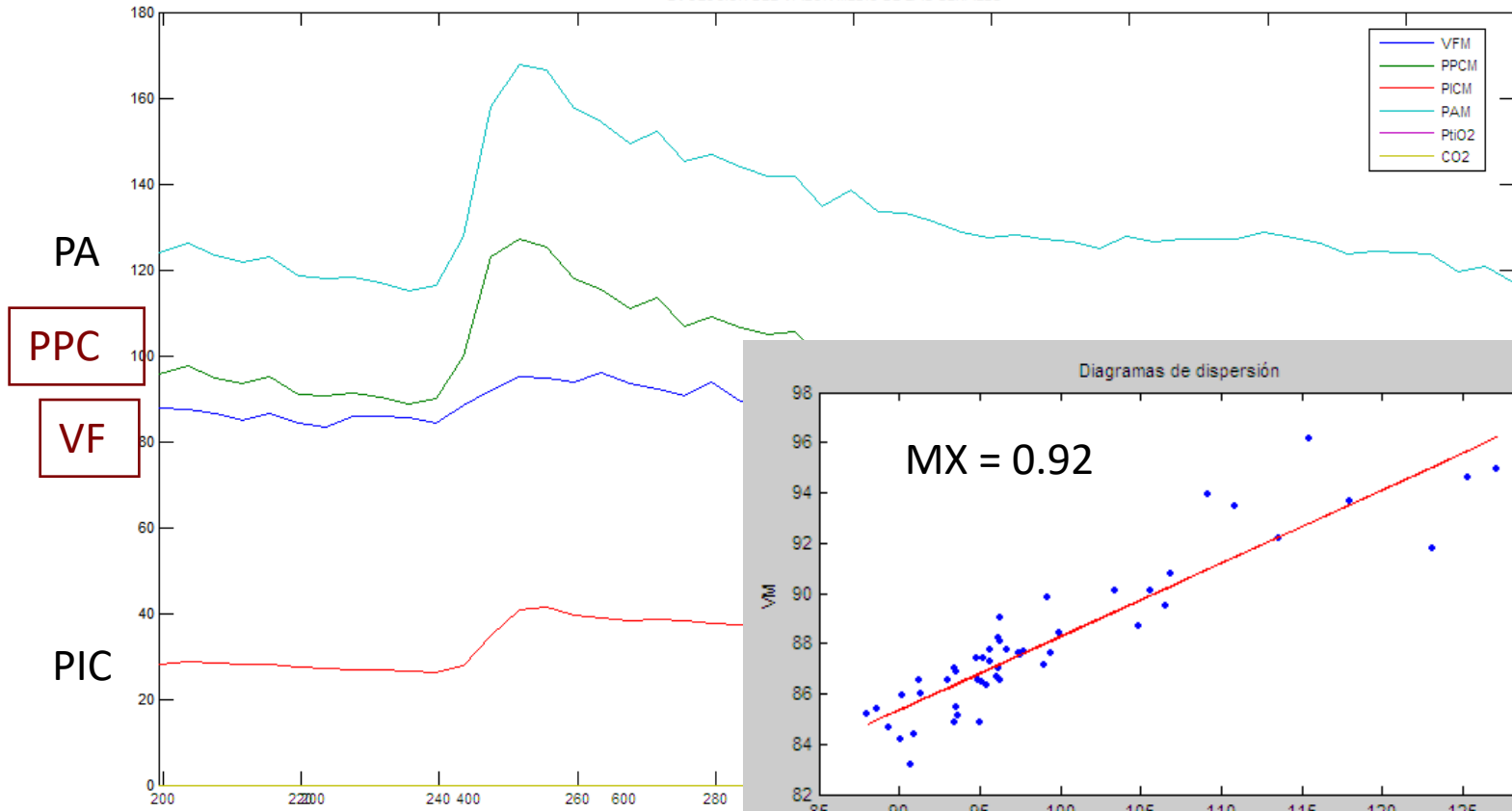
MX: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE VFSC Y PPC



ESTE CASO SE PUEDE INTERPRETAR COMO UNA HIPER-REGULACIÓN

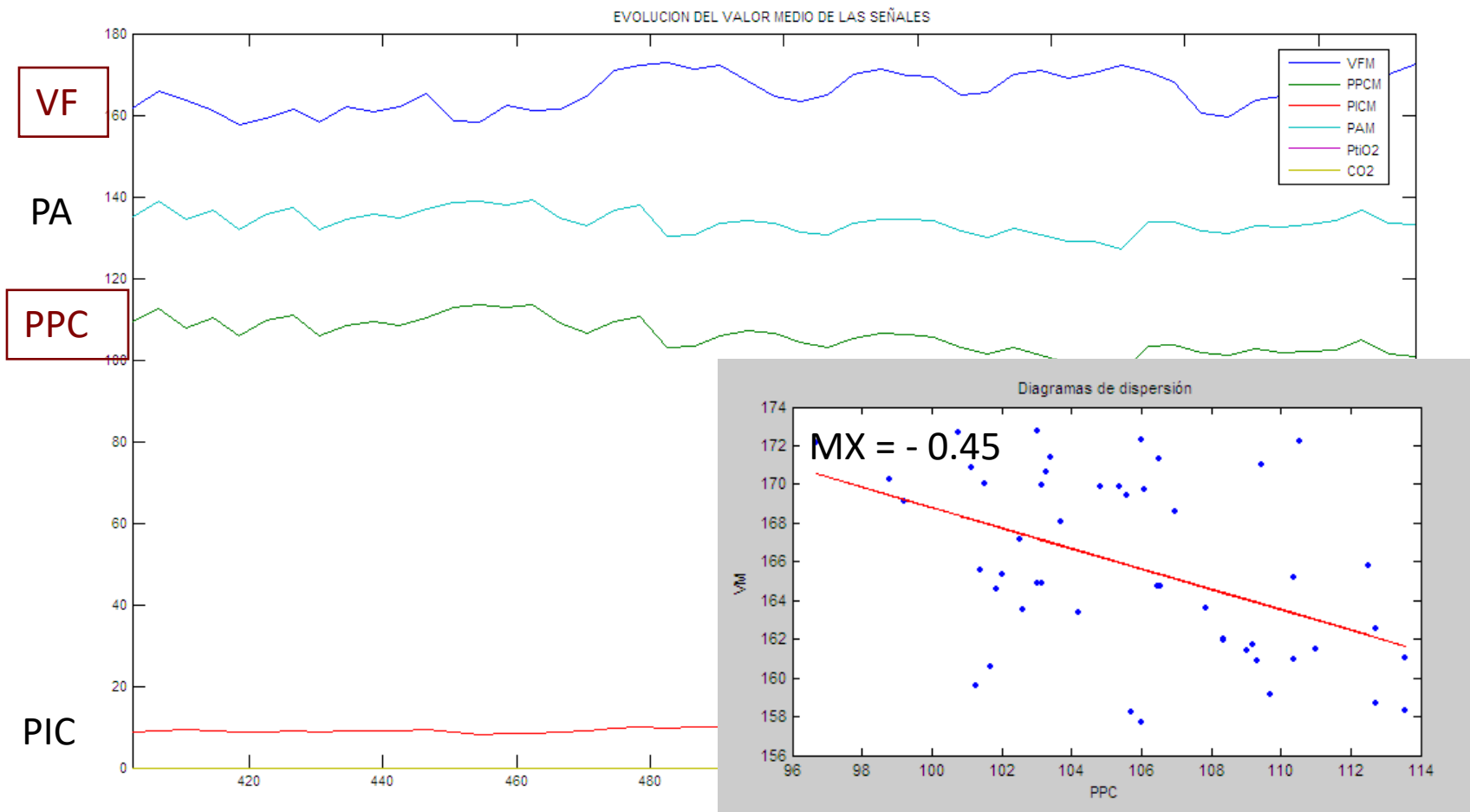
# COEFICIENTE MX

EVOLUCION DEL VALOR MEDIO DE LAS SEÑALES

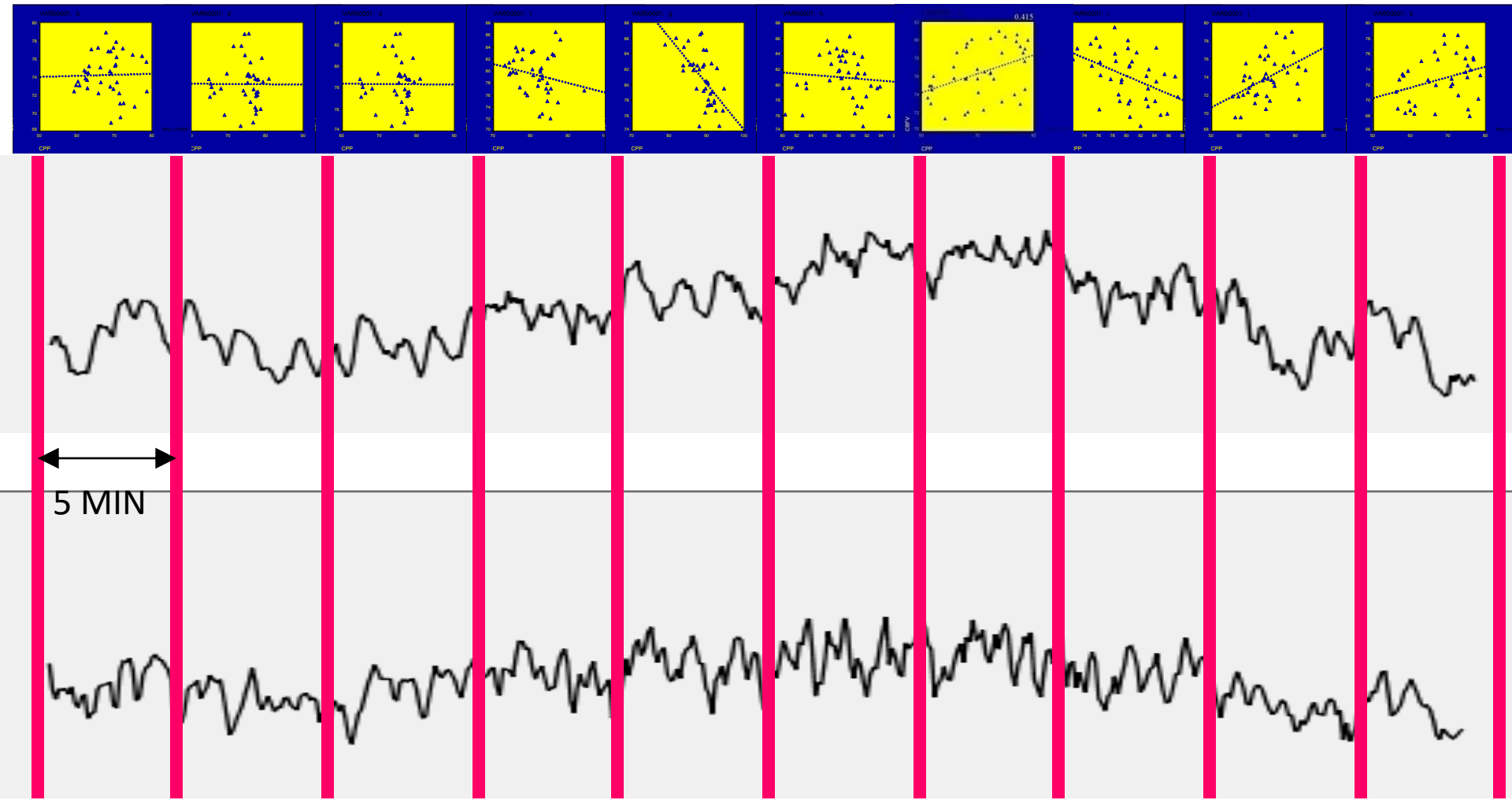




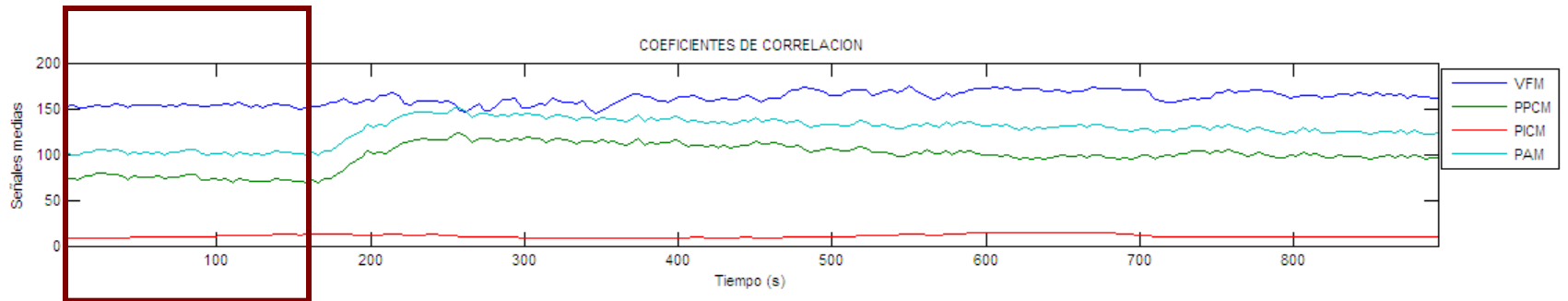
# COEFICIENTE MX



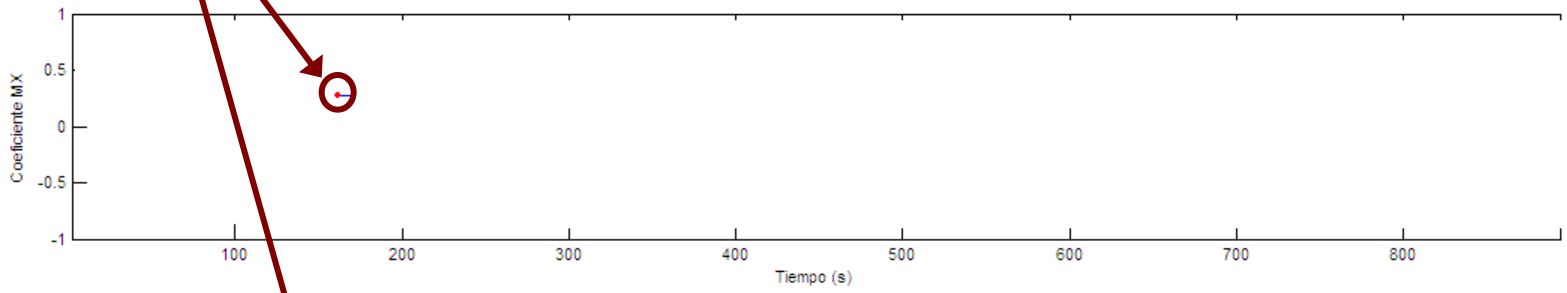
# VENTANAS NO SOLAPADAS



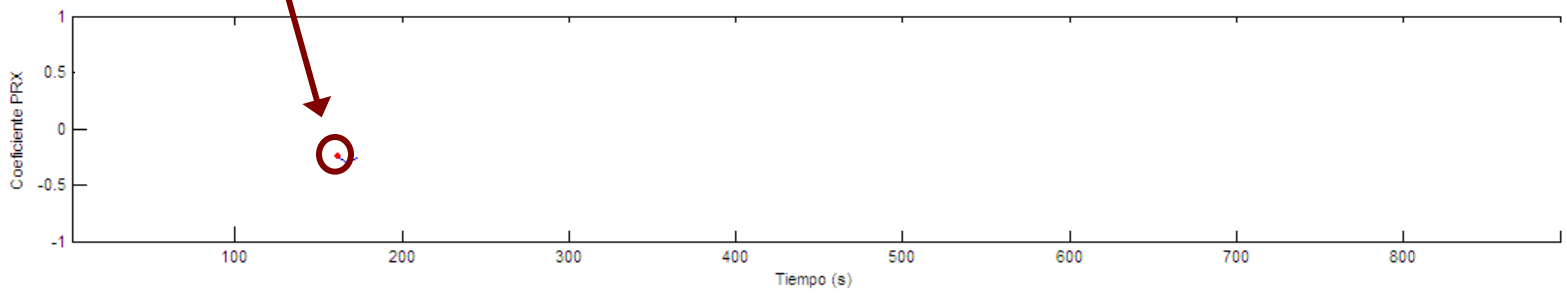
# VENTANAS SOLAPADAS



MX



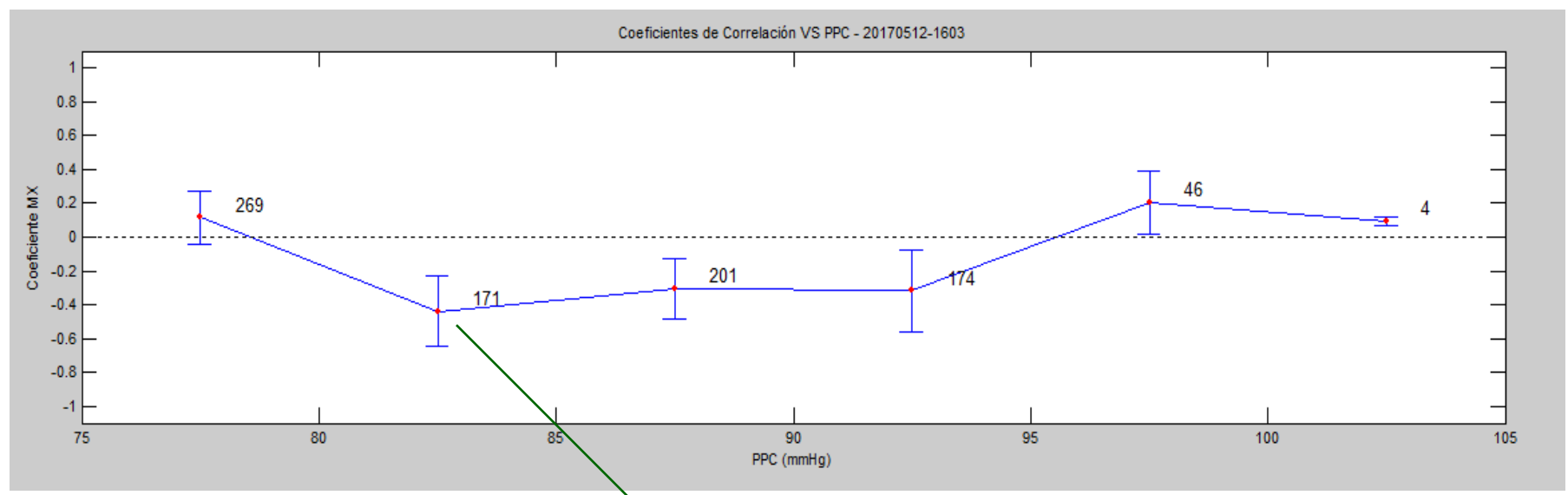
PRX



# PRESION DE PERFUSION OPTIMA

NO SE HABLA DE **UNA PRESIÓN (PA) TARGET EN TÉRMINOS ABSOLUTOS**, SINO DE UNA **PRESIÓN TARGET ÓPTIMA** INDIVIDUALIZADA. UNA PRESIÓN QUE SE SITÚE EN EL RANGO EN QUE SE OBSERVA QUE EL PACIENTE TIENE UNA BUENA AR.

SE DIVIDE LA PPC EN INTERVALOS DE 5 mmHg Y SE GRAFICA EL MX MEDIO EN CADA INTERVALO



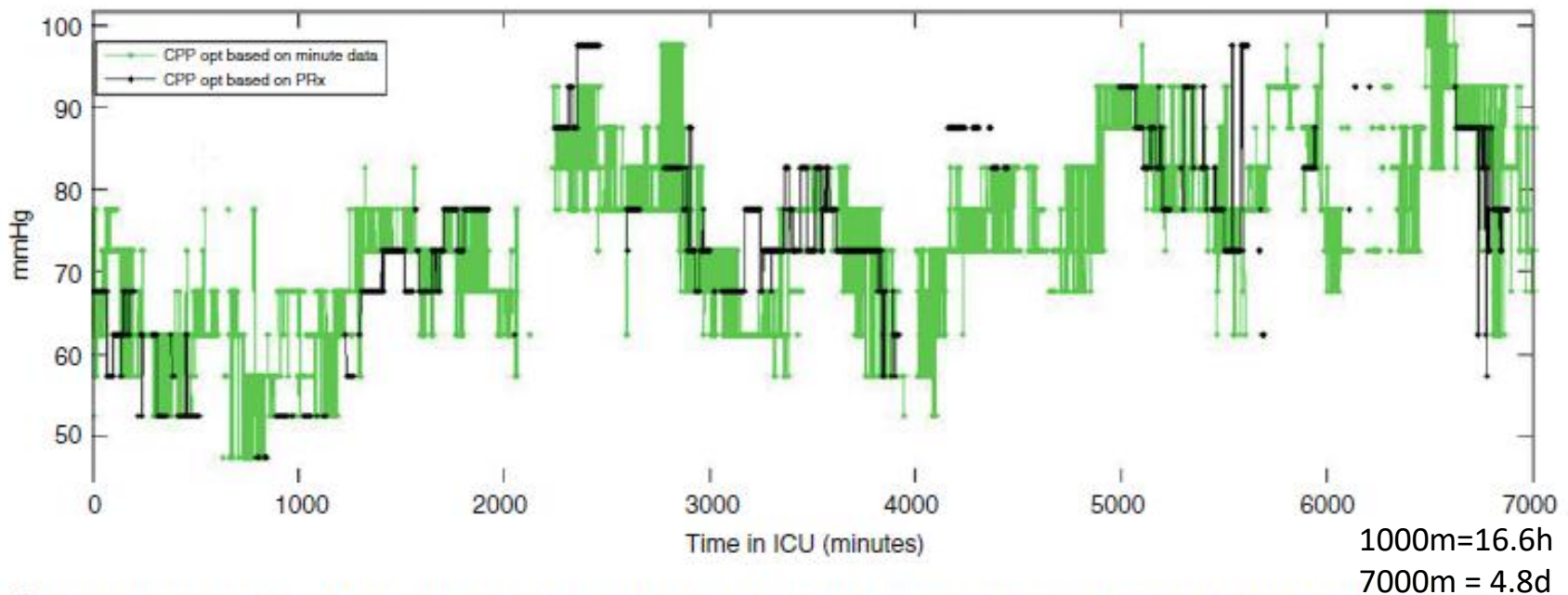
PPC OPTIMA

# TENDENCIAS CPP ÓPTIMA

- CÁLCULO DE LA CPP ÓPTIMA AL LADO DEL PACIENTE EN TIEMPO REAL.
- INFORMACIÓN MOSTRADA EN FORMA DINÁMICA CON CÁLCULO DE CPP ÓPTIMA MINUTO A MINUTO

## Can Optimal Cerebral Perfusion Pressure in Patients with Severe Traumatic Brain Injury Be Calculated Based on Minute-by-Minute Data Monitoring?

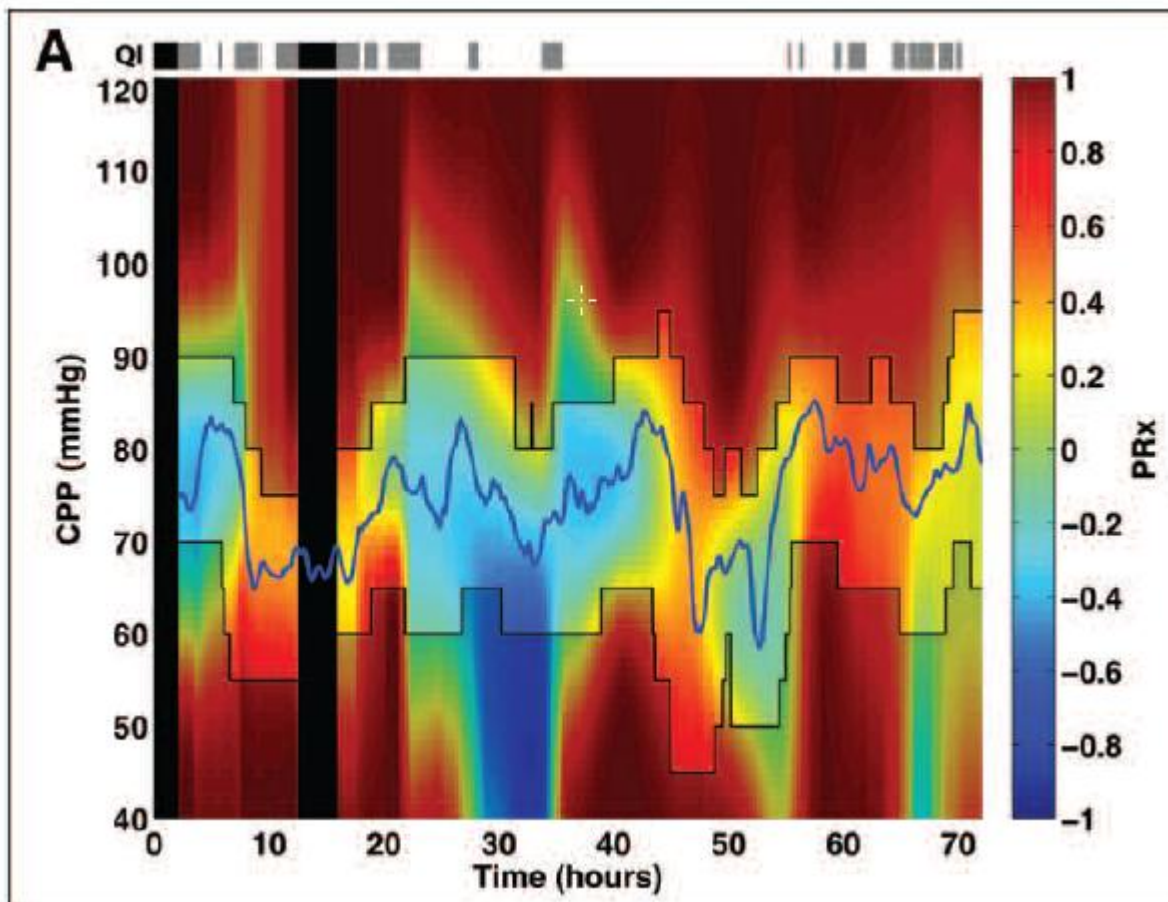
Bart Depreitere, Fabian Güiza, Greet Van den Berghe, Martin U. Schuhmann, Gottlieb Maier, Ian Piper, and Geert Meyfroidt



**Fig. 1** Exemplary trace of CPPopt calculated by both the LAX-based (minute-by-minute data) and the PRx-based methods in one patient over 7,000 min of monitoring time

# Enhanced Visualization of Optimal Cerebral Perfusion Pressure Over Time to Support Clinical Decision Making\*

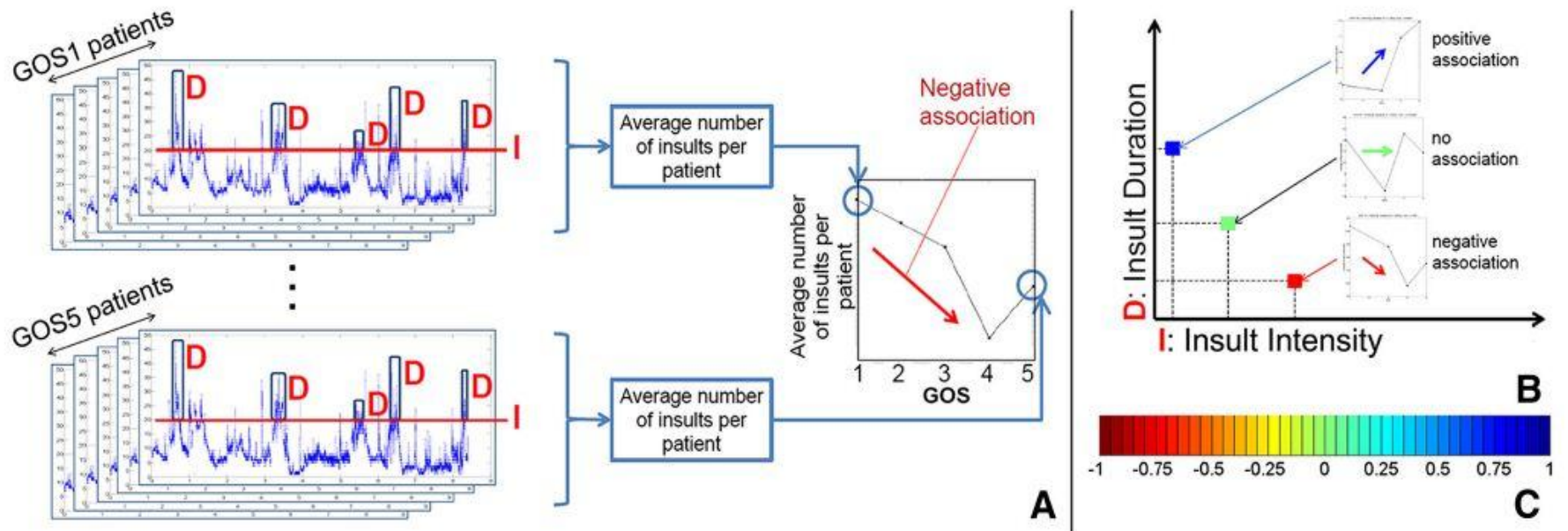
Marcel J. H. Aries, MD, PhD<sup>1,2</sup>; Robin Wesselink, MBChB<sup>1,3</sup>; Jan Willem J. Elting, MD, PHD<sup>4</sup>; Joseph Donnelly, MBChB<sup>2</sup>; Marek Czosnyka, PhD<sup>2</sup>; Ari Ercole, MBBChir, PhD<sup>5</sup>; Natasha M. Maurits, PhD<sup>4,6</sup>; Peter Smielewski, PhD<sup>2</sup>





Fabian Güiza|  
Bart Depreitere  
Ian Piper  
Giuseppe Citerio  
Iain Chambers  
Patricia A. Jones  
Tsz-Yan Milly Lo  
Per Enblad  
Pelle Nilsson  
Bart Feyen  
Philippe Jorens  
Andrew Maas  
Martin U. Schuhmann  
Rob Donald  
Laura Moss  
Greet Van den Berghe  
Geert Meyfroidt

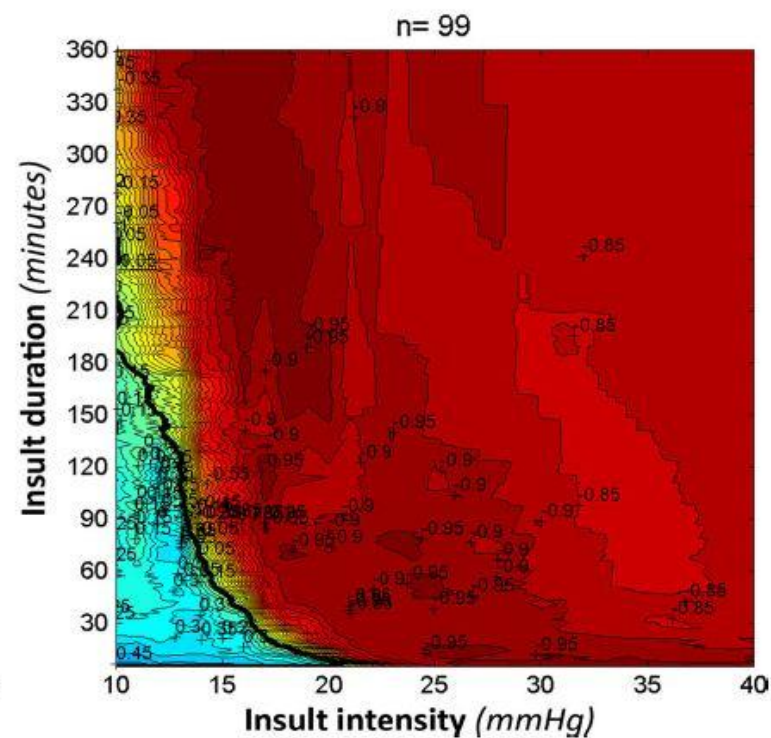
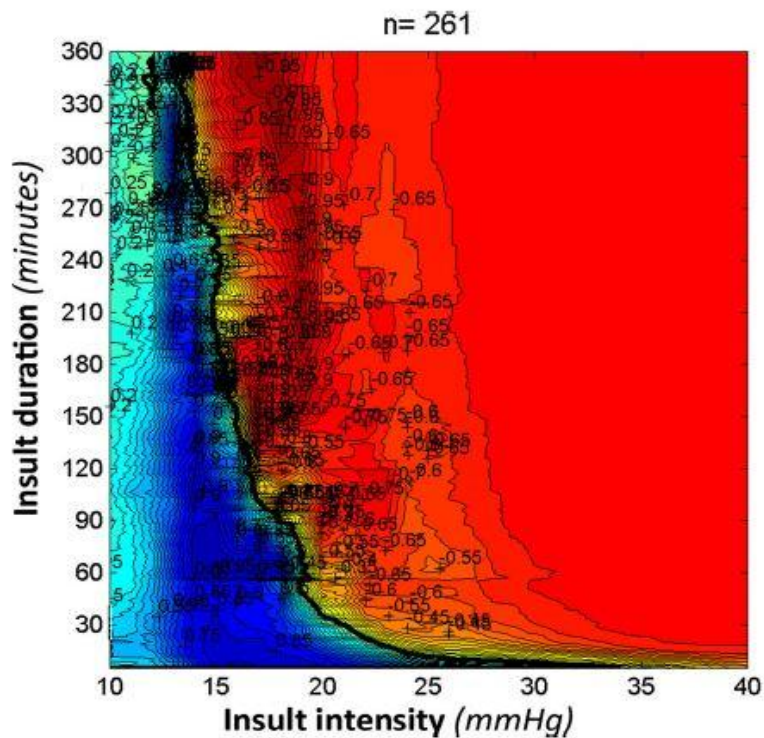
# **Visualizing the pressure and time burden of intracranial hypertension in adult and paediatric traumatic brain injury**



**Fig. 1** Visualization methodology. The average number of insults of ICP above an intensity threshold  $I$  (in mmHg), lasting for at least a duration threshold  $D$  (in minutes) is computed for each GOS category and the Pearson correlation is computed (a). The

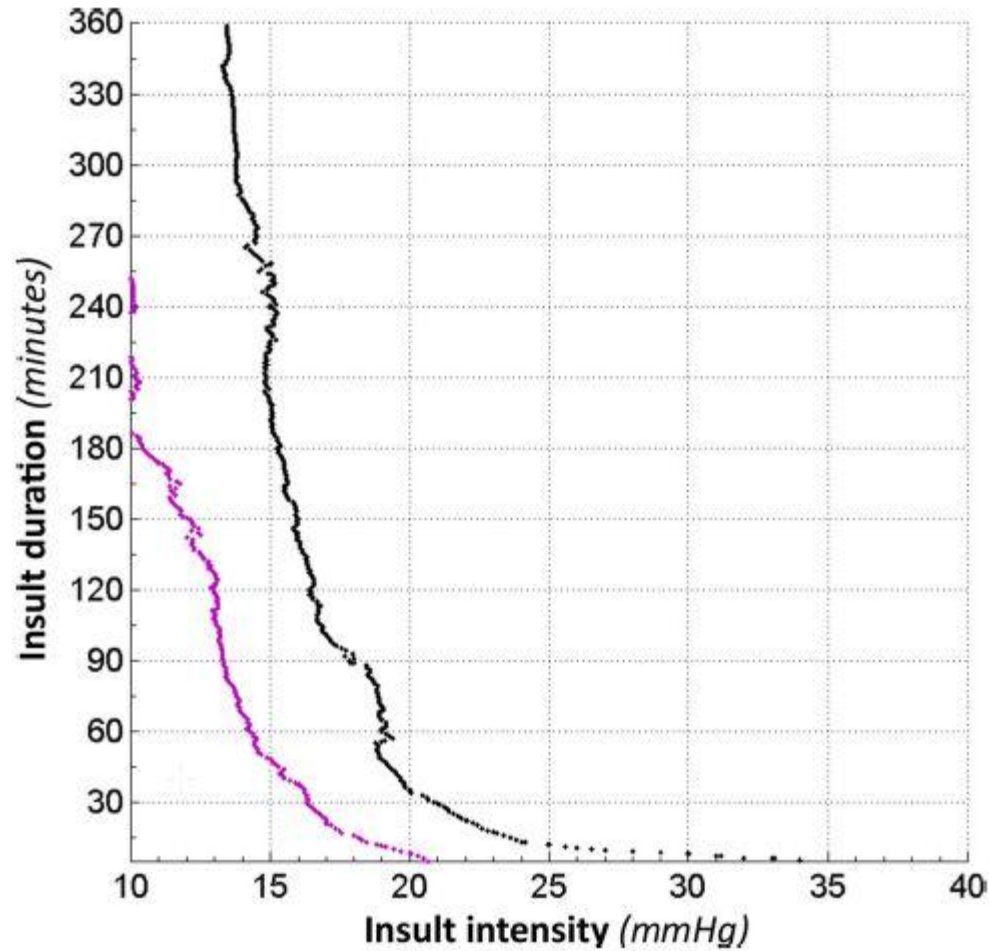
correlation between GOS and the average number of insults per GOS category is computed for all  $I$  and  $D$  combinations (b) and given a colour according to a predefined colour map ranging from  $-1$  in *dark red* to  $+1$  in *dark blue* (c)



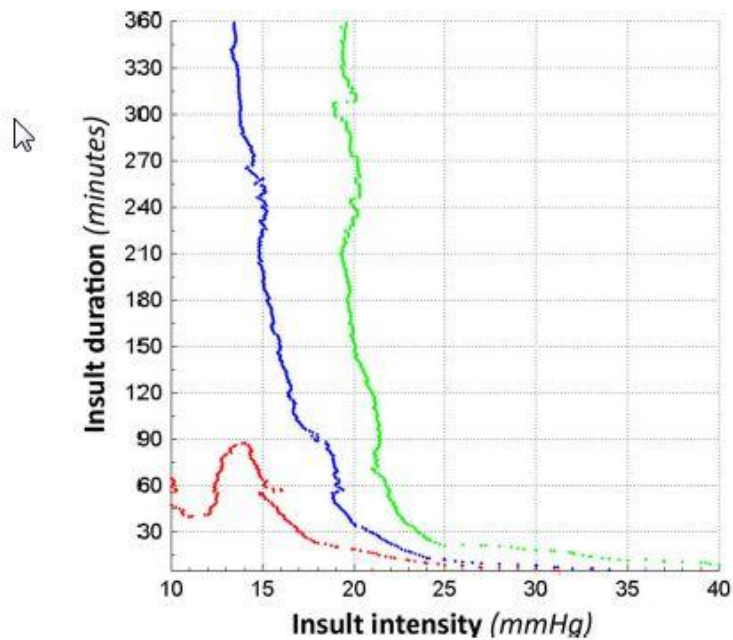


**Fig. 2** Visualization of correlation between GOS and average number of ICP insults per GOS category. *Left* adult cohort ( $n = 261$ ). *Right* paediatric cohort ( $n = 99$ ). Each colour-coded point in the graph refers to a number of episodes of ICP, defined by a certain ICP intensity threshold ( $X$ -axis), and a certain duration threshold ( $Y$ -axis). Such an episode is called an ICP insult. The univariate correlation of each type of ICP insult (characterized by

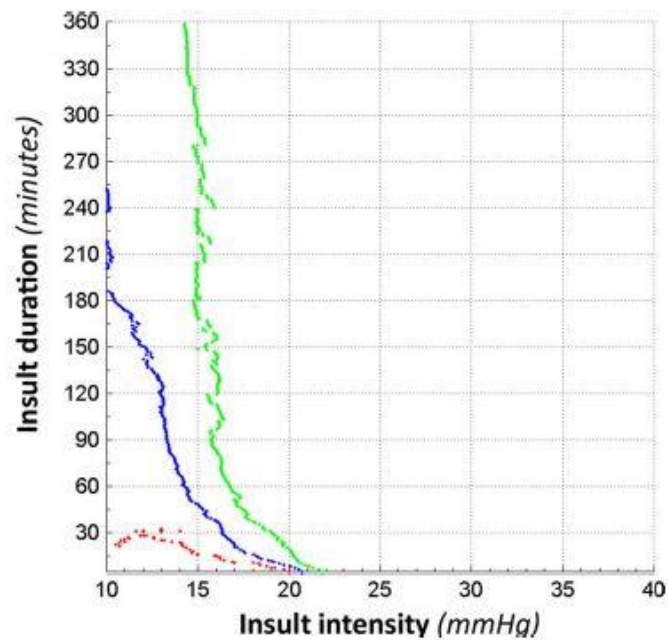
ICP intensity and duration thresholds) with outcome is colour-coded according to the scale in Fig. 1c. *Dark red* episodes mean that such ICP insults, on average, are associated with worse outcome (lower GOS categories); *dark blue* episodes mean that such ICP insults, on average, are associated with better outcome (higher GOS categories). The contour of zero correlation is highlighted in *black*, and is called the transition curve



**Fig. 3** Comparison of transition curves in adult (*black*) and paediatric (*purple*) cohorts. Transition curves are the lines of zero correlation between ICP insults and outcome. Episodes above and to the right of this transition curve are associated with worse outcomes



**Fig. 4** Transition curve visualizations according to cerebrovascular autoregulatory status. The transition curves for all insults (irrespective of autoregulation) are drawn in *blue*, while the transition curves for autoregulation active insults are shown in *green* and for autoregulation passive insults in *red*. *Left* adult cohort ( $n = 261$ ).



*Right* paediatric cohort ( $n = 99$ ). Transition curves are the lines of zero correlation between ICP insults and outcome. Episodes above and to the right of this transition curve are associated with worse outcomes

# 3rd NORDIC NEUROTRAUMA CONFERENCE, 2023 in Lund, Sweden



## Time course visualization of cerebral autoregulation index over the CPP U - shaped curve



Yelicich Bernardo<sup>1,a</sup>, Puppo Corina<sup>1</sup>, Biestro Alberto<sup>1</sup>, Moraes Leandro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Neuromonitoring Group, Intensive Care Unit - Hospital de Clínicas Medical School Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

<sup>a</sup>byelicich@hc.edu.uy

### Abstract

**Cerebral autoregulation (CA)** defined as the ability of the brain's arterioles to attenuate fluctuations in cerebral blood flow during arterial blood pressure changes, can be assessed by several indexes of continuous CA (CA<sub>x</sub>) named M<sub>x</sub>, PR<sub>x</sub> and TO<sub>x</sub>.

For computing M<sub>x</sub> and TO<sub>x</sub>, only MAP is needed so the pressure for this analysis will be MAP.

For computing PR<sub>x</sub>, ICP is needed, so the analysis can be made with MAP or CPP

Plotting the pressure (MAP or the CPP) vs the CA<sub>x</sub>, grouped by intervals of pressure, brings a lot of information about the range of pressure in which the patient performs a better CA.

When this plot has a U-shape, with a clear absolute and

### Results

UTI ingress: 18/02/2021, man 41 ys, severe TBI, traffic accident, GSC 7 (1+4+2), HEC refractaria al día 2, se decide tratamiento quirurgico de contusiones con reposición de hueso. 22/03 se coloca drenaje lumbar hasta el 2/03. se retira tornillo pic 5/03. Alta CTI 19/03/2021

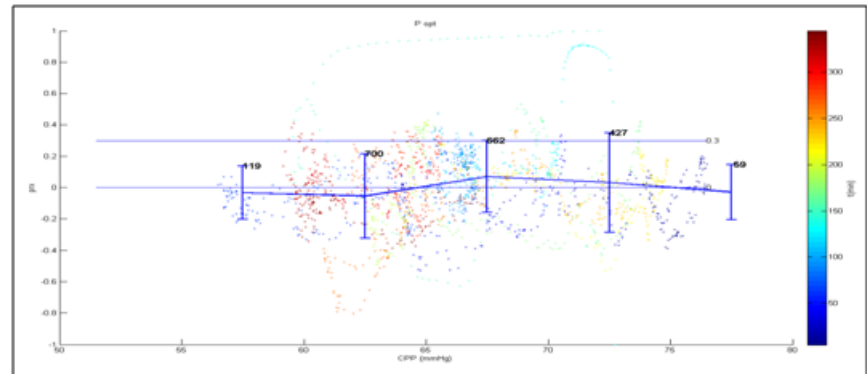


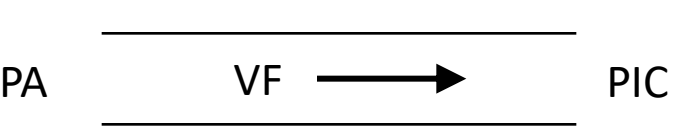
Fig. 1: 23/02, 5 days in UCI. 6 hours acquisition. U-shape is not observed. All ranges of pressures have CA near 0 but an evolution is not observed during the timelapse.

# PRESION CRITICA DE CIERRE

PCC : **PRESION ARTERIAL** PARA LA CUAL EL FSC ES CERO

¿QUE TAN LEJOS DE ELLA ESTÁ EL PACIENTE?

MODELO SIMPLIFICADO



$$FSC = \frac{PA - PIC}{R}$$



EL FLUJO SERÍA CERO SOLAMENTE SI PA = PIC

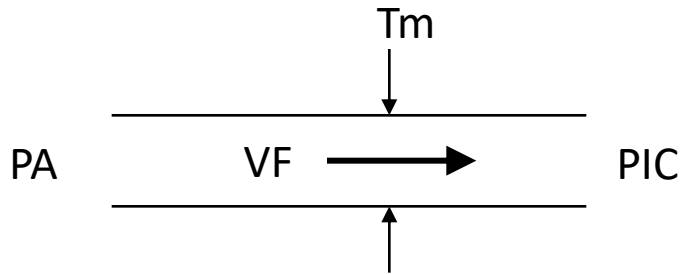
$$PCC = PIC \quad \times$$



ESTE MODELO NO TIENE EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DEL TONO MUSCULAR DEL SISTEMA ARTERIAL

# PRESION CRITICA DE CIERRE

PCC : PRESION ARTERIAL PARA LA CUAL EL FSC ES CERO



$$FSC = \frac{PA - PCC}{R}$$

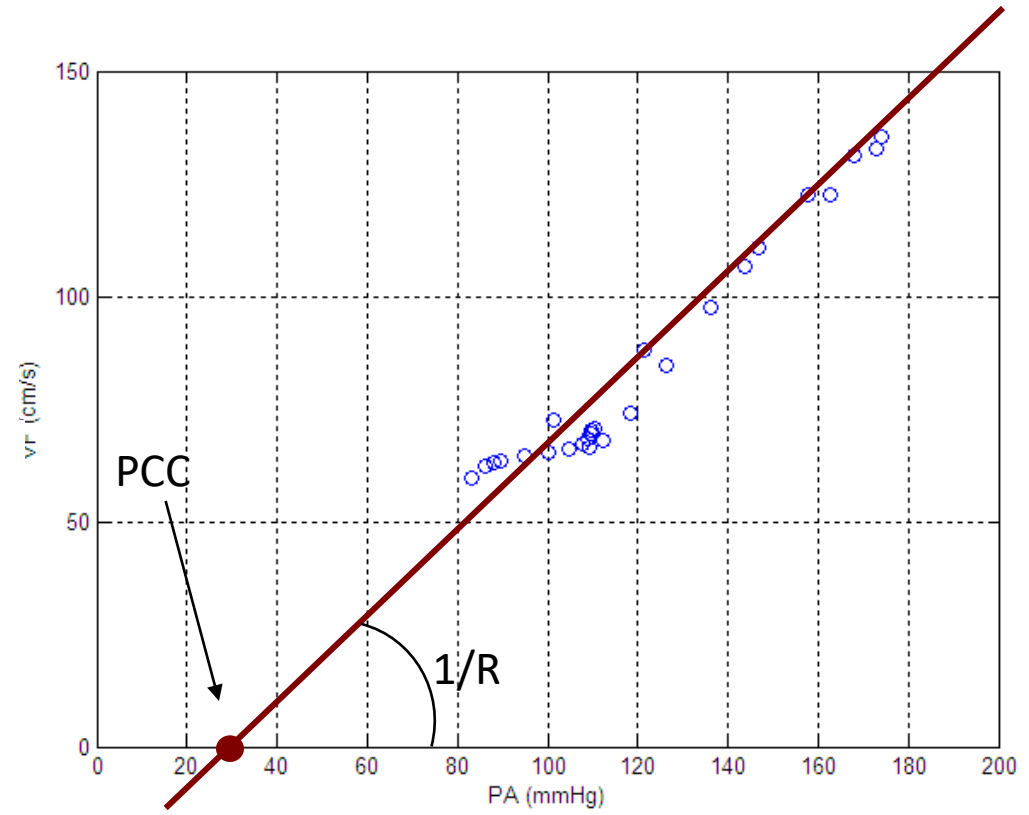
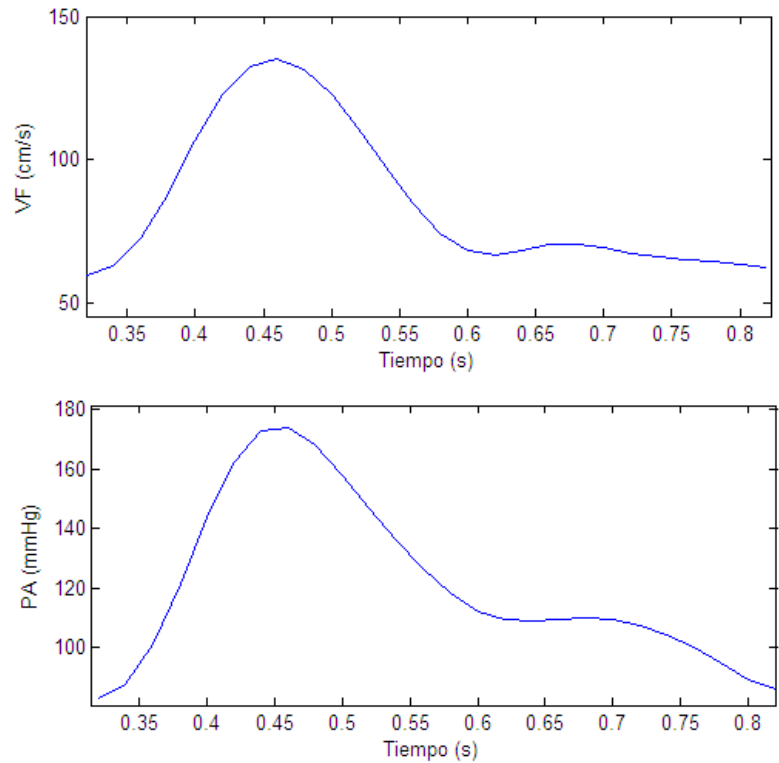
$$PCC = PIC - Tm$$

EL FLUJO SERÍA CERO CUANDO PA = PCC

$$PCC = PIC - Tm$$

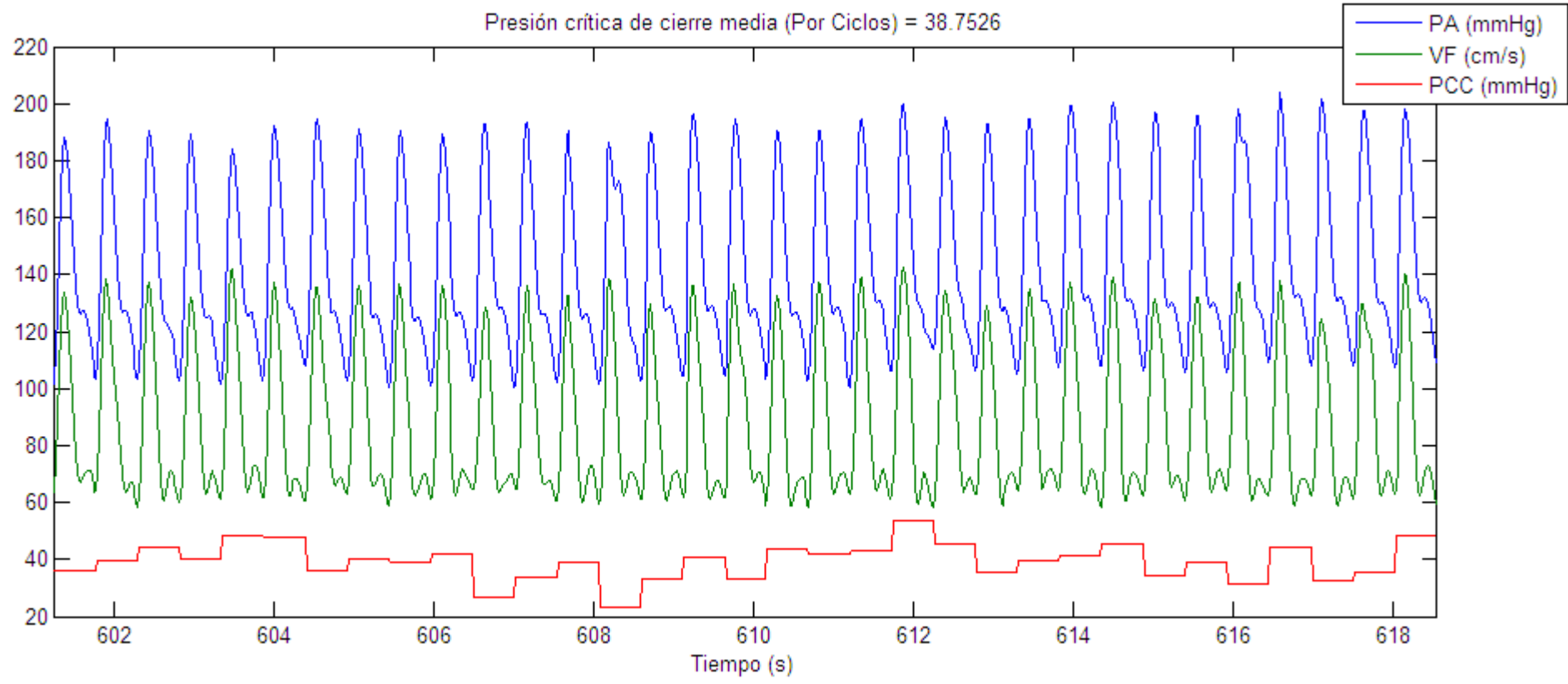
LA PCC DEPENDE DE LA PIC Y DEL TONO MUSCULAR, POR LO CUAL SE PUEDE VER AFECTADA TANTO POR LA A.R. COMO POR LA PCO2

# PRESION CRITICA DE CIERRE



EL CORTE DE LA RECTA DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE PA Y VF CON EL EJE HORIZONTAL ES LA PRESIÓN CRÍTICA DE CIERRE

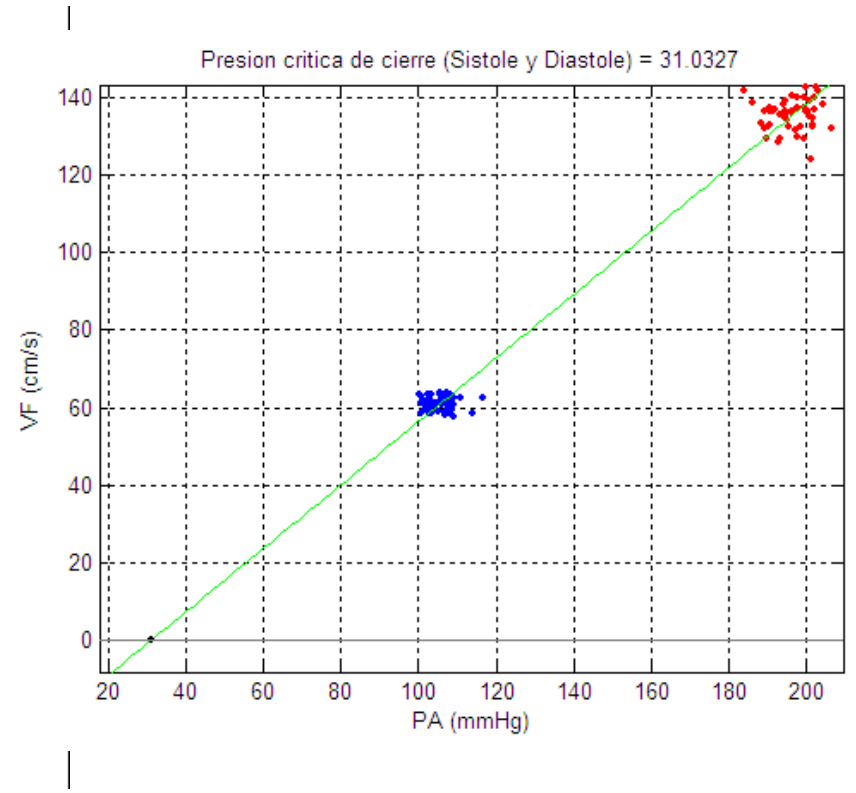
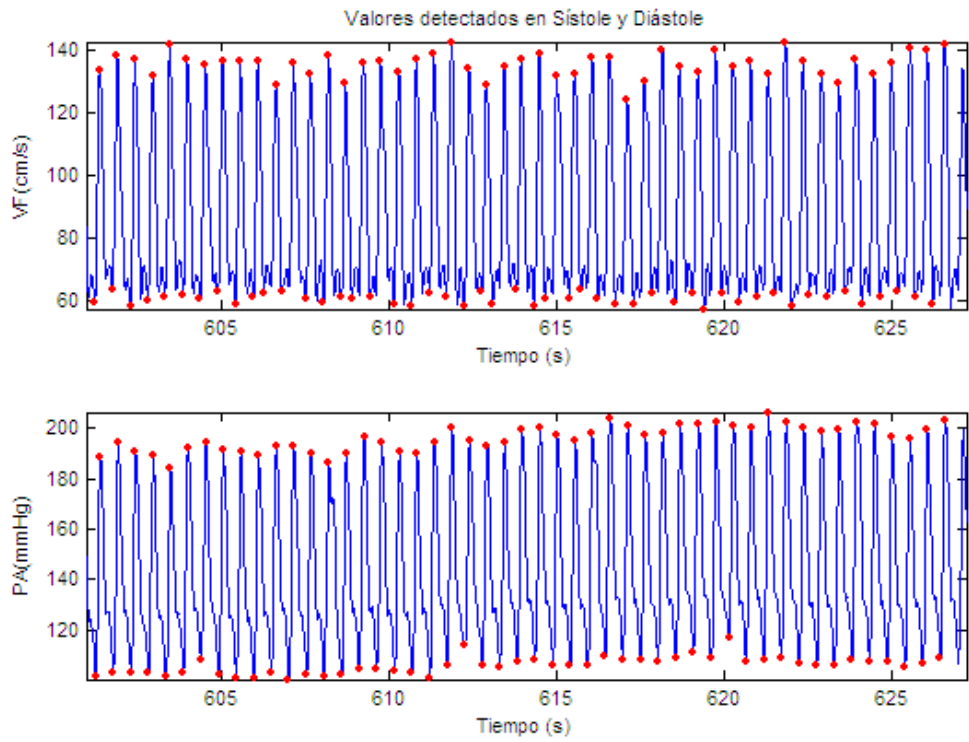
# PRESION CRITICA DE CIERRE



SI REPETIMOS EL PROCESO PARA CADA CICLO CARDÍACO OBTENEMOS LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA PCC



# PRESION CRITICA DE CIERRE



TAMBIÉN SE OBTIENE LA PCC MEDIANTE LA REGRASIÓN LINEAL UTILIZANDO SOLAMENTE LOS VALORES EN SÍSTOLE Y DIÁSTOLE

SI LA VENTANA DE OBSERVACIÓN ES MUY GRANDE PUEDE HABER INFLUENCIA DE LA A.R.

# PRESION CRITICA DE CIERRE

$$FSC = \frac{PA - PCC}{R} \implies PCC = PA - R \cdot FSC$$

↓ TRANSFORMADA DE FOURIER

$$PCC(f) = PA(f) - R \cdot FSC(f)$$

↓ SUPONIENDO QUE LA PCC NO DEPENDE DE LA FRECUENCIA

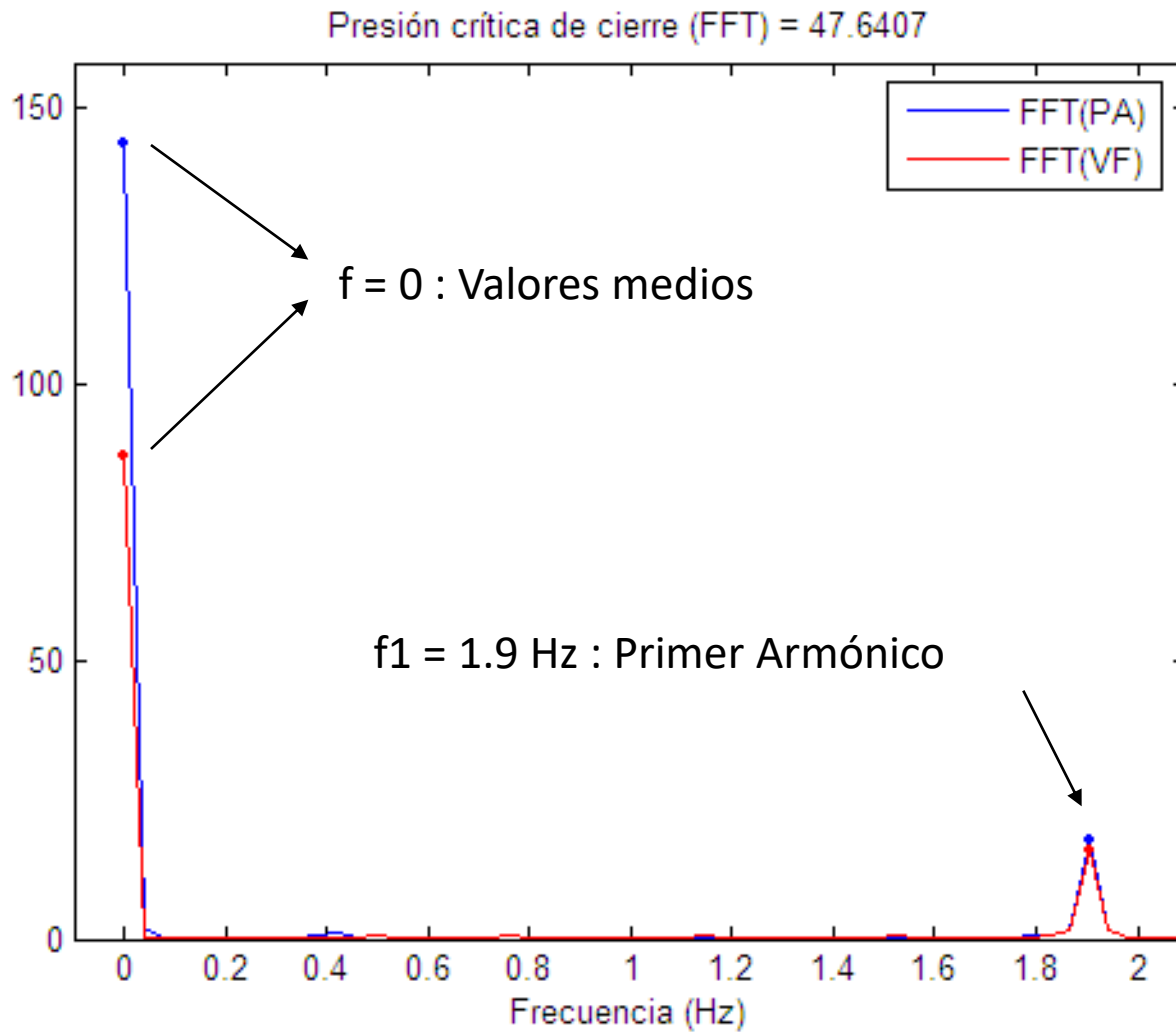
$$PCC = PA(0) - \frac{PA(f_1)}{VF(f_1)} \cdot VF(0)$$

VALOR MEDIO DE PA

RELACIÓN DE AMPLITUD DEL PRIMER ARMÓNICO

VALOR MEDIO DE VF

# PRESION CRITICA DE CIERRE



MÉTODO MULTIPARAMÉTRICO DE VARSOS.

INTRODUCE LA COMPLIANCE CEREBRAL Y  
LA FRECUENCIA CARDÍACA EN EL CÁLCULO  
DE LA PCCr

# Comparison between Mx and effective Mx in patients with severe traumatic brain injury

Bernardo Yelicich<sup>1</sup>, Mayda Noble<sup>1</sup>, Leandro Moraes<sup>1</sup>, Sabrina Furtado<sup>1</sup>, Alberto Biestro<sup>1</sup>,  
Corina Puppo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Neuromonitoring Group, Intensive Care Unit - Hospital de Clinicas Medical School,  
Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay*



Mx estimates continuous cerebral autoregulation (CA), as a moving correlation between Mx and CPP. An "Optimal CPP" can be calculated as the CPP at which Mx is lowest. However, CPP formula (ABP-ICP) does not include wall tension (WT). Critical closing pressure (CrCP) is a parameter which takes into account wall tension, "Effective CPP" (CPPeff) can be calculated as  $CPP_{eff} = ABP - CrCP$ . We estimated Mxeff, analogue to Mx index, as the moving correlation between flow velocity (FV) and CPPeff.

Objective: To estimate Mxeff in severe traumatic brain injured (TBI) patients and compare it with "classical" Mx.

$$PPC_{ef} = PA - PCCr$$



Mxef

HOSPITAL DE CLINICAS  
r. Manuel Quintela  
CENTRO DE TRATAMIENTO INTENSIVO

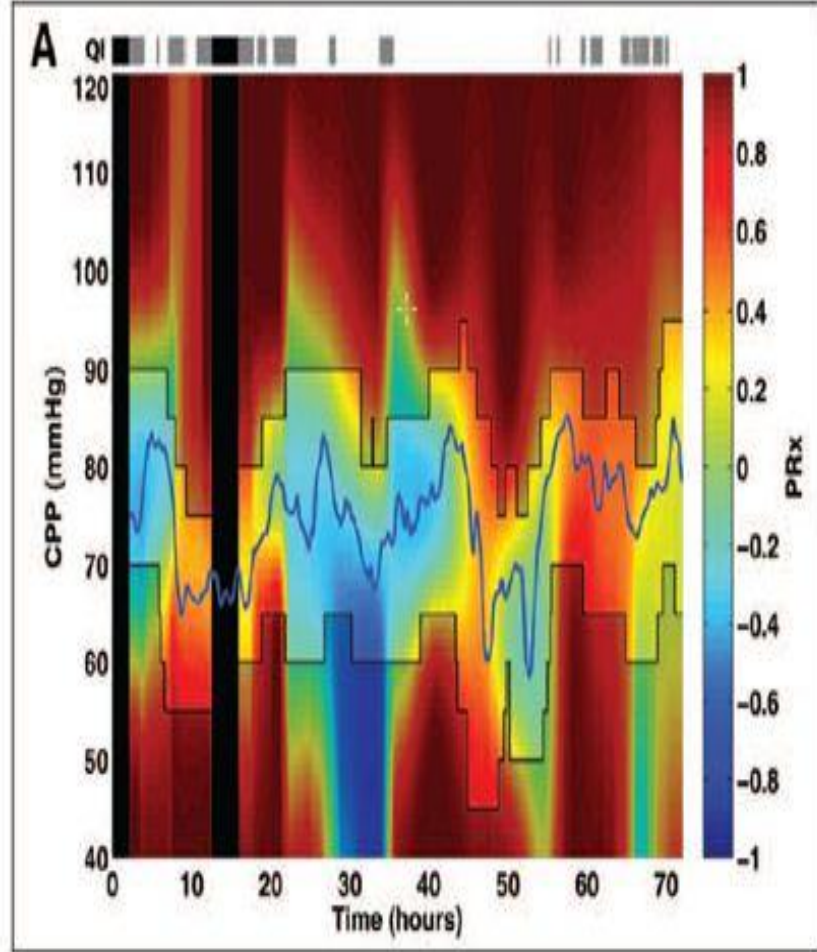
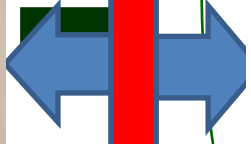
# MONITOREO CLÍNICO

PESO \_\_\_\_\_

CAMA \_\_\_\_\_ N° DE REGISTRO \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

CONTOLES	FREC.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ritmo		80	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Frecuencia Cardíaca		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Presión Venosa Central																									
Presión Arteria Pulmonar																									
Presión Arterial	S	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	
	D	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	
Presión Arterial Media		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Presión Intracraneana	Media																								
Presión Perfusión Cerebral																									
GLASGOW	Suma	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Reflejo Fotomotor	D																								
Tamaño Pupilar	D																								
Temperatura		37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	
Modo Respiratorio		CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	
Fi O2		0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	
PEEP		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
PSO2		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Frecuencia Respiratoria	Propia	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Ventil.																								
Aspiración de vía aérea																									
SNG-Vómitos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Deposiciones																									
Drenajes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

SALIDA



Conc  
adquisición

VARIABLES BIOLÓGICAS

**MUCHAS GRACIAS**