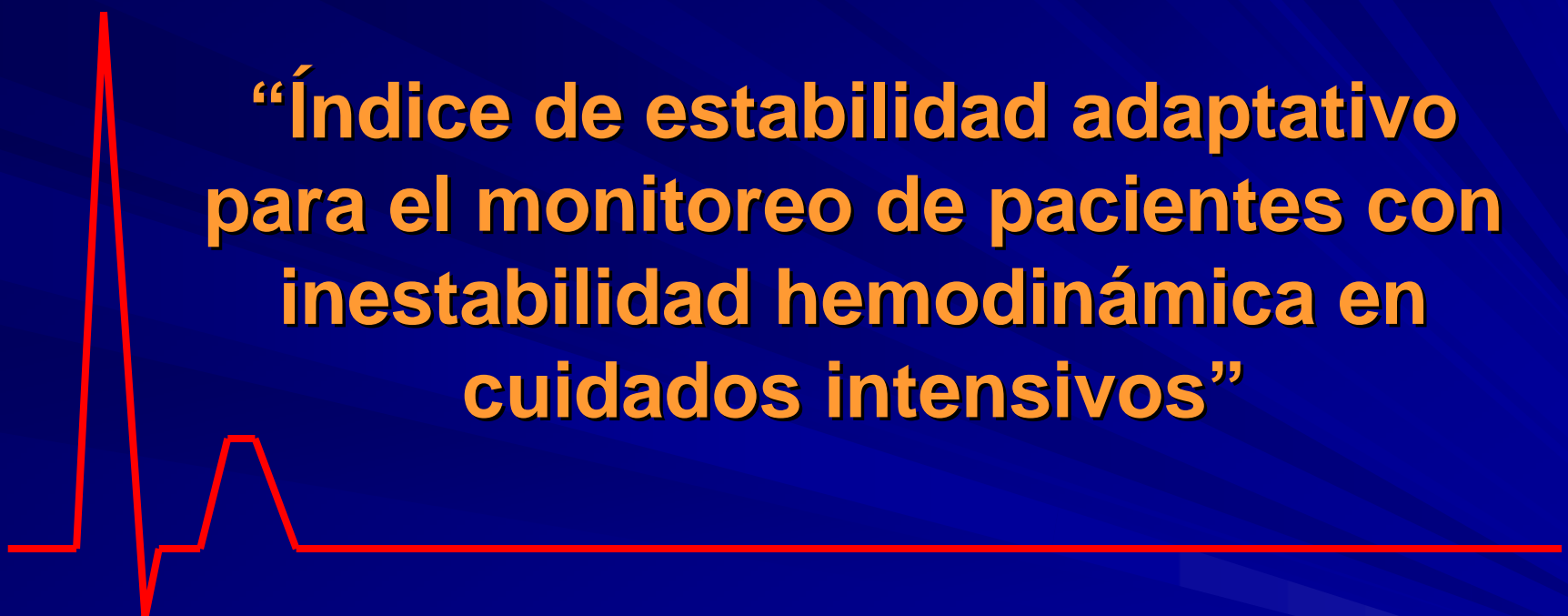
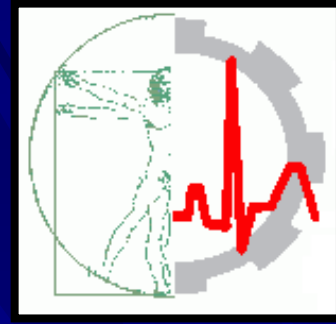




Universidad Nacional de Entre Rios  
Facultad de Ingeniería  
Bioingeniería



**“Índice de estabilidad adaptativo  
para el monitoreo de pacientes con  
inestabilidad hemodinámica en  
cuidados intensivos”**

*A. Hadad, D. Rodriguez, D. Evin, B. Drozdowicz*

# Marco de encuadre del trabajo

- PID: “*Sistema de Información de Soporte a la Toma de Decisiones para el Diagnóstico Temprano en Procesos Médicos*”. Dirigido por Bartolomé Drozdowicz y financiado por la Universidad Nacional de Entre Ríos

# Problemática

- La Unidad de cuidados intensivos (UCI) genera gran cantidad de datos de diversos parámetros biológicos.
- Dificultad para la toma de decisiones por parte del médico debido a la sobrecarga de información.
- Restricciones de tiempo real.

# Propuesta

Un entorno que permita asistir en el monitoreo de estados anormales sobre los datos del paciente



Índice de Estabilidad

# Características

- Brindar información en tiempo continuo de los procesos subyacentes de los pacientes.
- Ofrecer una forma resumida de la evolución temporal de la estabilidad.

# Características

- Integrar en uno o pocos parámetros una idea del estado global del individuo facilitando la interpretación integral de la información por parte del especialista.
- Encontrarse adaptado a cada paciente.

# Consideraciones del dominio

- **Hipótesis:** Se considera estable el intervalo inicial del monitoreo.
- **Tipo de Inestabilidad considerada:** Inestabilidad Hemodinámica.
- **Situaciones o estados clínicos asociados a la inestabilidad hemodinámica:**
  - Edema pulmonar
  - Falla respiratoria
  - Shock cardiogénico

# Conocimiento del Dominio

- Relación entre los parámetros para cada estado según la opinión de expertos y análisis experimental:
  - Estado **estable** o **no crítico**

Relación	Parámetros
BAJA	PAM – FC
MEDIA	FC – SO <sub>2</sub>
ALTA	PAM – PAS – PAD

- Relación **MEDIA** entre la evolución de la *presión arterial media* (PAM) y la *frecuencia cardiaca* (FC)
- Relación **BAJA** entre la FC y la evolución de la *saturación de oxígeno en sangre* (SO<sub>2</sub>)
- **ALTO** grado de relación entre la PAM y las *presiones arteriales sistólica* (PAS) y *diastólica* (PAD).

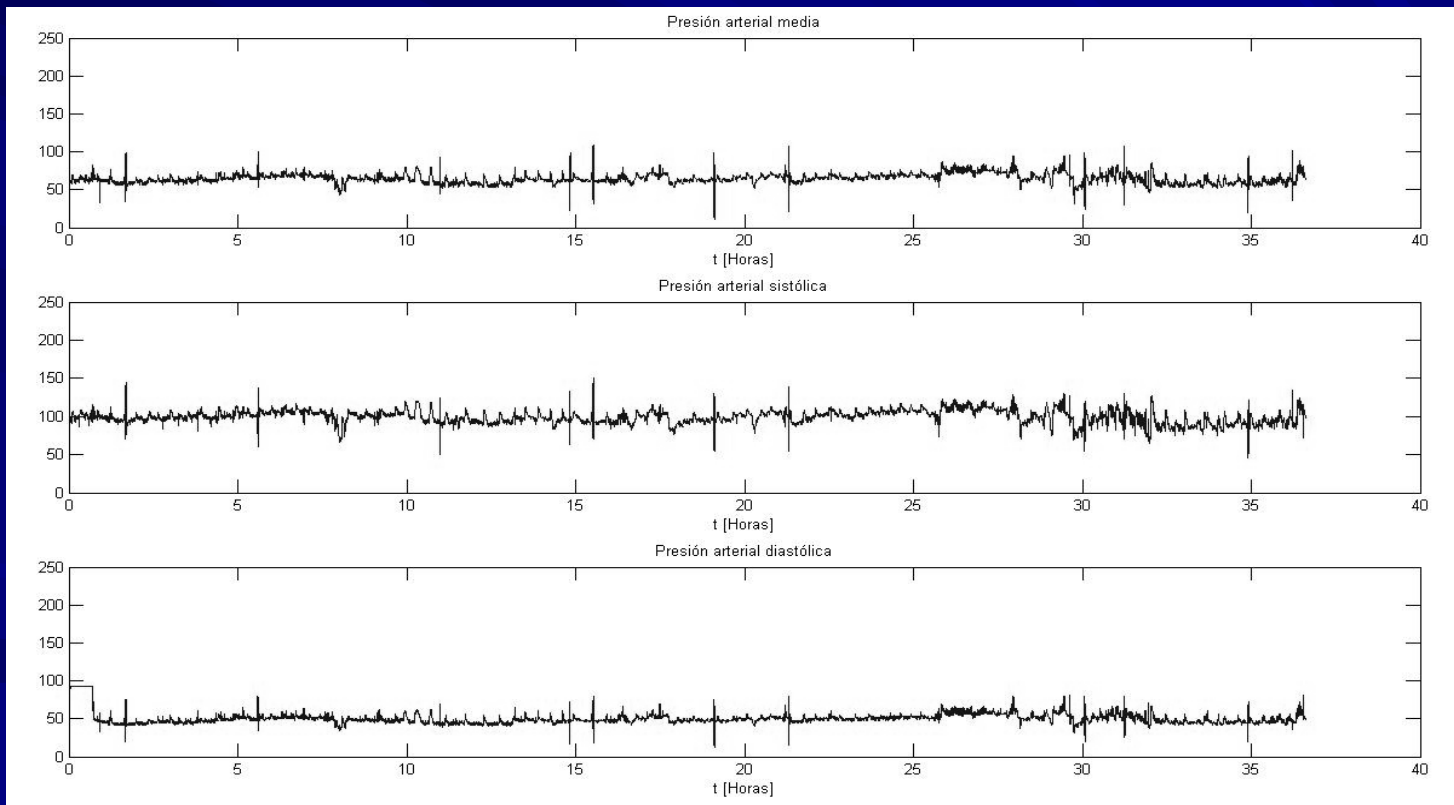
# Materiales

- Base de datos **MIMIC\*** (Multi-parameter intelligent Monitoring for Intensive Care):
  - Registros de pacientes hemodinámicamente inestables.
  - Parámetros:
    - Frecuencia Cardíaca
    - Presiones Arteriales (Media, Sistólica y Diastólica),
    - Frecuencia Respiratoria
    - Saturación de Oxígeno.
  - Información de alarmas por umbral de paciente y de mal funcionamiento del monitor.

\* [www.physionet.org/physiobank/database/mimicdb/](http://www.physionet.org/physiobank/database/mimicdb/)

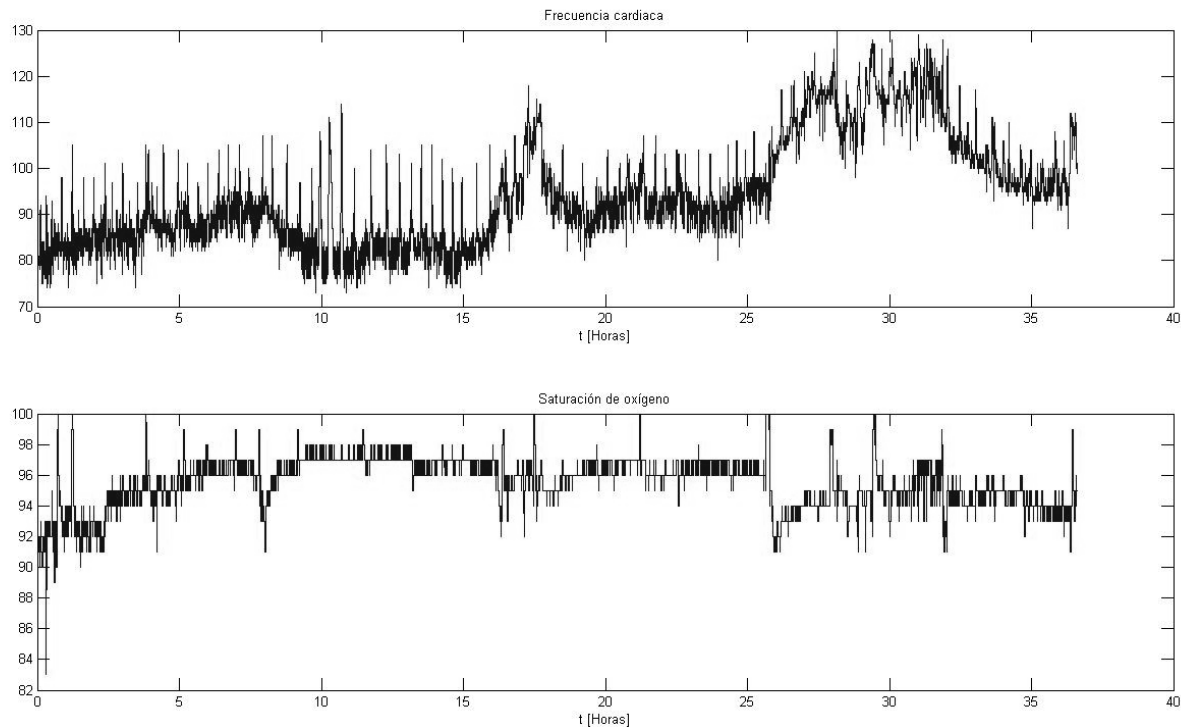
# Parámetros

## Presión arterial diastólica, sistólica y media

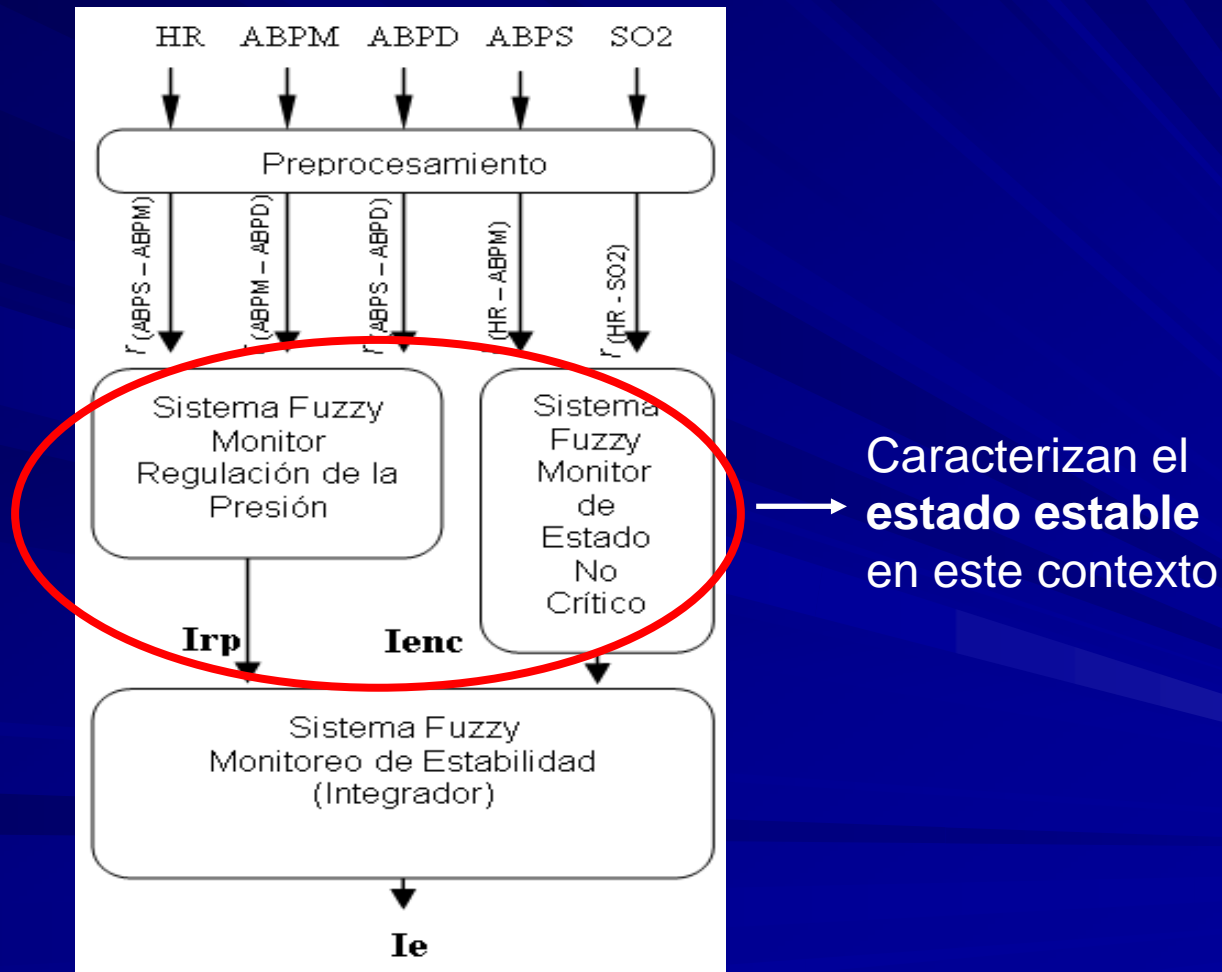


# Parámetros

## Frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno



# Diagrama en bloques del sistema



# Metodologías de Preprocesamiento

## ■ Correlación lineal:

- Alto valor absoluto  $\rightarrow$  alta asociación lineal entre dos variables (0.6 se considera bastante grande\*).
- Indicador de la fortaleza con que dos variables se relacionan considerando:
  - Intervalos estacionarios de aprox. 1 minuto.
  - Señales con tasas de cambio temporal pequeñas.

\*Dallas E. Jhonson, “Métodos multivariados aplicados al análisis de datos”. ISBN:9687529903. Editorial:Thomson International (1999).

# Preprocesamiento

- **Selección de tramos** de las señales que contienen muestras comprendidas en intervalos fisiológicamente permitidos.
- **Normalización de las señales** tomando los siguientes valores extremos:
  - PAM, PAD y PAS: un mínimo de 25 mmHg y un máximo de 200 mmHg.
  - HR, un mínimo de 0 lpm y un máximo de 300 lpm.
  - SO<sub>2</sub> se tomó un mínimo de 21% y un máximo de 100%.

# Preprocesamiento

- Se obtiene la evolución temporal de los coeficientes de correlación para los pares de señales necesarios tomando intervalos de tiempo de un minuto:

$r(\text{PAS} - \text{PAM})$

$r(\text{PAM} - \text{PAD})$

$r(\text{PAS} - \text{PAD})$

$r(\text{FC} - \text{PAM})$

$r(\text{FC} - \text{SO}_2)$

# Procesamiento

## ■ Sistema fuzzy:

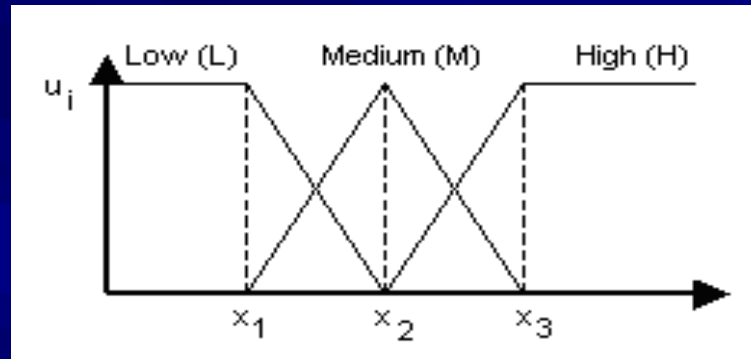
- Subsistema de monitoreo de estado no crítico.
- Subsistema de regulación de presiones.
- Subsistema de monitoreo de estabilidad.

# Procesamiento

- Monitoreo de estado no crítico:
  - Entradas: correlaciones FC-SO<sub>2</sub> y FC-PAM.
  - Salidas: Índice de estado no crítico (Ienc).
- Regulación de presiones:
  - Entradas: correlaciones PAS-PAM, PAS-PAD y PAM-PAD.
  - Salida: Índice de regulación de la presión (Irp).
- Monitoreo de estabilidad
  - Entrada: Ienc e Irp.
  - Salida: Índice de estabilidad (Ie).

# Fuzzificación

## ■ Morfología de fuzzificación



## ■ Índice no adaptado

- Para la variable de entrada de los primeros dos subsistema  $[x_1 \ x_2 \ x_3] = [0.2 \ 0.4 \ 0.6]$
- Para la salida de ambos subsistemas  $[x_1 \ x_2 \ x_3] = [0,1 \ 0,5 \ 0,9]$ .

# Reglas del Protocolo

TABLA I

REGLAS DEL PROTOCOLO DE CONTROL PARA EL SUBSISTEMA FUZZY PARA EL MONITOREO DE LA REGULACIÓN DE LA PRESIÓN.

$r$ (ABPS - ABPM)	$r$ (ABPS-ABPD)	$r$ (ABPM-ABPD)	<u>Irp</u>
H	H	H	E
H	M	H	E
M	M	M	I
M	M	H	I
M	H	H	I
H	H	M	I
M	H	M	I
H	M	M	I
		Para otra combinación	MI

TABLA II

REGLAS DEL PROTOCOLO DE CONTROL PARA EL SUBSISTEMA FUZZY PARA EL MONITOREO DE EL ESTADO NO CRÍTICO.

<u>Ienc</u>	$r$ (HR - ABPM)		
$r$ (HR - SO2)	L	M	H
L	I	E	E
M	MI	I	I
H	MI	MI	MI

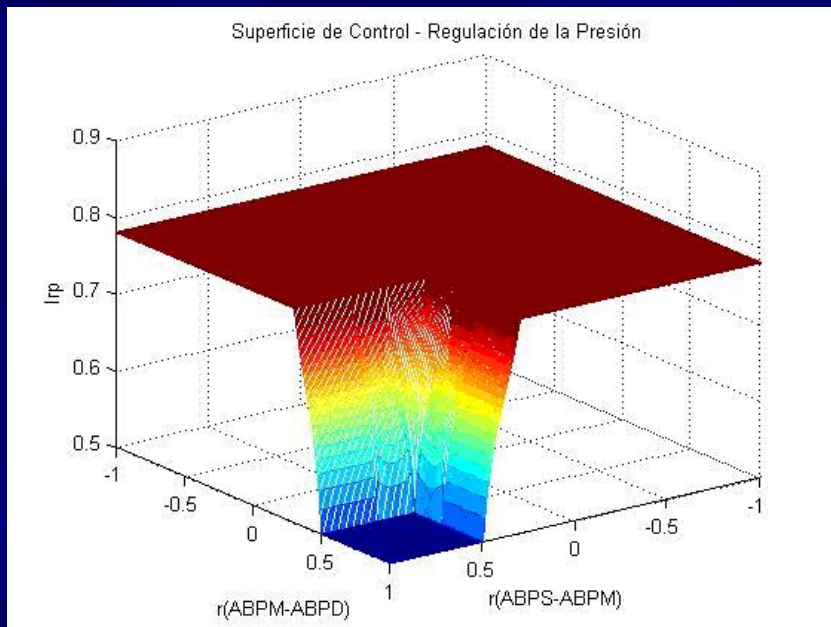
TABLA III

REGLAS DEL PROTOCOLO DE CONTROL PARA EL SUBSISTEMA FUZZY INTEGRADOR.

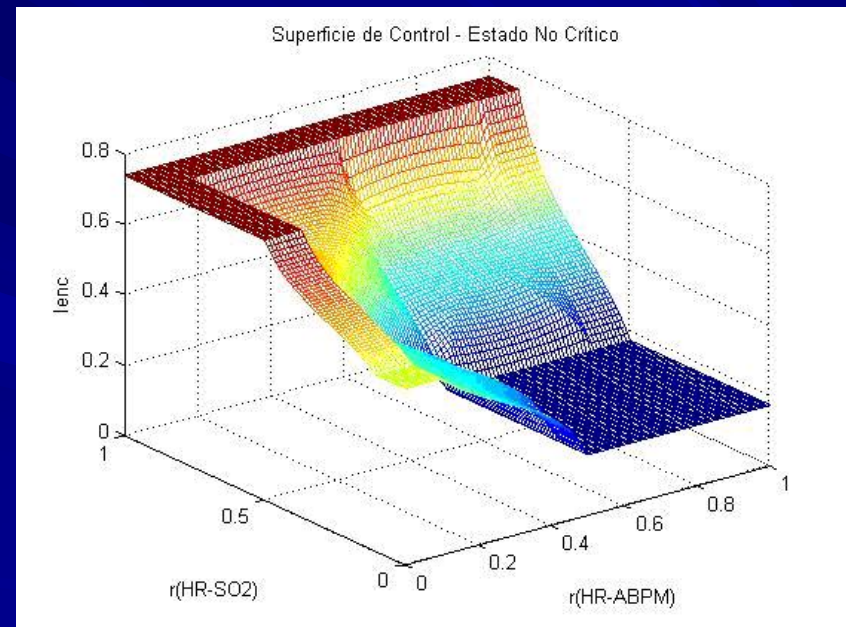
<u>Ie</u>	<u>Ienc</u>		
<u>Irp</u>	E	I	MI
E	E	I	MI
I	I	I	MI
MI	MI	MI	MI

# Superficies de control

Regulación de presión



Estado no crítico



# Algoritmo de adaptabilidad

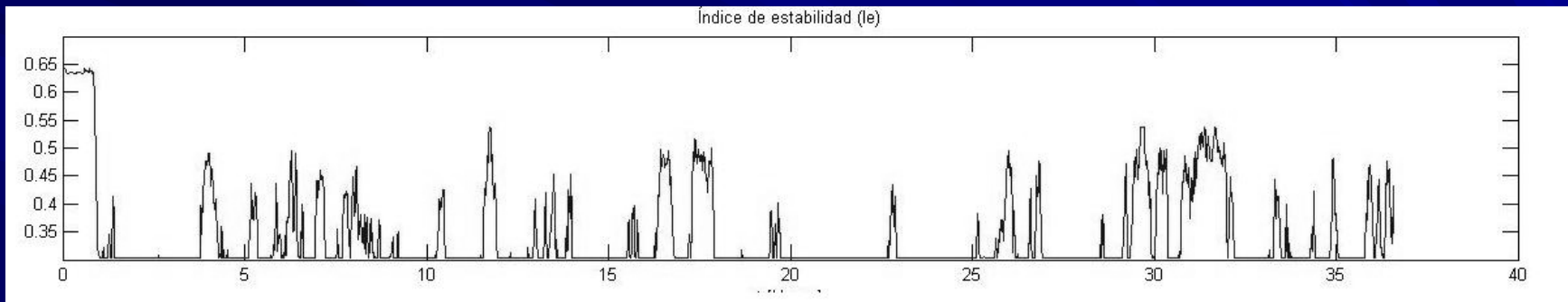
- La estrategia de adaptación consiste en capturar la información estadística del comienzo del monitoreo, la cual por hipótesis, se considera asociada a un estado estable.

# Algoritmo de adaptabilidad

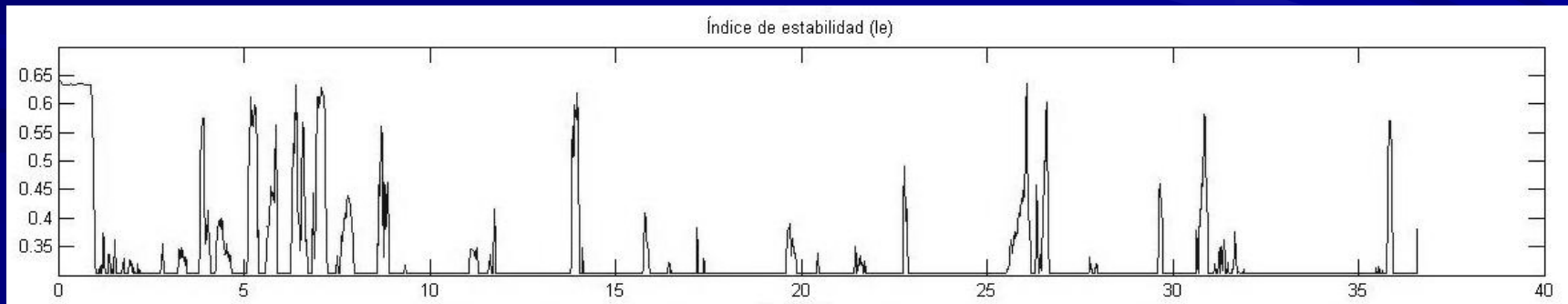
- $[x_1 \ x_2 \ x_3]$  se obtienen de la estadística de media ( $x$ ) y desvío estándar ( $\sigma$ ) de la serie temporal de las correlaciones durante la primera media hora.
- Luego se estiman los valores para cada caso de la siguiente manera:
  - Para  $r$  (PAS – PAM) ,  $r$  (PAM – PAD) ,  $r$  (PAS – PAD):  
 $x_1 = x - 2^* \sigma$  ;  $x_2 = x - \sigma$  ;  $x_3 = x$
  - Para  $r$  (FC – PAM):  $x_1 = x - \sigma$  ;  $x_2 = x$  ;  $x_3 = x + \sigma$
  - Para  $r$  (FC - SO2):  $x_1 = x$  ;  $x_2 = x + \sigma$  ;  $x_3 = x + 2^* \sigma$

# Índice de estabilidad

No adaptado



Adaptado



# Indice adaptado

- Resultados de la adaptación
  - Disminución del ruido
  - Las zonas de inestabilidad hemodinámica se encuentran mucho mejor definidas
  - Presenta valores más representativos respecto a las regiones estables, generando un aumento del contraste que facilita la distinción entre zonas estables e inestables.
  - Resulta de gran importancia para la disminución de posibles falsas alarmas, en el caso que se desarrolle algún sistema para alertar al responsable de la ICU.

# Conclusiones

- Los métodos adaptados al comportamiento de cada paciente convergen a resultados más claros.
- El índice de estabilidad se comporta a modo de un elemento integrador, que reúne en un sólo parámetro la gran cantidad de información disponible en el ambiente de internación de la ICU.
- Esta propiedad reduce el esfuerzo necesario para la interpretación de la información por parte del especialista, así como también vislumbra características dinámicas subyacentes al comportamiento del organismo.
- Se abre un abanico de posibilidades para desarrollar diversas implementaciones, dentro de las cuales se encuentra la creación de sistemas anticipativos a procesos de divergencia propios de estados inestables.

# Referencias

- [1] Michael Stacey, Carolyn McGregor “Temporal abstraction in intelligent clinical data analysis: A survey”. *Artificial Intelligence in Medicine* Vol. 39, 1—24 (2007).
- [2] Tsien CL, Fackler JC. Poor prognosis for existing monitors in the intensive care unit. *Crit. Care Med*; 25:614—9 (1997).
- [3] Verduijn, M., Sacchi L., Peek N., Bellazi R., De Jonge, E., De Mol B.: Temporal abstraction for feature extraction: A comparative case study in prediction from intensive care monitoring data. *Artificial Intelligence in Medicine*, Vol. 41, pp. 1-12. (2007).
- [4] Kannathal, N., Rajendra Acharya, U., Ng, E.Y.K, Krishnan S.M., Lim Choo Min, Laxminarayan S.: Cardiac health diagnosis using data fusion of cardiovascular and haemodynamic signals. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. Vol 82, 87-96. (2006)
- [5] Bauer, M., Gather, U, and Imhoff.: The identification of Multiple Outliers in Online Monitoring Data. Preprint 29/1999, Department of Statistics, University of Dortmund, Germany (1999)
- [6] Gather, U., Fried R. Imhoff, M., and Becker C. Patterns on Dependencies in Dynamic Multivariate Data. *Pattern Detection and Discovery*, LNAI 2447, pp. 214-226. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2002).
- [7] Hadad,, Rodriguez, Evin, Drozdowicz, Modelo de Seguimiento de estados en pacientes con inestabilidad hemodinámica. CLEI 2008. Conferencia Lationamericana de Informática. Santa Fe, 2008. CLEI2008.
- [8] G.B. Moody and R. G. Mark. “A Database to Support Development and Evaluation of Intelligent Intensive Care Monitoring”. *Computers in Cardiology* 23:657-660, (1996)
- [9] James Bailey. “Haemodynamic Instability” Dept. of Crit. Care Med. Div., Emory University School of Medicine, Atlanta, Georgia, USA. GASNet.. Disponible en <http://www.smartonweb.org/> (2003)
- [10] American College. “Guidelines for ICU Admission, Discharge, and Triage”. *Critical Care Medicine*. Vol 27(3):633-638, (1999)
- [11] Dallas E. Jhonson, “Métodos multivariados aplicados al análisis de datos”. ISBN:9687529903. Editorial: Thomson International (1999).
- [12] L.H. Tsoukalas, R.E. Uhrig. *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*. John Wiley and Sons, Inc. ISBN 0-471-16003-2, 1997

**Contacto:**  
**hadad@santafe-conicet.gov.ar**