Modelo de estimación de parámetros de un filtro FIR aplicado al Sistema de Autorregulación cerebral utilizando Redes Neuronales Artificiales.

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Computación e Informática.

Profesor Guía:

Claudio Henríquez Berroeta.

Profesores revisores:

Alejandro Sanhueza.

Pablo Espinase.

Edison Daniel Contreras Ortiz

OCTUBRE 2014

SANTIAGO-CHILE

Tabla de contenido

[Capítulo I: Introducción. 4](#_Toc409386997)

[1.1 Introducción. 4](#_Toc409386998)

[1.2 Identificación del problema. 6](#_Toc409386999)

[1.3 Justificación del proyecto. 7](#_Toc409387000)

[1.4 Objetivos del Proyecto. 9](#_Toc409387001)

[1.5 Solución propuesta. 10](#_Toc409387002)

[1.6 Hipótesis a comprobar. 11](#_Toc409387003)

[1.7 Plan de trabajo. 12](#_Toc409387004)

[Capítulo II: Marco teórico. 13](#_Toc409387005)

[2.1 Marco Teórico. 13](#_Toc409387006)

[2.2 Inteligencia Artificial. 14](#_Toc409387007)

[2.3 Redes neuronales Artificiales. 14](#_Toc409387008)

[2.4 Neurona. 15](#_Toc409387009)

[2.5 Función de entrada y de activación. 16](#_Toc409387010)

[2.6 Estructura de una red. 16](#_Toc409387011)

[2.7 Perceptron. 17](#_Toc409387012)

[Capítulo III: Descripción del modelo a estudiar. 23](#_Toc409387013)

[3.2 Objetivo de la investigación. 23](#_Toc409387014)

[3.3 Desarrollo. 24](#_Toc409387015)

[3.4 Resultados y Conclusiones. 26](#_Toc409387016)

[Capítulo IV: Modelamiento. 27](#_Toc409387017)

[4.1 Propuesta de modelo. 27](#_Toc409387018)

[4.2 Descripción del flujograma de cálculo. 27](#_Toc409387019)

[4.5 Diferencias relevantes. 28](#_Toc409387020)

[4.6 Distribución de datos 29](#_Toc409387021)

[4.7 Datos de Test 33](#_Toc409387022)

[4.8 Descripción de las RNA a utilizar. 37](#_Toc409387023)

[Elección de la cantidad de neuronas utilizar en el modelos. 37](#_Toc409387024)

[4.9 Configuración de la RNA. 39](#_Toc409387025)

[Capítulo V: Obtención de resultados. 40](#_Toc409387026)

[5.1 Newff. 40](#_Toc409387027)

[5.2 Newpr: 50](#_Toc409387028)

[Capítulo VI: Análisis y Comparación. 60](#_Toc409387029)

[6.1 FeedFordward (Newff): 60](#_Toc409387030)

[6.2 Patternnet (Newrp): 62](#_Toc409387031)

[Capítulo VII: Conclusiones 64](#_Toc409387032)

[Listado de ilustraciones 67](#_Toc409387033)

[Bibliografía 68](#_Toc409387034)

[Apéndice 70](#_Toc409387035)

# Capítulo I: Introducción.

## 1.1 Introducción.

En la actualidad existen grandes avances tecnológicos en el mundo de la salud en sus distintas áreas, el presente proyecto se centrará en el estudio de un modelo que se enfocará en encontrar los parámetros óptimos en un filtro FIR para poder estimar de forma correcta los parámetros para una persona en estado de normo e hipercapnia [4].

El siguiente documento se describe como cuantificar los parámetros del sistema de autorregulación cerebral SAC, donde generalmente se utiliza una técnica, que consiste en manipular la presión sanguínea arterial ABP, como entrada y la velocidad del flujo sanguíneo cerebral CBFV como salida.

Cabe mencionar, que el Sistema de Autorregulación Cerebral SAC, es el mecanismo que mantiene el flujo de sangre al cerebro relativamente constante ante cambios en la presión sanguínea arterial [3], es por esto necesario investigar el funcionamiento.

Se propone un modelo optimizado para estimar de mejor manera los parámetros en el filtro FIR y en el ARI obtener resultados coherentes, las variables de entradas de este modelo son datos obtenidos de personas que fueron sometidos a estados de normo e hipercapnia.

Para emplear este método, se manipularán datos de personas sanas que fueron obtenidos a través de un doppler transcraneal y un finometer[4], para adquirir valores de velocidad del flujo sanguíneo cerebral y la presión arterial, con estos datos, un filtro FIR y un índice de autorregulación ARI, buscan establecer un modelo con la mejor combinación de parámetros para lograr una respuesta coherente mediante un método diferente, es por esto que se propone como herramienta redes neuronales artificiales.

## 1.2 Identificación del problema.

En esta área existen diversos problemas al momento de obtener datos e información de los pacientes, este trabajo se centra en los siguientes:

* Se usan métodos invasivos para el ser humano para obtención de datos sobre autorregulación cerebral.
* Existen una falta de exactitud de los datos al momento de tomar las muestras debido al entorno.
* Hay problemas de exactitud al momento de utilizar un método eficaz para distinguir el funcionamiento del SAC durante estados de normocapnia e hipercapnia en base al índice ARI.
* El modelo actual de SAC con un modelo FIR se aplica a solo una persona.

## 1.3 Justificación del proyecto.

Una enfermedad cerebrovascular es una falla ocurrida en el sistema circulatorio causada por la interrupción del flujo sanguíneo cerebral, ya sea por un coágulo o una hemorragia de un vaso sanguíneo, impidiendo el suministro de oxígeno al cerebro. Los efectos producidos por una enfermedad cerebrovascular pueden ir desde un daño cerebral hasta la muerte [1].

Las enfermedades cerebrovasculares constituyen una de las principales causas de discapacidad en Chile según el Ministerio de Salud [1], esto se une a que la principal causa de muerte se debe a enfermedades del sistema circulatorio según el Instituto Nacional de Estadísticas [2]. A nivel mundial, según la Organización Mundial de Salud OMS, hubo 6,15 millones de muertes por enfermedad cerebrovascular en el año 2008 [1].

El Sistema de Autorregulación Cerebral SAC, es el mecanismo que mantiene el flujo de sangre al cerebro relativamente constante ante cambios en la presión sanguínea arterial, evitando principalmente una hemorragia del vaso sanguíneo, más conocida como derrame cerebral [3].

Actualmente, el diagnóstico que se puede realizar en pacientes con síntomas asociados a una enfermedad cerebrovascular es invasivo, debido a las dificultades impuestas por el cráneo para poder realizar mediciones [3].

Dado los antecedentes previos, se hace necesario investigar el funcionamiento del SAC con el objetivo de aportar de manera eficaz en la detección oportuna de enfermedades cerebro-vascular y que además sea de carácter no invasivo [3].

## 1.4 Objetivos del Proyecto.

Objetivo General.

* Diseñar un modelo de estimación de parámetros de un filtro FIR aplicado al Sistema de Autorregulación Cerebral utilizando Redes Neuronales Artificiales.

Objetivos Específicos.

* Estudiar el funcionamiento del Sistema de Autorregulación Cerebral, el cálculo del Índice de Autorregulación Cerebral ARI y todos los términos asociados al sistema biológico involucrado.
* Analizar el modelamiento del Sistema de Autorregulación Cerebral que utilizó filtros de respuesta finita al impulso FIR.
* Construir un modelo de estimación de parámetros utilizando Redes Neuronales Artificiales.
* Validar el modelo utilizando señales reales de Presión Sanguínea Arterial y Velocidad de Flujo Sanguíneo Cerebral.
* Realizar un análisis comparativo con los modelos existentes en la bibliografía.

## 1.5 Solución propuesta.

El propósito de la solución consiste en un modelo de estimación de parámetros de un filtro FIR aplicado al Sistema de Autorregulación Cerebral utilizando Redes Neuronales Artificiales.

* Aquí entra el concepto redes neuronales como estrategia para el procesamiento de los datos obtenidos, esto permitirá emular características propias de los humanos, como la capacidad de memorizar y de asociar hechos que ocurren en el sistema de autorregulación cerebral, en base a lo dicho anteriormente se encontrarán los patrones que se generan en las actividades de autorregulación cerebral.
* Las limitaciones del modelamiento son en base a las muestras que se manejarán, debido a que por ejemplo:

Personas con edades diferentes a las utilizadas en las muestras, enfermedades o con un sistema que se comporta diferente por el hecho de ser deportista, entre otros parámetros.

* Los resultados tienden a variar debido a que comportan de forma distinta.

## 1.6 Hipótesis a comprobar.

H1. “El Modelo de estimación de parámetros de un filtro FIR aplicado al Sistema de Autorregulación cerebral utilizando Redes Neuronales Artificiales es más eficaz que el modelo actual utilizado [4]”.

## 1.7 Plan de trabajo.

Para realizar esta investigación se establece un plan de trabajo de 4 días a la semana con 4 horas diarias y como herramienta de Apoyo complementaria para organizar las tareas a realizar se utilizará Kanban. Ya que al trabajar de forma individual demanda más tiempo, este proyecto se realizará con ayuda del profesor guía ya antes mencionado.

Las herramientas a Utilizar será un software el cual tiene un kit de herramientas de Redes Neuronales Artificiales, este software correrá en un computador de gama media, dado que la velocidad de operación no cambia los resultados a obtener.

# Capítulo II: Marco teórico.

## 2.1 Marco Teórico.

Esencialmente en este capítulo se estudiarán documentos realizados por profesionales que estén dirigidos al área de Investigación y Modelamiento del SAC, para poder desarrollar la investigación y validar la tesis propuesta en el documento necesitamos del enfoque teórico disciplinar desde el que se abordará nuestra unidad de observación. A continuación brindamos al lector algunas breves descripciones teóricas que le pueden ser de utilidad en el proceso de comprensión de lo que se desarrollará en la investigación.

Lo cual permitirá:

* Familiarizarse con el lenguaje teórico para abordar el documento de manera más eficaz.
* Desarrollar la capacidad de abstracción que le permita ir de los conocimientos más simples y cotidianos a los más elaborados y abstractos.
* Entender la interpretación de su objetivo de la investigación.

El marco teórico de este documento constará directamente con la teoría informática y su aplicación, en este caso particular sobre la inteligencia artificial y también tendrá que describir los términos que están relacionados con el Sistema de Autorregulación Cerebral.

## 2.2 Inteligencia Artificial.

El libro de apoyo llamado inteligencia artificial y un enfoque moderno de Stuart Russel y Peter Norvig, como termino general la describen como “lo que busca la inteligencia artificial se enfoca directamente a lograr la compresión de entidades inteligentes, por ello las razones de su estudio es aprender más de nosotros mismos”. Donde los esfuerzos de la IA están destinados a la construcción de entidades inteligentes como a su comprensión, otra razón por la cual se le da tanto énfasis es porque las entidades inteligentes así construidas son interesantes y útiles por derecho propio.

## 2.3 Redes neuronales Artificiales.

Desde el punto de vista computacional, es un método para representar funciones utilizando redes formadas por sencillos elementos del cálculo aritmético, y también como métodos para aprender tales representaciones a partir de ejemplos. Estas redes representan funciones de la misma manera que los circuitos que están formados por sencillas compuertas lógicas representan funciones booleanas tales representaciones resultan especialmente utilices en las funciones complejas cuyas salidas son valores continuos y grandes cantidades de entrada con ruido casos que a veces resulta difícil para las técnicas de aprendizaje.

## 2.4 Neurona.

La neurona es la unidad funcional básica de los tejidos del sistema nervioso incluido el cerebro, la neurona está formada por el cuerpo de la célula o también llamado Soma, en donde se aloja el núcleo de la célula, del cuerpo de la célula salen ramificaciones de diversas fibras conocidas como Dendritas y sale también una fibra más larga denominada Axón, la dendritas se ramifican tejiendo una tupida red alrededor de la célula mientras el axón se extiende un buen tramo, por lo general un centímetro (cien veces el diámetro del cuerpo de la célula) y en esos casos hasta un metro, finalmente el axón también se ramifica en filamentos y su filamentos mediante los que establece conexión con las dendritas y los cuerpos de las células de otras neuronas a la unión o conexión se le conoce como sinapsis, desde una docena de otras neuronas hasta con cientos de miles de otras ellas.

Las señales se propagan de neurona en neurona, mediante una complicada reacción electroquímica, la sinapsis liberan sustancias químicas transmisoras y entran a la dendrita con lo cual se eleva o se reduce un potencial eléctrico del cuerpo de la célula, una vez que el potencial eléctrico rebaza cierto límite se envía al axón un impulso eléctrico o potencial de acción, el impulso se difunde a través de las ramas del axón y finalmente llega a la sinapsis y libera transmisores en los cuerpos de otras células, las sinapsis que aumenta el potencial se conocen como excitadoras y las que lo disminuyen se denominan inhibidores, quizás el descubrimiento más importante es que las conexiones sinápticas muestran plasticidad, alteraciones a largo plazo de la intensidad de las conexiones como respuesta al patrón de estimulación, las neuronas establecen también nuevas conexiones con otras neuronas y en ocasiones con grupos completos de neuronas capaces de migrar de un sitio a otro, se considera que los mecanismos anteriores constituyen el fundamento del aprendizaje en el cerebro.

## 2.5 Función de entrada y de activación.

El cálculo está dividido en dos componentes, la primera es una componente lineal denominada función de entrada, que calcula la suma ponderada de los valores de entrada de la unidad. La segunda es una componente no lineal conocida como función de activación que transforma la suma ponderada en el valor final que sirve como valor de activación de la unidad, por lo general las unidades de la red utilizan la misma función de activación.

## 2.6 Estructura de una red.

Existe una gran variedad de estructuras de red, cada una de las cuales muestra distintas características de cómputo. La principal diferencia está entre las redes de prealimentación, o alimentación progresiva, y las redes recurrentes. En las redes de pre alimentación las conexiones son unidireccionales y no hay ciclos. En una red recurrente, las conexiones pueden formar topologías arbitrarias. Desde el punto de vista técnico, la red de prealimentación es una gráfica acíclica dirigida (GAD). Por lo general nos ocuparemos de redes, que están configuradas por niveles, o capas. En la red de prealimentación de niveles, cada una de las unidades está conectada solamente a las unidades del nivel siguiente; no existen conexiones entre las unidades que están en el mismo nivel, ni conexiones con niveles anteriores, ni conexiones que se salten un nivel.

## 2.7 Perceptron.

Son redes de pre alimentación con un solo nivel de unidades y solamente pueden representar funciones linealmente separables. Si los datos son linealmente separables, puede utilizarse la regla del aprendizaje del perceptron para modificar los pesos de la red y acoplar con exactitud los datos.

2.8 Red Neuronal FeedFordward (newff)

Redes feedforward consisten en una serie de capas. La primera capa tiene una conexión de la entrada de red. Cada capa posterior tiene una conexión de la capa anterior. La capa final produce la salida de la red.

Redes feedforward se pueden utilizar para cualquier tipo de entrada a la cartografía de salida. Una red de alimentación hacia delante con una capa oculta y bastantes neuronas en las capas ocultas, puede adaptarse a cualquier problema de asignación de entrada - salida finita.

Versiones especializadas de la red de alimentación directa incluyen el reconocimiento de patrones (patternnet) redes accesorio (FITNET) y. Una variación en la red de alimentación directa es la red hacia adelante en cascada (cascadeforwardnet) que tiene conexiones adicionales a partir de la entrada a cada capa, y desde cada capa para todas las capas siguientes.

feedforwardnet ( hiddenSizes , trainFcn ) toma estos argumentos ,

hiddenSizes: Vector fila de uno o más tamaños de capa oculta (por defecto = 10 )

trainFcn: Función de entrenamiento ( ' trainlm ' = por defecto )

2.9 Redes de reconocimiento de patrones (newpr)

Son redes feedforward que pueden ser entrenados para clasificar las entradas de acuerdo a las clases de destino. Los datos de destino para las redes de reconocimiento de patrones deben consistir en vectores de todos los valores de cero a excepción de un 1 en el elemento i, donde i es la clase que son representar.

patternnet (hiddenSizes, trainFcn, performFcn) toma estos argumentos

hiddenSizes: Vector fila de uno o más tamaños de capa oculta (por defecto = 10)

trainFcn: Función de entrenamiento (por defecto = 'trainscg')

performFcn: Función Performance (default = 'crossentropy')

2.8 Sistema de autorregulación cerebral.

Autorregulación se refiere a la capacidad del cerebro para mantener flujo aproximado de sangre constante, incluso cuando se producen cambios significativos en la sangre arterial.

2.9 Metodología.

Este es una investigación de tipo exploratoria y de carácter transversal [9], que tiene como objetivo cuantificar parámetros y mejorar un modelo que actualmente se utiliza y su transversalidad no aplica, es cuantitativa ya que consiste en calcular datos de índices de autorregulación cerebral y se estiman parámetros para obtener resultados coherentes en el índice de autorregulación cerebral ARI.

Para realizar esta investigación, consideramos datos previamente obtenidos por un grupo de investigadores [4], los cuales tomaron como universo a personas sanas que sus edades oscilan entre 18 y 55 años, y como muestra, a 27 de estas personas, las que fueron inducidas a estados de normo e hipercapnia, respirando en un ambiente con un 5% de CO2 en aire.

Como se ha mencionado anteriormente utilizaremos una red neuronal artificial (RNA), con esta procesaremos los datos de presión arterial y velocidad del flujo sanguíneo cerebral. Lo datos provienen de una investigación realizada con anterioridad que consta con los estándares del Departamento de Física Médica, Leicester Royal Infirmary, Reino Unido [7].

Mencionado el tipo de investigación a realizar, se plantea la siguiente metodología según el libro Metodología de la investigación [9].

2.9.1 Investigación documental.

La presente investigación muestra un contenido científico ya contiene aportes de teorías, enfoques y criterios que respaldan la investigación, para lo cual es necesario realizar investigaciones documentales ya sea en libros, revistas, internet, etc. Que me permitan tener mayor conocimiento del problema antes mencionado [9].

2.9.2 Plan de recolección de información.

Para recolectar la información fue necesario leer documentos y publicaciones que se encuentran en la bibliografía, con la ayuda de docentes para poder guiar la investigación y recopilación de información [9].

2.9.3 Plan de procesamiento de información.

* Revisión crítica de la información recogida: Es decir, se hará la limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
* Análisis e interpretación de variables: Determinaremos las variables Dependientes e Independientes a utilizar [9].

2.9.4 Plan de construcción del modelo.

Esta fase es crucial en el desarrollo de la problemática debido a que se cuantificaran los parámetros que utilizará el modelo del sistema, para luego ser validado.

2.9.5 Plan de análisis de los datos obtenidos.

* Interpretación de resultados de forma estadística, con apoyo del marco teórico, en el aspecto pertinente [9].
* Comprobación de hipótesis planteada [9].

2.9.6 Plan para abordar el reporte de resultados.

* Comparación con el modelo existente [4].
* Establecimiento de conclusiones y recomendaciones [9].

2.10 Estado del arte.

En la actualidad lo que respecta al ámbito de la elaboración de un modelo para estimar la mejor combinación de parámetros en el Sistema de Autorregulación Cerebral utilizando Redes Neuronales Artificiales, no se han encontrado ni registrado antecedentes previos por parte de autores. Se indagó sin mayor resultado. Lo que no significa que algún investigador o asociación esté pensando en utilizar Redes Neuronales Artificiales para estimar los parámetros del Sistema de Autorregulación Cerebral.

La base actual de esta investigación es una trabajo el cual describe un método de estimación de parámetros en SVM, escrita por David M, Simpson. Henríquez, Claudio, este último docente, investigador y profesor guía de este trabajo. El cual relata que los parámetros pueden ser cuantificados a partir de la respuesta dinámica estimada a partir de datos de diferentes individuos los cuales son el flujo de sangre y la presión. Donde el modelo matemático se instala entre la señal de entrada (presión arterial) y la salida (velocidad del flujo sanguíneo cerebral). La autorregulación se cuantifica a continuación mediante la extracción de parámetros para algún índice de autorregulación cerebral [4].

Otros investigadores que han realizado publicaciones al respecto son:

E. G. Ramos, D. M. Simpson, R. B. Panerai, J. Nadal, J. M. A. Lopes and D. H. Evans. Objective selection of signals for assessment of cerebral blood flow autoregulation in neonates. El cual menciona que una selección apropiada de la técnica de identificación del sistema, puede reducir el riesgo de obtener estimaciones de respuesta de paso aberrantes espontáneamente diferentes señales de ABP y CBFV.

En términos generales en todos los documentos, libros y papers que se buscó información hablan de investigaciones que se relacionan con el estudio del comportamiento del cerebro pero no precisamente de la problemática planteada, que pueden ser debido a las diferencias de interés en lo que respecta al sistema de autorregulación cerebral ya que al ser un modelo complejo se pueden determinar distintas áreas de estudio.

# Capítulo III: Descripción del modelo a estudiar.

3.1 Descripción del modelo.

En este apartado se asociaron las especificaciones modelos actuales sobre cuantificación de parámetros del SAC, para dar a conocer las características de su estructura y los elementos que lo transforman en tema un de investigación. Relacionado directamente al documento del docente M, Simpson. Henríquez, Claudio, sobre qué parámetros pueden ser cuantificados a partir de la respuesta dinámica estimada a partir de datos de diferentes individuos los cuales son el flujo de sangre y la presión.

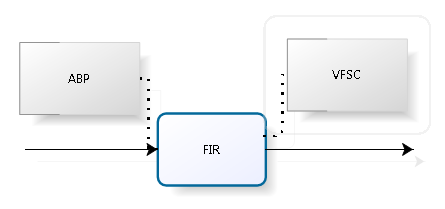


Fig. 3.1 Modelo del flujo de información que tiene como entrada la presión arterial pasando por un filtro FIR y variable de salida la velocidad del flujo sanguíneo cerebral.

## 3.2 Objetivo de la investigación.

Tiene como prioridad responder a la siguiente problemática.

* ¿Cuál es el índice "óptimo" para distinguir entre la autorregulación en normo e hipercapnia?

## 3.3 Desarrollo.

Se grabaron los datos de 27 voluntarios sanos adultos (18-55 años), en reposo. En estados de Normo e hipercapnia (CO2 al 5% en el aire) de los cuales se obtuvieron la Velocidad del flujo sanguíneo cerebral (CBFV), a través de Doppler transcraneal en la arteria cerebral media y la Presión Arterial (ABP) a través Finometer.

Como configuración del flujo de datos para poder calcular la ecuación se utilizó el siguiente esquema:

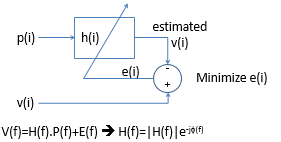


Fig. 3.2 Flujo de cálculo actual.

Con los datos ya procesados se utilizó un método el cual utiliza como sistema de entrada-salida con un filtro FIR.

V (i) = h (0) p (i) + h (1) p (i-1) +... + h (6) p (i-6) + e (i),

Donde i es el índice de la muestra, v es CBFV, p es ABP y h es la respuesta de impulso (la variable a calcular).

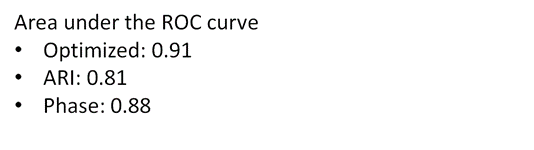
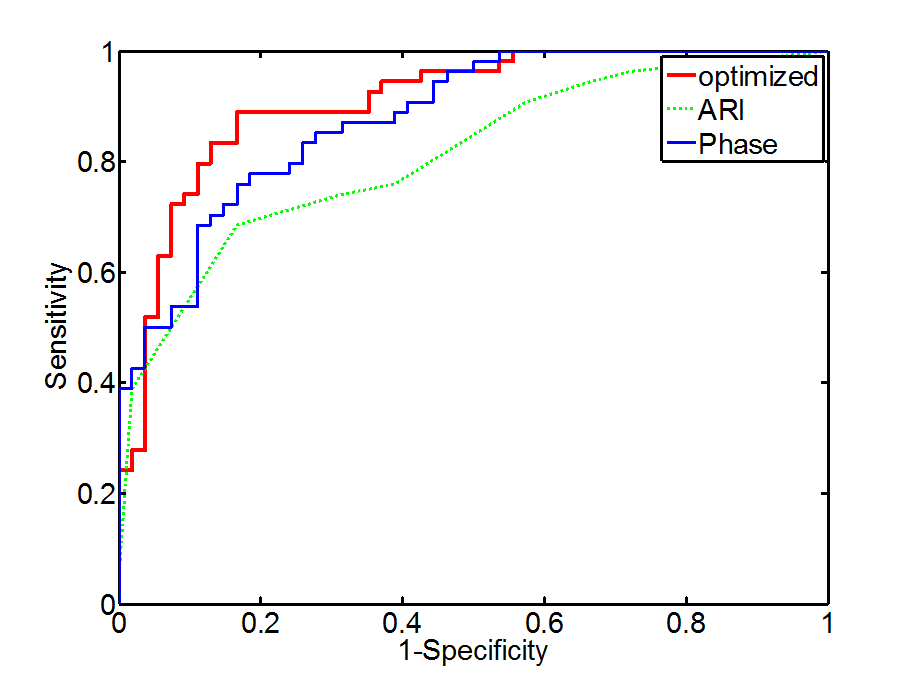


Fig. 3.3 Grafica optimización ARI fase.

## 3.4 Resultados y Conclusiones.

* Optimizado método conduce a una mejor predicción de la condición experimental (área bajo la curva ROC).
* Más análisis estadístico (por ejemplo, la validación cruzada) es necesario para eliminar el sesgo en la medida de rendimiento.
* Los pesos (c (k)) se pueden interpretar como la entrada óptima (tiempo invertido).
* El uso de hipercapnia como sustituto de la alteración de la autorregulación está abierto a la pregunta.
* El método presentado puede utilizarse con medidas de resultado alternativas (por ejemplo, el resultado clínico).
* El método proporciona un enlace optimizado entre la modelización matemática y la inferencia clínica.

# 

# Capítulo IV: Modelamiento.

En este segmento se construirá el modelo en base lo investigado un modelo de SAC cuantificando los parámetros para así poder obtener un modelo que sea más eficaz y coherente al momento de utilizarlo.

## 4.1 Propuesta de modelo.

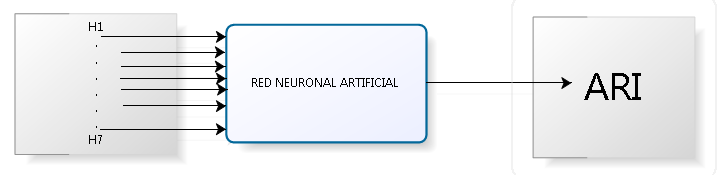


Fig. 4.1 Modelo de estimación del índice de autorregulación ARI para las entradas H1 hasta H7 como coeficientes de un filtro FIR.

El modelo de la figura anterior tiene como objetivo demostrar el funcionamiento de la propuesta a ofrecer satisfaciendo la ecuación como se aprecia en la figura:

V (i) = h (0) p (i) + h (1) p (i-1) +... + h (6) p (i-6) + e (i),

Ecu. 4.1 Ecuación de la velocidad en base a la suma de los productos de los coeficientes con la presión arterial.

Donde i es el índice de la muestra, v es CBFV, p es ABP y h es la respuesta de impulso (la variable a calcular).

## 4.2 Descripción del flujograma de cálculo.

Donde H1 hasta H7 son las variables a calcular por la red neuronal a construir, la red neuronal tiene la función de caja negra donde los datos ya calculados pasan a ser evaluados en el ARI. El índice de autorregulación (ARI), consta de 10 valores que van del 0 al 9, Por lo tanto el cálculo de las variables de H(n) va determinada de la siguiente manera:

Para cada individuo se calcula siete valores de H(n) para cada ARI, al ser 100 muestras, por lo tanto serian 700 valores de H(n) para cada individuo, de los cuales se buscan la mejor combinación para obtener un ARI coherente. Esto se aplica para cada individuo haciendo un total de 1890 datos a evaluar en primera instancia.

## 4.5 Diferencias relevantes.

La figura anterior demuestra la diferencia entre los dos tipos de modelos generales:

1. El primer modelo el cual dice que la presión arterial es igual a la velocidad del flujo sanguíneo cerebral el cual pasa por un filtro de respuesta finita aplicado a Súper Virtual machine como reemplazo del FIR para luego ser aplicado a un escalón de índice de autorregulación cerebral.
2. El segundo modelo el cual propone el trabajo de investigación a realizar dice que la presión arterial es igual a la velocidad del flujo sanguíneo cerebral el cual pasa por un filtro de respuesta finita aplicado a Redes Neuronales Artificiales como reemplazo del FIR para luego ser aplicado a un escalón de índice de autorregulación cerebral, de este último se espera una mayor eficacia al momento de estimar los parámetros del filtro FIR.

## 4.6 Distribución de datos

Datos de Entrenamiento

Se obtienen 100 muestras de 7 coeficientes de reacción de cada individuo, formando una matriz de 7X100, la cual es asignada a un ARI de los 10 que se dispone.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ARI 0 | ARI 1 | ARI 2 | ARI 3 | ARI 4 | ARI 5 | ARI 6 | ARI 7 | ARI 8 | ARI 9 |
| Sujeto 1 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 |
| Sujeto 2 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 |
| Sujeto 3 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Sujeto 27 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 | 7X100 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 7X100 | 1 | 2 | 3 | N | n | n | n | n-1 | 100 |
|  | coef 1 | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato |
|  | coef 2 | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato |
|  | coef 3 | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato |
|  | coef 4 | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato |
|  | coef 5 | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato |
|  | coef 6 | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato |
|  | coef 7 | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato | Dato |

Esto se replica para cada individuo, en total son 27, y por la cantidad de ARI que son 10, obteniendo una matriz de general de 27X10, donde cada celda de esta matriz contiene los datos de los coeficientes de 7X100 para extraerlos se utilizó el Código 1 anexo.

Tabla 4.1 Cantidad de datos obtenidos por sujeto para cada valor de ARI.

## 4.7 Datos de Test

Se obtienen 4 muestras de 1 individuo, donde cada muestra tiene 7 coeficientes, Se dividen en muestra de 1-2 que corresponden a estados de Normocapnia y la 3-4 correspondientes a una muestra de estados de Hipercania, formando una matriz de 27X4 donde cada celda tiene 7 coeficientes.

Al ser 27 los individuos en cuestión, se le asigna un ARI único a cada sujeto para validar los coeficientes y los ARI en cuestión para validar el modelo.

Tabla 4.2 Cantidad de datos por sujeto con cantidad de coeficientes.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | normo | normo | hiper | hiper |
| Sujeto 1 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 2 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 3 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 4 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 5 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 6 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 7 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 8 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 9 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto n | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Sujeto 27 | 7 coef | 7 coef | 7 coef | 7 coef |
| Tabla 4.3 Coeficientes por celda | | |  |  |
|  |  | n |  |  |
|  | coef 1 | Dato |  |  |
|  | coef 2 | Dato |  |  |
|  | coef 3 | Dato |  |  |
|  | coef 4 | Dato |  |  |
|  | coef 5 | Dato |  |  |
|  | coef 6 | Dato |  |  |
|  | coef 7 | Dato |  |  |

Cada celda contiene una matriz de 7X1 datos.

Los datos fueron tomados con el código 2 matlab anexo.

## 4.8 Descripción de las RNA a utilizar.

## Elección de la cantidad de neuronas utilizar en el modelos.

Nw=1800 -> 1800 = (7+1)\*Nc+(Nc+1)\*1

Despejando la ecuación nos da un resultado de 199 neuronas.

Estructura de la Red Neuronal FeedFordward (newff)

* Datos de entrenamiento: Se utilizaron 2/3 de datos para el entrenamiento de la red newff.
* Datos de Simulación: Se utilizaron 1/3 de datos para la simulación de la red newff.
* Datos de Validación: Se utilizaro100% de datos para validar la red newff, el cual cuenta con los datos de estados de normocapnia e hipercapnia con sus ARI’s correspondientes.

RED = newff (Input, Target,10);

[RED,tr] = train(RED,Input, Target);

y=sim(RED,xtest);

%REDNEURONAL

plot(y(1:54),'o');

hold on;

plot(y(55:108), '+r') ;

Estructura de la Red Neuronal Patternnet (newpr)

Datos de entrenamiento: Se utilizaron 2/3 de datos para el entrenamiento de la red newpr.

* Datos de Simulación: Se utilizaron 1/3 de datos para la simulación de la red newpr.
* Datos de Validación: Se utilizaro100% de datos para validar la red newfpr, el cual cuenta con los datos de estados de normocapnia e hipercapnia con sus ARI’s correspondientes.

RED = newpr (Input, Target,10);

[RED,tr] = train(RED,Input, Target);

y=sim(RED,xtest);

%REDNEURONAL

plot(y(1:54),'o');

hold on;

plot(y(55:108), '+r') ;

## 4.9 Configuración de la RNA.

En este apartado se utilizaron dos tipos de redes neuronales con diferentes configuraciones, de manera general su forma gráfica seria la siguiente:

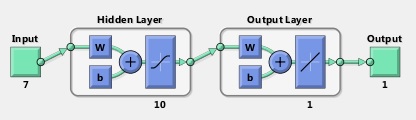


Fig. 5 Configuración del modelo.

En la etapa inicial se hicieron 6 pruebas con una RNA de tipo newff la cual después de cada prueba se aumenta en 10 la cantidad de neuronas que utilizaba en su capa oculta.

Características:

Función de transferencia: tansig.

Función de entrenamiento: trainlm.

Función de performance: MSE.

En la segunda etapa se hicieron 6 pruebas con una RNA de tipo newpr, después de cada prueba se aumenta la cantidad de neuronas que utilizaba en su capa oculta.

Características:

Función de transferencia: tansig.

Función de entrenamiento: trainscg.

Función Performance: crossentropy.

# Capítulo V: Obtención de resultados.

En esta sección se las variables cuantificadas y sus resultados aplicados al modelo, posteriormente obtendremos los resultados que utilizaremos para generar comparación con respecto al modelo actual existente.

## 5.1 Newff.

La primera Fila corresponde al número de neuronas utilizadas para cada prueba.

NC: Normocapnia.

HC: Hipercapnia.

Dif: Diferencia de estados de Normo e Hipercapnia.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 10 | 10 |  | 20 | 20 |  | 30 | 30 |  | 40 | 40 |  | 50 | 50 |  | 60 | 60 |  |
|  |  | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif |
| S1 | M1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 |
| S1 | M2 | 7 | 4 | 3 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 0 | 4 | 3 | 1 | 5 | 3 | 2 |
| S2 | M1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| S2 | M2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 2 | 1 | 6 | 2 | 4 | -1 | 3 | -4 | 2 | 2 | 0 | 7 | 2 | 5 |
| S3 | M1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 6 | 5 | 1 | 7 | 4 | 2 | 6 | 5 | 1 | 6 | 5 | 2 |
| S3 | M2 | 2 | 6 | -4 | 10 | 6 | 4 | 4 | 6 | -2 | 9 | 6 | 3 | 11 | 6 | 5 | 12 | 6 | 6 |
| S4 | M1 | 4 | 7 | -3 | 6 | 6 | 0 | 3 | 4 | -1 | 5 | 4 | 1 | 7 | 3 | 3 | 7 | 7 | 0 |
| S4 | M2 | 8 | 7 | 1 | 8 | 8 | -1 | 8 | 9 | 0 | 9 | 10 | -1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 5 | 3 |
| S5 | M1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| S5 | M2 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 |
| S6 | M1 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 |
| S6 | M2 | 6 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 |
| S7 | M1 | 4 | 5 | -1 | 3 | 5 | -1 | 4 | 5 | -1 | 4 | 5 | -1 | 3 | 4 | -1 | 3 | 4 | -1 |
| S7 | M2 | 7 | 7 | 0 | 7 | 8 | 0 | 7 | 8 | -1 | 7 | 8 | -1 | 7 | 7 | 0 | 7 | 7 | 0 |
| S8 | M1 | 6 | 6 | 1 | 8 | 6 | 2 | 5 | 5 | 0 | 9 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 12 | 6 | 6 |
| S8 | M2 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 |
| S9 | M1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 3 | 7 | 4 | 3 | 7 | 5 | 2 |
| S9 | M2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 3 | 4 | 4 | 0 | 7 | 4 | 4 | 6 | 4 | 2 | 8 | 4 | 4 |
| S10 | M1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 |
| S10 | M2 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 4 | 0 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 |
| S11 | M1 | 7 | 6 | 1 | 5 | 6 | -1 | -2 | 6 | -8 | -1 | 5 | -6 | -1 | 5 | -7 | 1 | 6 | -5 |
| S11 | M2 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 |
| S12 | M1 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 1 |
| S12 | M2 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 8 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 |
| S13 | M1 | 6 | 1 | 5 | 6 | 4 | 2 | 6 | 3 | 4 | 6 | 4 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 | 2 | 4 |
| S13 | M2 | 8 | 7 | 1 | 8 | 6 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 8 | 5 | 3 | 7 | 5 | 2 |
| S14 | M1 | 7 | 4 | 2 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | -1 | 5 | 2 | 3 |
| S14 | M2 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 4 | 7 | 2 | 4 | 7 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 7 | 2 | 4 |
| S15 | M1 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 9 | 5 | 4 | 8 | 5 | 3 |
| S15 | M2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 7 | 4 | 2 |
| S16 | M1 | 6 | 3 | 3 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 0 | 3 | 4 | 0 | 6 | 4 | 3 | 6 | 4 | 3 |
| S16 | M2 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 7 | 2 | 5 | 6 | 2 | 4 | 7 | 2 | 5 |
| S17 | M1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 3 | 7 | 5 | 2 |
| S17 | M2 | 5 | 6 | -1 | 6 | 6 | -1 | 5 | 6 | -1 | 5 | 6 | -1 | 4 | 6 | -2 | 5 | 6 | -2 |
| S18 | M1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 |
| S18 | M2 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 4 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 4 | 7 | 2 | 5 |
| S19 | M1 | 8 | 3 | 4 | 8 | 4 | 4 | 7 | 4 | 4 | 8 | 3 | 4 | 8 | 3 | 4 | 8 | 3 | 4 |
| S19 | M2 | 4 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 |
| S20 | M1 | 6 | 7 | 0 | 6 | 6 | 1 | 6 | 6 | 0 | 6 | 5 | 1 | 6 | 5 | 1 | 6 | 5 | 1 |
| S20 | M2 | 7 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 |
| S21 | M1 | 6 | 2 | 4 | 6 | 6 | 0 | 6 | 5 | 1 | 6 | 6 | -1 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 |
| S21 | M2 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 5 | 1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 1 | 7 | 6 | 1 |
| S22 | M1 | 7 | 7 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 7 | 1 |
| S22 | M2 | 2 | 5 | -4 | 6 | 4 | 2 | 0 | 3 | -4 | 3 | 2 | 1 | -1 | 1 | -2 | 9 | 8 | 2 |
| S23 | M1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 7 | 6 | 2 | 7 | 6 | 2 | 8 | 6 | 3 | 8 | 6 | 3 |
| S23 | M2 | 7 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 |
| S24 | M1 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 3 | 6 | 5 | 1 |
| S24 | M2 | 7 | 3 | 5 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 |
| S25 | M1 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 8 | 3 | 5 | 8 | 3 | 4 | 8 | 3 | 4 |
| S25 | M2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 |
| S26 | M1 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 |
| S26 | M2 | 7 | 3 | 5 | 6 | 3 | 3 | 7 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 | 7 | 3 | 4 |
| S27 | M1 | 7 | 7 | 0 | 7 | 7 | 0 | 6 | 7 | -1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 7 | 7 | 0 |
| S27 | M2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 4 | 3 | 7 | 5 | 2 | 7 | 4 | 3 |
|  |  |  | err | 10 |  | err | 7 |  | err | 11 |  | err | 11 |  | err | 9 |  |  | 7 |

Tabla correspondiente a neuronas de 10 a 60.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 70 | 70 |  | 80 | 80 |  | 100 | 100 |  | 150 | 150 |  | 199 | 199 |  |
|  |  | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif |
| S1 | M1 | 7 | 5 | 2 | 6 | 5 | 1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 |
| S1 | M2 | 3 | 4 | -1 | 3 | 4 | -1 | 4 | 4 | 0 | 3 | 4 | -1 | 3 | 4 | 0 |
| S2 | M1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 5 | 3 | 8 | 6 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| S2 | M2 | -4 | 2 | -6 | -6 | 2 | -9 | -3 | 2 | -5 | -5 | 3 | -7 | 3 | 3 | 0 |
| S3 | M1 | 6 | 5 | 1 | 5 | 5 | 0 | 6 | 5 | 2 | 6 | 5 | 1 | 6 | 4 | 1 |
| S3 | M2 | 6 | 6 | 0 | 4 | 6 | -2 | 6 | 6 | 0 | -1 | 6 | -7 | 16 | 6 | 10 |
| S4 | M1 | 2 | 3 | -2 | -2 | -1 | -1 | 5 | 4 | 1 | 8 | 2 | 6 | 8 | 6 | 2 |
| S4 | M2 | 8 | 9 | -1 | 8 | 7 | 1 | 8 | 5 | 3 | 7 | -1 | 8 | 8 | 6 | 2 |
| S5 | M1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| S5 | M2 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 |
| S6 | M1 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 2 |
| S6 | M2 | 5 | 3 | 1 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 |
| S7 | M1 | 3 | 4 | -1 | 4 | 5 | -1 | 3 | 4 | -1 | 4 | 4 | -1 | 3 | 4 | -1 |
| S7 | M2 | 7 | 7 | 0 | 7 | 8 | -1 | 7 | 8 | -1 | 7 | 7 | -1 | 7 | 7 | 0 |
| S8 | M1 | 7 | 5 | 2 | 9 | 5 | 4 | 9 | 6 | 3 | 5 | 6 | 0 | 11 | 6 | 5 |
| S8 | M2 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 |
| S9 | M1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 3 | 7 | 4 | 3 |
| S9 | M2 | 6 | 4 | 2 | 2 | 4 | -1 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 4 | 11 | 3 | 8 |
| S10 | M1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 |
| S10 | M2 | 5 | 5 | 0 | 5 | 4 | 0 | 5 | 4 | 0 | 5 | 4 | 0 | 5 | 4 | 0 |
| S11 | M1 | 4 | 5 | -1 | 1 | 5 | -4 | 3 | 5 | -2 | -1 | 6 | -6 | 8 | 5 | 3 |
| S11 | M2 | 6 | 3 | 3 | 5 | 3 | 1 | 7 | 3 | 4 | 7 | 4 | 3 | 7 | 3 | 4 |
| S12 | M1 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 2 |
| S12 | M2 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 4 | 4 | 7 | 4 | 4 |
| S13 | M1 | 6 | 4 | 3 | 6 | 4 | 1 | 6 | 6 | 1 | 6 | 7 | -1 | 6 | 7 | -1 |
| S13 | M2 | 7 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 4 | 4 |
| S14 | M1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | -1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 7 | 2 | 5 |
| S14 | M2 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 7 | 2 | 4 | 7 | 3 | 4 |
| S15 | M1 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 4 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| S15 | M2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 7 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 7 | 4 | 3 |
| S16 | M1 | 3 | 4 | -1 | 1 | 4 | -3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 4 | 1 | 7 | 4 | 3 |
| S16 | M2 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 |
| S17 | M1 | 7 | 5 | 2 | 6 | 5 | 1 | 8 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 8 | 4 | 3 |
| S17 | M2 | 4 | 6 | -3 | 1 | 6 | -5 | 5 | 6 | -1 | 5 | 6 | -1 | 7 | 6 | 1 |
| S18 | M1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 5 | 1 | 7 | 5 | 1 |
| S18 | M2 | 7 | 2 | 4 | 7 | 2 | 4 | 7 | 2 | 4 | 6 | 3 | 4 | 7 | 2 | 5 |
| S19 | M1 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 5 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 |
| S19 | M2 | 4 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 |
| S20 | M1 | 6 | 5 | 1 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 1 | 6 | 4 | 1 |
| S20 | M2 | 7 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 |
| S21 | M1 | 5 | 2 | 3 | 6 | -3 | 9 | 6 | 3 | 2 | 6 | 7 | -1 | 5 | 8 | -3 |
| S21 | M2 | 7 | 5 | 1 | 7 | 5 | 1 | 7 | 5 | 1 | 7 | 5 | 1 | 7 | 5 | 2 |
| S22 | M1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S22 | M2 | 3 | 4 | 0 | -3 | 3 | -7 | 7 | 4 | 3 | 7 | 2 | 6 | 13 | 8 | 6 |
| S23 | M1 | 7 | 6 | 2 | 7 | 5 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| S23 | M2 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 |
| S24 | M1 | 7 | 5 | 2 | 6 | 4 | 1 | 6 | 5 | 2 | 6 | 5 | 1 | 6 | 5 | 1 |
| S24 | M2 | 7 | 3 | 4 | 6 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 |
| S25 | M1 | 8 | 3 | 5 | 8 | 3 | 4 | 8 | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 |
| S25 | M2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 3 | 2 |
| S26 | M1 | 7 | 4 | 2 | 7 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 7 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 |
| S26 | M2 | 7 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 | 7 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 | 7 | 4 | 4 |
| S27 | M1 | 7 | 6 | 0 | 6 | 7 | 0 | 8 | 7 | 1 | 8 | 6 | 1 | 8 | 6 | 2 |
| S27 | M2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 7 | 5 | 2 |
|  |  |  | err | 11 |  | err | 14 |  | err | 8 |  | err | 12 |  | err | 7 |

Tabla correspondiente a neuronas de 70 a 199.

En base a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con 10 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60 – 70 – 80 – 100 – 150 – 199 Neuronas respectivamente podemos apreciar de mejor manera de forma gráfica los resultados

De forma general el eje Y corresponde a el Índice de autorregulación (ARI), y en el eje X en número de muestras de los sujetos que se utilizaron en las pruebas.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 10 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 20 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 30 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 40 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 50 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 60 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 70 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 80 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 100 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 155 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 199 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

## 5.2 Newpr:

NC: Normocapnia.

HC: Hipercapnia.

Dif: Diferencia de estados de Normo e Hipercapnia.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 10 | 10 |  | 20 | 20 |  | 30 | 30 |  | 40 | 40 |  | 50 | 50 |  | 60 | 60 |  |
|  |  | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif |
| S1 | M1 | 7 | 5 | 2 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| S1 | M2 | 7 | 4 | 3 | 7 | 6 | 1 | 7 | 4 | 3 | 8 | 3 | 5 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 |
| S2 | M1 | 8 | 6 | 2 | 9 | 7 | 2 | 9 | 6 | 3 | 9 | 6 | 3 | 8 | 6 | 3 | 9 | 6 | 3 |
| S2 | M2 | 7 | 2 | 5 | 5 | 4 | 1 | 6 | 3 | 3 | 9 | 3 | 6 | 8 | 3 | 5 | 8 | 4 | 4 |
| S3 | M1 | 7 | 5 | 2 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 4 | 4 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 4 |
| S3 | M2 | 9 | 6 | 3 | 9 | 7 | 2 | 9 | 7 | 2 | 9 | 6 | 3 | 8 | 7 | 1 | 8 | 7 | 1 |
| S4 | M1 | 8 | 7 | 1 | 8 | 8 | 0 | 9 | 8 | 1 | 9 | 9 | 0 | 9 | 9 | -0 | 9 | 9 | 0 |
| S4 | M2 | 8 | 8 | 0 | 8 | 8 | -0 | 9 | 8 | 0 | 8 | 8 | -0 | 6 | 7 | -1 | 9 | 9 | -0 |
| S5 | M1 | 4 | 3 | 1 | 6 | 5 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 | 3 | 1 | 5 | 4 | 1 | 5 | 4 | 1 |
| S5 | M2 | 6 | 7 | -1 | 7 | 8 | -1 | 6 | 8 | -2 | 6 | 8 | -2 | 7 | 8 | -1 | 7 | 8 | -2 |
| S6 | M1 | 6 | 3 | 2 | 7 | 3 | 4 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 |
| S6 | M2 | 6 | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 3 | 2 | 6 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 6 | 3 | 2 |
| S7 | M1 | 4 | 5 | -1 | 5 | 6 | -0 | 4 | 5 | -1 | 4 | 5 | -1 | 4 | 5 | -1 | 4 | 5 | -1 |
| S7 | M2 | 7 | 8 | -0 | 8 | 8 | 0 | 8 | 8 | 0 | 8 | 8 | 0 | 8 | 8 | 1 | 9 | 8 | 1 |
| S8 | M1 | 8 | 7 | 2 | 9 | 7 | 1 | 9 | 8 | 1 | 9 | 8 | 1 | 8 | 8 | 0 | 9 | 8 | 0 |
| S8 | M2 | 7 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S9 | M1 | 8 | 5 | 3 | 8 | 6 | 2 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| S9 | M2 | 7 | 4 | 3 | 9 | 4 | 4 | 8 | 5 | 4 | 9 | 4 | 5 | 9 | 5 | 4 | 8 | 4 | 5 |
| S10 | M1 | 7 | 5 | 2 | 8 | 6 | 2 | 7 | 6 | 2 | 7 | 5 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S10 | M2 | 5 | 5 | 0 | 6 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 4 | 0 | 5 | 5 | 0 | 6 | 4 | 1 |
| S11 | M1 | 8 | 6 | 2 | 9 | 6 | 3 | 9 | 6 | 3 | 9 | 5 | 3 | 9 | 6 | 3 | 9 | 6 | 3 |
| S11 | M2 | 7 | 4 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 4 | 4 | 8 | 3 | 5 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 |
| S12 | M1 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 |
| S12 | M2 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 8 | 3 | 4 |
| S13 | M1 | 6 | 1 | 6 | 7 | 4 | 3 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 | 7 | 3 | 5 | 7 | 2 | 5 |
| S13 | M2 | 8 | 7 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 7 | 2 | 9 | 7 | 2 | 8 | 7 | 1 | 8 | 7 | 1 |
| S14 | M1 | 7 | 5 | 2 | 7 | 3 | 4 | 7 | 4 | 3 | 8 | 4 | 3 | 8 | 3 | 5 | 6 | 4 | 2 |
| S14 | M2 | 7 | 2 | 4 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 | 8 | 3 | 5 |
| S15 | M1 | 8 | 5 | 3 | 9 | 6 | 2 | 9 | 5 | 3 | 9 | 4 | 4 | 8 | 5 | 3 | 9 | 5 | 3 |
| S15 | M2 | 7 | 4 | 2 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 3 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 |
| S16 | M1 | 8 | 4 | 4 | 9 | 4 | 4 | 9 | 4 | 4 | 9 | 4 | 5 | 9 | 4 | 5 | 9 | 4 | 4 |
| S16 | M2 | 6 | 2 | 3 | 7 | 4 | 3 | 6 | 3 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 | 3 | 3 | 7 | 3 | 4 |
| S17 | M1 | 7 | 6 | 1 | 9 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 7 | 2 | 9 | 7 | 2 | 9 | 7 | 2 |
| S17 | M2 | 7 | 6 | 1 | 8 | 7 | 1 | 8 | 7 | 1 | 9 | 6 | 2 | 9 | 7 | 2 | 9 | 7 | 1 |
| S18 | M1 | 6 | 6 | 1 | 7 | 7 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 0 |
| S18 | M2 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 7 | 3 | 3 | 7 | 4 | 3 |
| S19 | M1 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 5 | 8 | 4 | 5 | 9 | 4 | 5 | 9 | 4 | 5 | 9 | 4 | 5 |
| S19 | M2 | 4 | 1 | 3 | 4 | 4 | 1 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 |
| S20 | M1 | 6 | 6 | -0 | 8 | 7 | 0 | 7 | 7 | 0 | 7 | 7 | 0 | 8 | 8 | 0 | 8 | 7 | 1 |
| S20 | M2 | 6 | 4 | 2 | 8 | 4 | 4 | 7 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 7 | 4 | 3 |
| S21 | M1 | 5 | 8 | -2 | 7 | 8 | -1 | 6 | 8 | -2 | 6 | 9 | -3 | 6 | 9 | -2 | 6 | 9 | -2 |
| S21 | M2 | 7 | 6 | 1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 7 | 5 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S22 | M1 | 7 | 6 | 1 | 8 | 7 | 2 | 8 | 7 | 1 | 8 | 6 | 1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S22 | M2 | 8 | 5 | 3 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 | 9 | 4 | 5 | 8 | 7 | 1 | 6 | 6 | 0 |
| S23 | M1 | 8 | 6 | 3 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 6 | 3 | 8 | 6 | 2 |
| S23 | M2 | 6 | 6 | 0 | 7 | 7 | 1 | 7 | 6 | 1 | 6 | 6 | 0 | 6 | 7 | -0 | 7 | 7 | 1 |
| S24 | M1 | 6 | 5 | 1 | 8 | 4 | 4 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 2 | 8 | 4 | 4 | 7 | 5 | 2 |
| S24 | M2 | 8 | 3 | 5 | 9 | 4 | 4 | 8 | 3 | 5 | 8 | 3 | 6 | 9 | 4 | 5 | 9 | 4 | 5 |
| S25 | M1 | 8 | 4 | 4 | 9 | 4 | 5 | 8 | 4 | 5 | 9 | 3 | 5 | 9 | 4 | 5 | 9 | 4 | 5 |
| S25 | M2 | 6 | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 6 | 4 | 2 |
| S26 | M1 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 8 | 4 | 3 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 3 | 8 | 4 | 3 |
| S26 | M2 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 7 | 3 | 5 | 9 | 3 | 6 | 8 | 2 | 6 | 8 | 2 | 6 |
| S27 | M1 | 8 | 7 | 1 | 8 | 7 | 1 | 8 | 7 | 1 | 9 | 7 | 1 | 9 | 8 | 1 | 9 | 8 | 1 |
| S27 | M2 | 7 | 5 | 2 | 8 | 5 | 3 | 7 | 5 | 2 | 7 | 5 | 3 | 7 | 5 | 3 | 8 | 5 | 2 |
|  |  |  |  | 5 |  |  | 4 |  |  | 3 |  |  | 4 |  |  | 6 |  |  | 4 |

Tabla correspondiente a neuronas de 10 a 60.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 70 | 70 |  | 80 | 80 |  | 100 | 100 |  | 150 | 150 |  | 199 | 199 |  |
|  |  | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif | NC | HC | dif |
| S1 | M1 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 | 8 | 6 | 2 |
| S1 | M2 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 4 |
| S2 | M1 | 9 | 6 | 3 | 8 | 6 | 2 | 8 | 5 | 4 | 8 | 7 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S2 | M2 | 9 | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 4 | 3 | 2 | 8 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 |
| S3 | M1 | 8 | 5 | 4 | 8 | 4 | 4 | 7 | 5 | 2 | 8 | 5 | 4 | 8 | 4 | 4 |
| S3 | M2 | 9 | 7 | 2 | 8 | 6 | 2 | 9 | 6 | 3 | 9 | 7 | 2 | 9 | 6 | 3 |
| S4 | M1 | 9 | 9 | 0 | 8 | 9 | 0 | 7 | 7 | 0 | 8 | 9 | 0 | 7 | 7 | 0 |
| S4 | M2 | 6 | 8 | -2 | 8 | 8 | 0 | 7 | 5 | 2 | 8 | 4 | 4 | 7 | 3 | 4 |
| S5 | M1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 3 | 0 | 4 | 3 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| S5 | M2 | 7 | 8 | -2 | 6 | 8 | -2 | 6 | 7 | -1 | 6 | 8 | -2 | 6 | 7 | -2 |
| S6 | M1 | 7 | 3 | 4 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 |
| S6 | M2 | 5 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 |
| S7 | M1 | 4 | 5 | -1 | 3 | 4 | -1 | 4 | 4 | -1 | 4 | 5 | 0 | 3 | 4 | -1 |
| S7 | M2 | 9 | 8 | 0 | 8 | 8 | 0 | 8 | 7 | 0 | 9 | 8 | 1 | 7 | 8 | -1 |
| S8 | M1 | 9 | 8 | 1 | 9 | 7 | 1 | 8 | 7 | 1 | 9 | 7 | 1 | 9 | 7 | 2 |
| S8 | M2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 3 | 7 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S9 | M1 | 8 | 5 | 3 | 9 | 5 | 4 | 8 | 5 | 4 | 8 | 5 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| S9 | M2 | 9 | 6 | 3 | 9 | 4 | 5 | 8 | 4 | 4 | 9 | 5 | 4 | 7 | 4 | 4 |
| S10 | M1 | 7 | 6 | 1 | 6 | 5 | 1 | 6 | 5 | 1 | 7 | 6 | 2 | 6 | 6 | 0 |
| S10 | M2 | 6 | 5 | 1 | 5 | 4 | 1 | 5 | 5 | 0 | 6 | 5 | 1 | 6 | 4 | 2 |
| S11 | M1 | 9 | 6 | 3 | 7 | 4 | 3 | 8 | 5 | 3 | 9 | 6 | 3 | 9 | 6 | 3 |
| S11 | M2 | 8 | 4 | 4 | 7 | 3 | 3 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 5 | 5 | 3 | 1 |
| S12 | M1 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 1 | 6 | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 7 | 4 | 2 |
| S12 | M2 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 4 | 3 |
| S13 | M1 | 7 | 2 | 5 | 7 | 4 | 3 | 7 | 1 | 6 | 7 | 4 | 3 | 7 | 1 | 6 |
| S13 | M2 | 9 | 7 | 1 | 9 | 8 | 1 | 9 | 6 | 3 | 8 | 7 | 0 | 8 | 8 | 1 |
| S14 | M1 | 7 | 3 | 4 | 9 | 4 | 5 | 8 | 3 | 4 | 8 | 4 | 4 | 8 | 7 | 2 |
| S14 | M2 | 7 | 2 | 5 | 8 | 2 | 6 | 7 | 2 | 5 | 8 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 |
| S15 | M1 | 9 | 5 | 3 | 8 | 5 | 4 | 8 | 5 | 4 | 9 | 5 | 4 | 9 | 5 | 3 |
| S15 | M2 | 8 | 4 | 4 | 7 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 8 | 4 | 4 | 7 | 4 | 3 |
| S16 | M1 | 9 | 4 | 5 | 9 | 4 | 5 | 8 | 4 | 5 | 9 | 5 | 4 | 8 | 4 | 4 |
| S16 | M2 | 7 | 3 | 4 | 6 | 3 | 3 | 6 | 2 | 4 | 6 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 |
| S17 | M1 | 9 | 7 | 1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 9 | 7 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S17 | M2 | 9 | 7 | 2 | 9 | 6 | 2 | 7 | 6 | 1 | 9 | 7 | 2 | 7 | 6 | 1 |
| S18 | M1 | 7 | 6 | 1 | 6 | 6 | 0 | 7 | 6 | 1 | 7 | 6 | 0 | 7 | 6 | 1 |
| S18 | M2 | 7 | 4 | 2 | 6 | 4 | 3 | 6 | 2 | 4 | 7 | 4 | 3 | 7 | 3 | 4 |
| S19 | M1 | 9 | 4 | 4 | 9 | 4 | 5 | 8 | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 8 | 4 | 4 |
| S19 | M2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 4 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 |
| S20 | M1 | 8 | 7 | 0 | 7 | 6 | 1 | 6 | 6 | 0 | 7 | 7 | 0 | 6 | 6 | 0 |
| S20 | M2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 6 | 4 | 2 | 7 | 4 | 3 |
| S21 | M1 | 7 | 9 | -1 | 6 | 8 | -1 | 6 | 6 | 0 | 6 | 8 | -2 | 7 | 6 | 1 |
| S21 | M2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 5 | 3 | 7 | 5 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 |
| S22 | M1 | 8 | 8 | 1 | 8 | 7 | 1 | 8 | 6 | 2 | 8 | 6 | 2 | 8 | 5 | 3 |
| S22 | M2 | 9 | 6 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 2 | 3 | 9 | 9 | 0 | 1 | 2 | -1 |
| S23 | M1 | 8 | 6 | 2 | 9 | 6 | 3 | 9 | 5 | 3 | 9 | 5 | 3 | 9 | 6 | 3 |
| S23 | M2 | 7 | 7 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 7 | 7 | 0 | 7 | 6 | 0 |
| S24 | M1 | 2 | 4 | -3 | 8 | 5 | 4 | 8 | 4 | 3 | 4 | 5 | 0 | 6 | 5 | 1 |
| S24 | M2 | 9 | 4 | 5 | 8 | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 9 | 3 | 6 | 8 | 3 | 5 |
| S25 | M1 | 8 | 3 | 5 | 7 | 3 | 4 | 8 | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 7 | 3 | 3 |
| S25 | M2 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 6 | 4 | 2 | 6 | 3 | 3 |
| S26 | M1 | 8 | 4 | 4 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 |
| S26 | M2 | 8 | 2 | 6 | 7 | 2 | 5 | 7 | 3 | 4 | 8 | 2 | 6 | 8 | 3 | 6 |
| S27 | M1 | 9 | 8 | 1 | 9 | 8 | 1 | 8 | 7 | 1 | 8 | 8 | 1 | 8 | 8 | 0 |
| S27 | M2 | 8 | 5 | 3 | 7 | 5 | 3 | 7 | 4 | 3 | 7 | 5 | 2 | 8 | 6 | 2 |
|  |  |  |  | 5 |  |  | 6 |  |  | 4 |  |  | 5 |  |  | 5 |

Tabla correspondiente a neuronas de 70 a 199.

En base a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con 10 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60 – 70 – 80 – 100 – 150 – 199 Neuronas respectivamente podemos apreciar de mejor manera de forma gráfica los resultados

De forma general el eje Y corresponde a el Índice de autorregulación (ARI), y en el eje X en número de muestras de los sujetos que se utilizaron en las pruebas.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 10 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 20 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 30 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 40 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 50 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 60 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 70 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 80 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 100 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 155 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 199 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

# Capítulo VI: Análisis y Comparación.

En este capítulo se entregarán las comparaciones necesarias para poder identificar cuanto más eficaz es el modelo propuesto, tanto técnicas como de operaciones para implementarlas en futuros proyectos.

En primera instancia se evaluara la RNA FeedFordward y luego la RNA Patternnet que es la versión avanzada de clasificación de la FeedFordward.

## 6.1 FeedFordward (Newff):

Al mirar la tabla resultado con las distintas pruebas realizadas en este tipo de red neuronal, la cual muestra la cantidad de neuronas versus los errores que se calcularon en cada una de las pruebas, podemos apreciar que la RNA que tuvo un mejor rendimiento con una cantidad de 7 errores, corresponden a las que contaban con 20 – 60 – 199 neuronas.

Tabla 4.4 Errores versus número de neuronas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cantidad de neuronas | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 100 | 150 | 199 |
| Errores | 10 | 7 | 11 | 11 | 9 | 7 | 11 | 14 | 8 | 12 | 7 |

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 20 – 60 – 199 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Nos da a entender la curva de reacción con una cantidad óptima de 7 errores ocurridos durante la prueba.

## 6.2 Patternnet (Newrp):

Al mirar la tabla resultado con las distintas pruebas realizadas en este tipo de red neuronal, la cual muestra la cantidad de neuronas versus los errores que se calcularon en cada una de las pruebas, podemos apreciar que la RNA que tuvo un mejor rendimiento con una cantidad de 3 errores, corresponden a las que contaban con 30 neuronas.

Tabla 4.5 Errores versus número de neuronas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cantidad de neuronas | 10 | 20 | ***30*** | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 100 | 150 | 199 |
| Errores | 5 | 4 | ***3*** | 4 | 6 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 5 |

Gráfico de resultados con pruebas utilizando 30 neuronas tanto como para entrenamiento como validación con dos ejemplos por sujeto, siendo 27 sujetos en cuestión.

Nos da a entender la curva de reacción con una cantidad óptima de 3 errores ocurridos durante la prueba.

Dado los antecedentes previos podemos deducir que en la entrega de información las pruebas de los sujetos números 10 – 13 – 34 pueden ser datos erróneos, que pudieron haber sido provocados al momento de la toma de los coeficientes de Presión Arterial y Velocidad del Flujo Sanguíneo Cerebral. Ya que el error se repite en todas las pruebas, tanto como en la RNA Feedfordward y la Patternnet.

# Capítulo VII: Conclusiones

En este capítulo se dará a conocer el cumplimiento de la hipótesis establecida junto con el análisis final de los resultados obtenidos, tomando en cuenta si realmente se cumplieron todos los objetivos planteados, dentro de los cuales se encontraban los siguientes:

* Estudiar el funcionamiento del Sistema de Autorregulación Cerebral, el cálculo del Índice de Autorregulación Cerebral ARI y todos los términos asociados al sistema biológico involucrado.
* Analizar el modelamiento del Sistema de Autorregulación Cerebral que utilizó filtros de respuesta finita al impulso FIR.
* Construir un modelo de estimación de parámetros utilizando Redes Neuronales Artificiales.
* Validar el modelo utilizando señales reales de Presión Sanguínea Arterial y Velocidad de Flujo Sanguíneo Cerebral.
* Realizar un análisis comparativo con los modelos existentes en la bibliografía.

Con lo que respecto a Estudiar el funcionamiento del Sistema de Autorregulación Cerebral, el cálculo del Índice de Autorregulación Cerebral ARI y todos los términos asociados al sistema biológico involucrado junto con Analizar el modelamiento del Sistema de Autorregulación Cerebral que utilizó filtros de respuesta finita al impulso FIR. Podemos concluir que se cumplió completamente con este objetivo específico, ya que sin él no se podría haber llevado a cabo este proyecto, ya que no se hubiese contado con los conocimientos necesarios, ya que se tiene que dedicar tiempo, tanto lectura como para desarrollo, de forma profunda y exhaustiva de los temas tratados.

Con lo que respecta al tercer objetivo específico que dice, Construir un modelo de estimación de parámetros utilizando Redes Neuronales Artificiales, se puede deducir que la construcción del modelo lleva consigo muchos parámetros a revisar como son las funciones de transferencia, que tipo de red se utilizaran neuronas en la capa oculta y la cantidad de datos que se utilizara y de qué tipo son, Aunque es un problema que se puede llevar de clasificación, puede se puede realizar a futuro una investigación con las otras variables que se dejaron fuera en este proyecto para lograr mejores combinaciones posiblemente.

Con lo que respecta al objetivo específico que habla sobre, Validar el modelo utilizando señales reales de Presión Sanguínea Arterial y Velocidad de Flujo Sanguíneo Cerebral.

La mejor combinación que se pudo obtener se logró gracias a dos ejemplos por persona, donde cada ejemplo tenía un dato de normocapnia y otro de hipercapnia, haciendo un total de 54 ejemplos donde la RNA que se comportó de mejor manera fue la Patternnet con 30 neuronas en su capa oculta. Otorgando tres errores en todas las pruebas. Dejando una tasa de error de 5.6% en el total de sus validaciones, cabe destacar que las 3 pruebas erróneas en esta etapa se debe a 3 coeficientes de sujetos los cuales estaban interrumpidos, por lo tanto, si fuera ese el caso contraria con un 100 % de asertividad al momento de identificar el estado de una persona en normo e hipercapnia al utilizar el modelo teórico del profesor Simpson.

En el último objetivo específico el cual decía, Realizar un análisis comparativo con los modelos existentes en la bibliografía. Se determinó como conclusión general las siguientes características:

* Un mejor tiempo de respuesta: La tasa de lo que tarda en hacer una prueba es menor al 1% del modelo con Súper virtual machine.
* Disminución de errores en las pruebas: Si se toman los datos de los tres sujetos que fueron erróneos en todas las configuraciones de los dos tipos de redes neuronales se puede decir que el modelo tiene un 100% de efectividad bajo los parámetro que se realizó este proyecto, falta profundizar en análisis estadístico (por ejemplo, la validación cruzada) es necesario para eliminar el sesgo en la medida de rendimiento para pulir el modelo.
* El método presentado puede utilizarse con medidas de resultado alternativas (por ejemplo, el resultado clínico), ya que el método proporciona un enlace optimizado entre la modelización matemática, la inferencia clínica y la informática en conjunto con las redes neuronales.

## Listado de ilustraciones

Fig. 1 pág. 22

Fig. 2 pág. 23

Fig. 3 pág. 24

Fig. 4 pág. 26

Fig. 5 pag. 39

Listado de tablas

Tabla 4.1 pag. 30

Tabla 4.2 pag. 31

Tabla 4.3 pag. 31

Tabla 4.4 pag. 56

Tabla 4.5 pag. 58

Anexos

Código 1 en MATLAB

function [mattt ]=load\_data(~)

filename = 'Chile2\_1.mat';

data\_in = load(filename);

num\_subj=27;

num\_coeff=7;

num\_samples=100;

num\_ARI=10;

length\_in\_trainXsubj=round(num\_samples\*1/2);

length\_in\_testXsubj =num\_samples-length\_in\_trainXsubj;

length\_input\_train=length\_in\_trainXsubj\*num\_subj\*num\_ARI;

length\_input\_test =length\_in\_testXsubj \*num\_subj\*num\_ARI;

input\_train =zeros(num\_coeff,length\_input\_train);

input\_test =zeros(num\_coeff,length\_input\_test);

output\_train=zeros(1,length\_input\_train);

output\_test =zeros(1,length\_input\_test);

count\_train=1;

count\_test =1;

for i=1:num\_subj

for j=1:num\_ARI

input\_train(:,count\_train:count\_train+length\_in\_trainXsubj-1)...

=data\_in.Res(i,j).h1(:,1:length\_in\_trainXsubj);

output\_train(count\_train:count\_train+length\_in\_trainXsubj-1)...

= ones(1,length\_in\_trainXsubj)\*(j-1);

count\_train=count\_train+length\_in\_trainXsubj;

%pause

input\_test(: ,count\_test :count\_test +length\_in\_testXsubj -1)...

=data\_in.Res(i,j).h1(:,1:length\_in\_testXsubj);

output\_test(count\_test :count\_test +length\_in\_testXsubj -1)...

=ones(1,length\_in\_testXsubj)\*(j-1);

count\_test =count\_test +length\_in\_testXsubj;

%pause

end

end

length(input\_train);

length(output\_train);

X\_train=input\_train;

Y\_train=output\_train;

X\_test=input\_test;

Y\_test=output\_test;

Código 2 en MATLAB

%validacion

filenames = 'chile3\_1.mat';

data\_in = load(filenames);

num\_subj=27;

num\_coeff=7;

num\_ARI=10;

num\_samples=4;

nc\_range=[1:2];

hc\_range=[3:4];

length\_input=num\_samples\*num\_subj;

input =zeros(num\_coeff,length\_input);

input\_nc=zeros(num\_coeff,length\_input/2);

input\_hc=zeros(num\_coeff,length\_input/2);

output=zeros(1,length\_input);

output\_nc=zeros(1,length\_input/2);

output\_hc=zeros(1,length\_input/2);

count=1;

count\_nc=1;

count\_hc=1;

for j=1:num\_samples %number of samples

for i=1:num\_subj %number of subjects

input(:, count) = cell2mat(data\_in.hs(i,j));

output(1,count) = cell2mat(data\_in.ARI(i,j));

count=count+1;

if(j==1)||(j==2)

input\_nc(:,count\_nc)...

=cell2mat(data\_in.hs(i,j));

output\_nc(1,count\_nc)=cell2mat(data\_in.ARI(i,j));

count\_nc=count\_nc+1;

else

input\_hc(:,count\_hc)...

=cell2mat(data\_in.hs(i,j));

output\_hc(1,count\_hc)=cell2mat(data\_in.ARI(i,j));

count\_hc=count\_hc+1;

end

end

end

%X\_train=input;

%xtest =input;

xtest = [input\_nc,input\_hc];

% Y\_train = output;

%ytest =output;

ytest = [output\_nc,output\_hc];

%train\_RPML\_model\_SAC(X\_train,Y\_train,X\_test,Y\_test,xtest,ytest)

Input = X\_train;

Target = Y\_train;

# Bibliografía

Publicaciones:

[1] Departamento de Epidemiología, Ministerio de Salud. Reporte de vigilancia de enfermedades no transmisibles (ENT). 2011.

[2] Subdepartamento de Estadísticas Demográficas, INE. Evolución de la mortalidad en Chile según causas de muerte y edad, 1900-2007. Publicación especial ISBN: 978-956-323-091-8. 2010.

[3] Henríquez, Claudio. Comparación de métodos de estimación de la presión de cierre crítica y el producto resistencia-área bajo hipocapnia. XXII CBEB. 2010.

[4]David M, Simpson. Henríquez, Claudio. Quantifying autoregulation from estimated model parameters: an optimization approach, 2013.

[5]M. Chacon y R.B. Paneari Universidad de Santiago de Chile y departamento de ciencias cardiovasculares, Leicester, UK.  Obtención directa de un índice de autorregulación de flujo sanguíneo cerebral para cambios inducidos de presión.  Volumen 18, 2008.

[6] Delgado, Alberto.  Aplicación de las redes neuronales en medicina. Revista de la Facultad de Medicina. 2010.

[7]E. G. Ramos, D. M. Simpson, R. B. Panerai, J. Nadal, J. M. A. Lopes, D. H. Evans. Objective selection of signals for assessment of cerebral blood flow autoregulation in neonates. 2005.

[8] E G Ramos, D M Simpson, R B Panerai, J Nadal, J M A Lopes and D H Evans. Objective selection of signals for assessment of cerebral blood flow autoregulation in neonates. 2005. biblio de mt sag y ari

[9] Aaslid R, Blaha M, Sviri G, Douville CM, Newell DW (2007)

Asymmetric dynamic cerebral autoregulatory response to cyclic

stimuli. Stroke 38(5):1465–1469

[10]. Ioannou P, Sun J (1996) Robust adaptive control. Prentice Hall

PTR, Upper Saddle River, New Jersey

Libros:

[8] Edgar Nelson Sánchez Camperos, Alma Yolanda Alanis Garcia. Redes Neuronales, PRENTICE-HALL, 2006.

[9] Dr. Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, María del Pilar Baptista Lucio. Metodología de la Investigación, 5 edición, McGraw-Hill 2010.

[10] Stuart Russell, Peter Norvig. Inteligencia Artificial: un enfoque moderno, 2 edición, Prentice Hall 2004.

# Apéndice

SAC: El Sistema de Autorregulación cerebral se refiere a los mecanismos fisiológicos que mantienen el flujo de sangre a un nivel adecuado durante los cambios en la presión arterial.

CBFV: Se refiere a la Velocidad del Flujo Sanguíneo Cerebral.

ABP: Corresponde a la Presión Arterial.

FIR: es el filtro de respuesta finita a utilizar que viene dado por la siguiente formula v(i)=h(0)p(i)+h(1)p(i-1)+ … + h(6)p(i-6) + e(i), donde i es el índice de la muestra, v es CBFV, p es ABP y h es la respuesta de impulso.

Normocapnia: Concentración de dióxido de carbono (CO2) en cantidades normales en la sangre.

Hipercapnia: Concentración de dióxido de carbono (CO2) en cantidades anormales en la sangre.

ARI: Índice de Autorregulación el cual clasifica respuesta autorreguladora.

RNA: Las Redes Neuronales Artificiales son modelos matemáticos que pueden ser entrenados para aprender relaciones no lineales entre un conjunto de datos de entrada y un conjunto de datos de salida.