

Estimación online de modelos no lineales del sistema pulmonar bajo respiración asistida

Riva, Diego A.; Evangelista, Carolina A.; Puleston, Paul F.

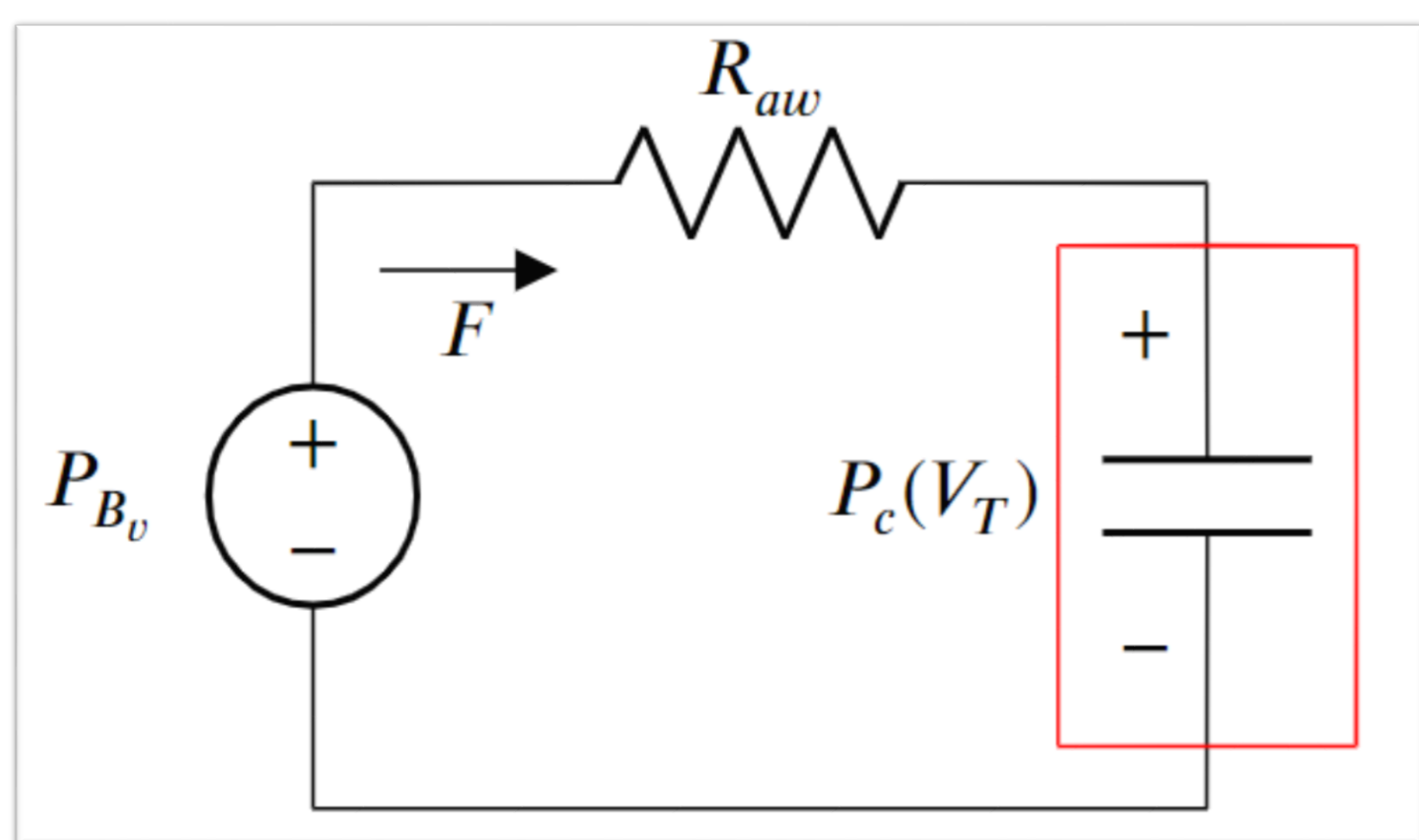
Resumen: Este trabajo es parte de una línea de investigación del Instituto LEICI, en el área de apoyo a pacientes ventilados mecánicamente. El modelado matemático del sistema respiratorio es de gran importancia en la medicina intensiva, dado que el cálculo de sus parámetros puede ayudar a determinar el mejor tratamiento para el paciente. En este trabajo se presenta un algoritmo que obtiene un modelo no lineal del sistema pulmonar en cada ciclo respiratorio en forma online, utilizando las señales de P_B y F como entrada. Para ello, se emplean técnicas estándar de identificación de sistemas, calculando los parámetros del modelo no lineal sólo si el ajuste del modelo del ciclo anterior cae por debajo de cierto umbral fijado. Además, el entorno de usuario permite visualizar gráficamente los resultados obtenidos (es decir, el valor de los parámetros de cada modelo y su ajuste, para cada ciclo respiratorio), así como guardar los mismos para análisis posteriores.

Descripción dinámica y modelos del sistema pulmonar

Ecuación de Movimiento del sistema respiratorio

$$P_{Bv} = \dot{V}_T R_{aw} + P_c(V_T)$$

- P_{Bv} y $\dot{V}_T = F$: Presión y flujo de aire medidos en la boca del paciente.
- R_{aw} : Resistencia de vías aéreas.
- $P_c(V_T)$: Presión del sistema toraco-pulmonar.
- V_T : Volumen corriente.



Describiendo la relación $P_c(V_T)$, queda definido el modelo:

Modelo RC Lineal:

$$P_{Bv} = \dot{V}_T R_{aw} + \frac{V_T}{C_{rs}}$$

Modelo RC No Lineal:

$$P_{Bv} = \dot{V}_T R_{aw} + (a_1 + a_2 V_T) V_T$$

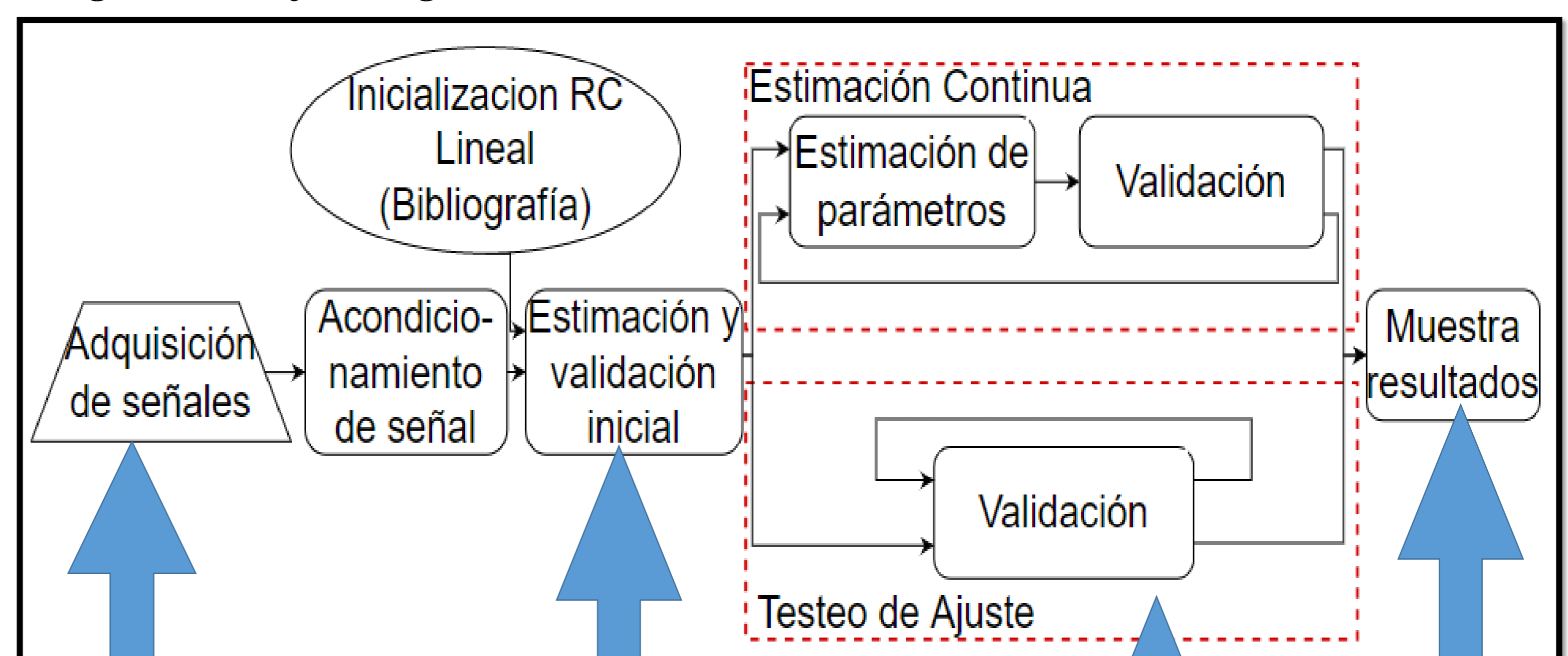
Descripción del algoritmo desarrollado

El algoritmo desarrollado permite encontrar valores para los parámetros del modelo RC lineal y RC no lineal que mejor ajustan a cada paciente, para cada ciclo respiratorio. El algoritmo está constituido con dos grandes modos de operación con tareas bien diferenciadas:

Modo Testeo de ajuste: Proceso donde se compara el volumen estimado usando el modelo del ciclo anterior con la señal de volumen del ciclo respiratorio actual.

Modo Estimación continua: Este modo contiene el proceso de identificación del modelo cuadrático.

Diagrama de flujo del algoritmo



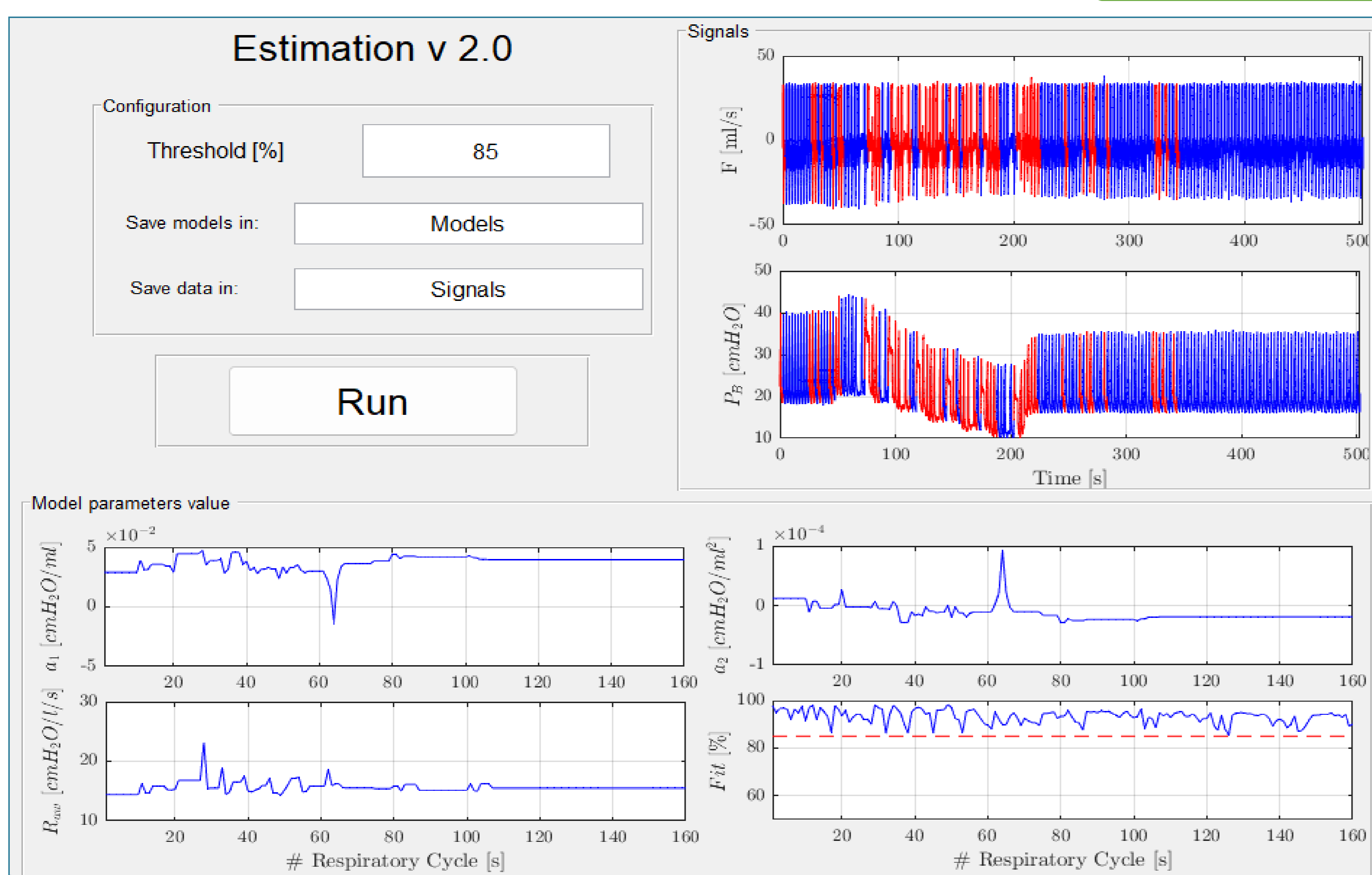
Medición de presión y flujo en la boca del paciente

Primer modelo RC lineal y RC no lineal para dar comienzo al bucle del algoritmo

Entorno de Usuario realizado con el toolbox GUI de Matlab

Bucle del algoritmo: Para cada ciclo respiratorio, el algoritmo ejecuta el modo Testeo de ajuste. Si el fit obtenido es menor a un umbral (configurado por el paciente), se ejecuta el modo Estimación continua para obtener un nuevo modelo.

Entorno de usuario



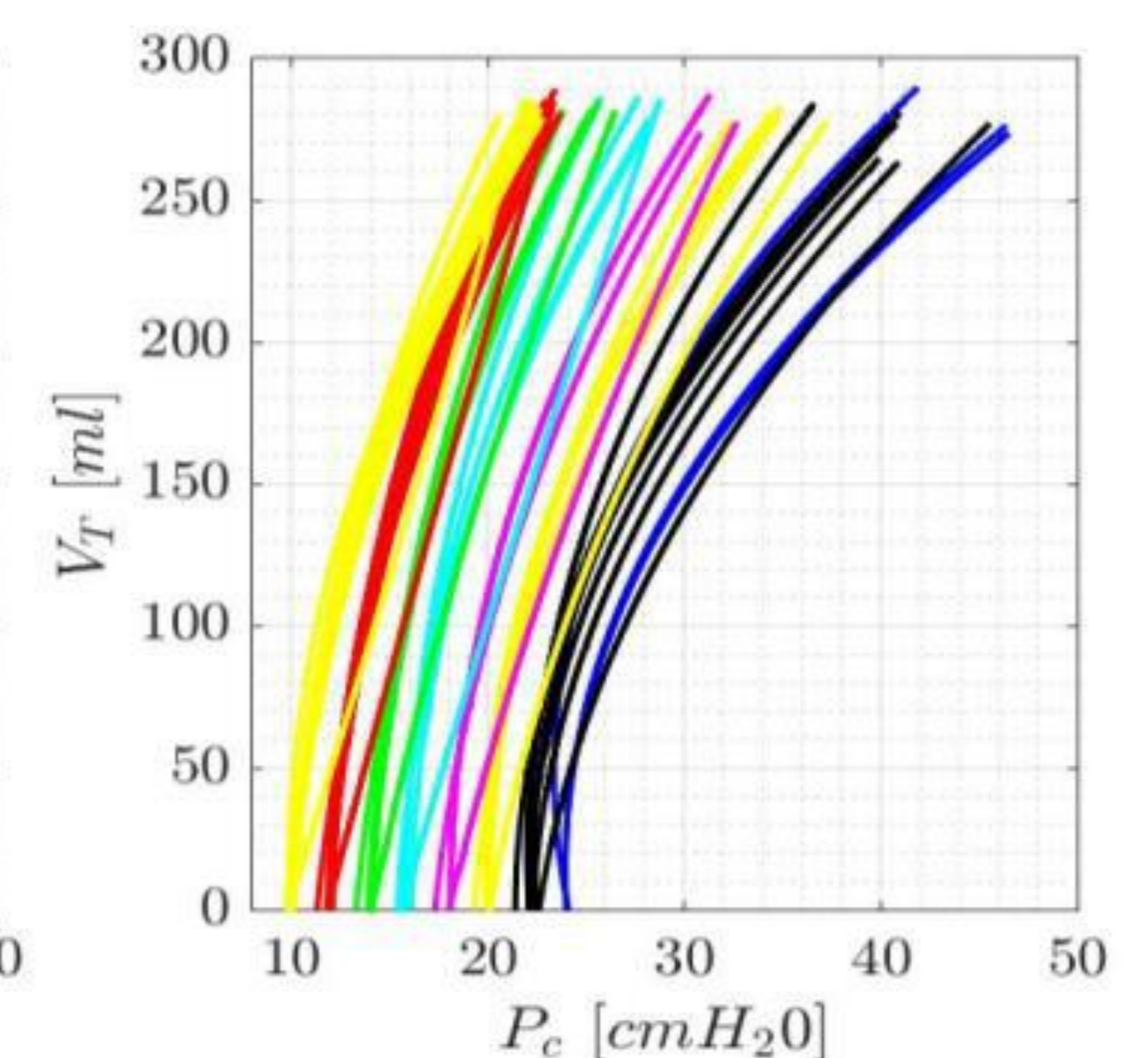
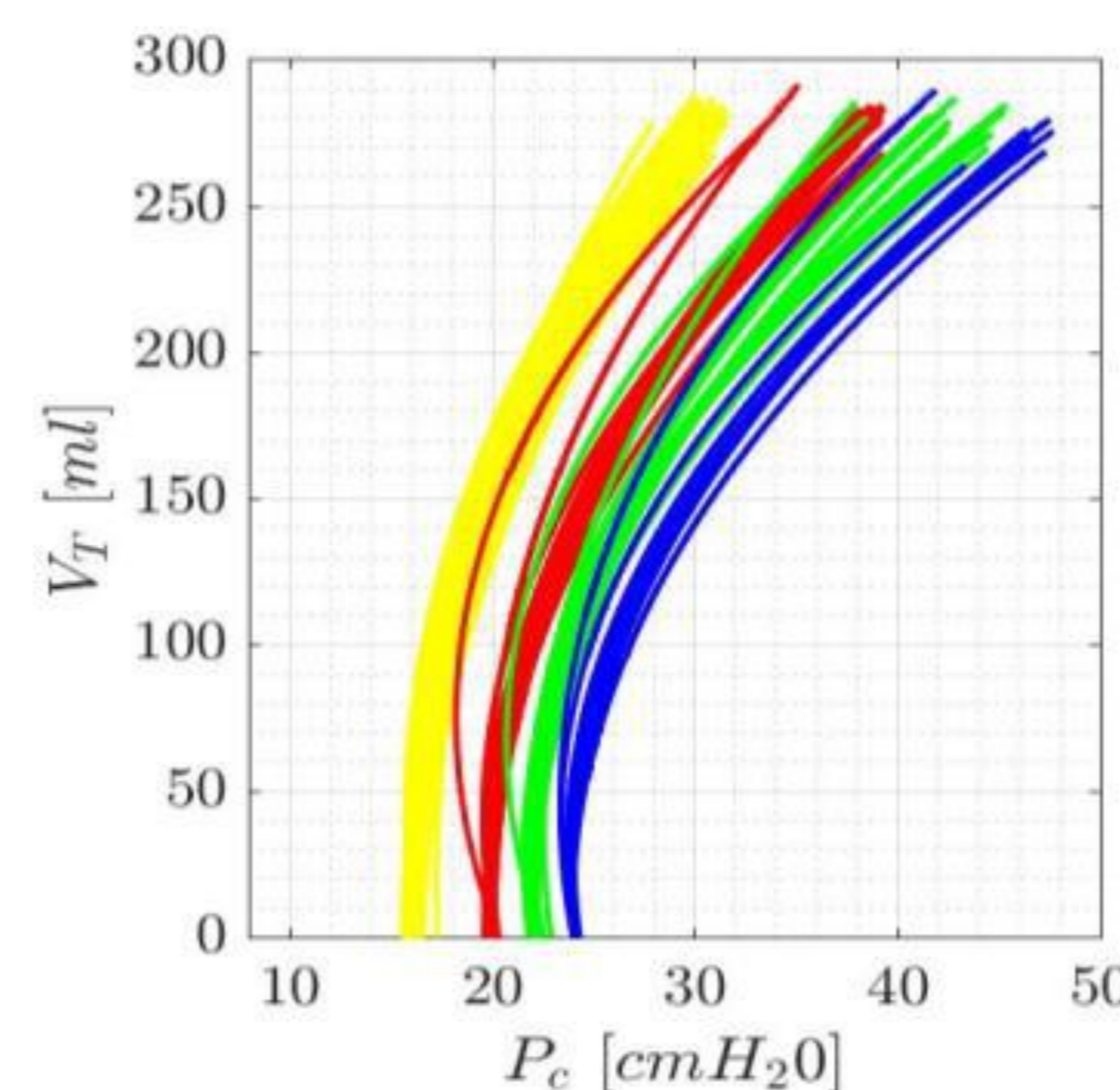
- **Configuration:** Se configuran el valor de umbral y nombres de archivos de guardado.
- **Signals:** Muestra de las señales procesadas. En rojo (azul), ciclos donde se requirió (no se requirió) una nueva estimación
- **Model parameters values:** Se muestra el valor de cada parámetro del modelo RC no lineal para cada ciclo respiratorio junto con el ajuste.

Resultados

Resultados por simulación:

Se muestran los resultados obtenidos para tres pacientes simulados que responden al modelo RC no lineal, con diferentes valores de parámetros realistas, ventilados en distintas zonas de operación.

Parámetro	R_{aw} [cmH ₂ O/ml/seg]	a_1 [cmH ₂ O/ml]	a_2 [cmH ₂ O/ml ²]
Valor real	0.02	0.0205	1e-06
Estimación promedio (error)	0.02000 (0.001%)	0.0204 (0.02%)	9.9310e-07 (0.7%)
Valor real	0.015	0.0149	5e-07
Estimación promedio (error)	0.01499 (0.03%)	0.01479 (0.51%)	5.155e-07 (3%)
Valor real	0.025	0.0163	8.6e-07
Estimación promedio (error)	0.024997 (0.01%)	0.016208 (0.41%)	8.7553e-07 (1.77%)



Resultados con datos reales: Curvas $P_c(V_T)$ cuadráticas obtenidas con el algoritmo en un paciente ventilado mecánicamente durante un tratamiento llamado "Titulación de PEEP".

En este trabajo se ha presentado un algoritmo capaz de procesar las señales de presión y flujo de aire para obtener modelos RC lineal y RC no lineal de un paciente ventilado mecánicamente. El algoritmo contiene dos modos de operación: el modo Estimación continua, encargado de realizar el proceso de identificación; y el modo Testeo de ajuste el cual evalúa el ajuste obtenido por modelo obtenido en el ciclo respiratorio anterior, permitiendo detectar cambios en el estado del paciente.

Empleando este algoritmo con señales medidas en un gran número de pacientes con diferentes patologías respiratorias, como COVID-19, se puede realizar monitoreo y también estudios estadísticos sobre la evolución de los parámetros de un paciente para cada tratamiento aplicado. Además, se utilizarán los modelos dinámicos identificados y las conclusiones de estos estudios para el diseño de controladores específicos, que aporten a la optimización de los equipos de respiración asistida.

Interesados, comunicarse por e-mail a diego.ale.riva@gmail.com