

# Comparación de ecuaciones de predicción para oscilometría de Impulso: Una aplicación web para generar reporte y comparativa sobre ecuaciones en el mundo <sup>\*</sup>

Luisa Fernanda Guantiva Vargas  
Cindy Zhang Gao  
Jhon Felipe Delgado Salazar  
Sonia Maria Restrepo Gualteros  
Carlos Enrique Rodriguez Martinez

21 de agosto de 2024

## Resumen

La oscilometría de impulso (IOS) es una técnica avanzada utilizada para evaluar la función pulmonar, especialmente útil en la población pediátrica. Esta herramienta web, diseñada para profesionales de la salud, compara ecuaciones de predicción de IOS, permitiendo al usuario ingresar los datos del paciente y obtener una estimación de los valores de referencia esperados para su edad y sexo, junto a una hipótesis diagnóstica preliminar. Las oportunidades de aplicación futura incluyen la integración con dispositivos de diagnóstico, la expansión de la base de datos para incluir más regiones geográficas y grupos étnicos, con el objetivo de mejorar la precisión y aplicabilidad del sistema en contextos clínicos diversos. Esta es una herramienta innovadora en el campo de la neumología pediátrica, ofreciendo una solución tecnológica para optimizar el tiempo de diagnóstico y mejorar la precisión en la interpretación de resultados de IOS.

**Palabras clave:** Herramienta web, Salud respiratoria pediátrica, Oscilometría de impulso, Valores de referencia, Problemas respiratorios, Ecuaciones para IOS .

**JEL:** I10, I12, I19.

---

<sup>\*</sup>First draft for comments. Please do not circulate.

## 1. Introducción

La oscilometría de impulso (IOS) ha emergido como una técnica no invasiva que es utilizada para evaluar la función pulmonar especialmente útil en población pediátrica ya que proporciona información detallada sobre la resistencia y reactancia del sistema respiratorio sin requerir maniobras forzadas. Sin embargo, la interpretación precisa de los resultados de la IOS requiere ecuaciones de referencia específicas que pueden variar significativamente según factores étnicos, geográficos y ambientales. Actualmente, existen estudios de ecuaciones de IOS para niños en más de 15 países alrededor del mundo, incluyendo países de América Latina, Europa, Asia y África. Esta creciente evidencia destaca la importancia de tener en cuenta las diferencias regionales en la función pulmonar y la necesidad de herramientas que puedan facilitar la comparación de ecuaciones de referencia de diferentes contextos.

Para algunos profesionales de la salud, la interpretación de los resultados de la IOS puede ser un proceso complejo, ya que requiere el conocimiento de múltiples ecuaciones de referencia y la consideración de factores antropométricos específicos. Las ecuaciones de IOS pueden variar en sus parámetros de referencia, dependiendo del rango de edad, sexo, altura, IMC y otros factores antropométricos que se toman en cuenta en cada estudio. La precisión en la interpretación de las pruebas de IOS es crucial para el diagnóstico y manejo de afecciones respiratorias pediátricas, como el asma, la bronquitis y la fibrosis quística. Por lo cual existe una necesidad de optimizar y facilitar la lectura de pruebas de función pulmonar IOS para el diagnóstico de afecciones respiratorias pediátricas. Este trabajo propone una herramienta la cual compara y recomienda ecuaciones de IOS con todas sus características antropométricas de diferentes estudios realizados alrededor del mundo. Esta herramienta no solo facilita la comparación de ecuaciones de referencia, sino que también ayuda a identificar las ecuaciones más apropiadas para cada paciente, basándose en sus características individuales.

## 2. Metodología

Se recopilaron 10 ecuaciones de predicción de oscilometría de estudios internacionales en niños de 3 a 18 años, agrupando los datos de cada estudio en términos de promedios, desviaciones estándar (SE) del peso, altura y

estatura, además de los tamaños de muestra. También se incluyeron datos sobre la altura de la región geográfica. [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9].

Se desarrolló un sistema de recomendación utilizando el modelo KNeighborsClassifier con sobremuestreo para generar datos sintéticos, basándose en la distribución de las variables demográficas recopiladas. Este proceso produjo un conjunto de datos de tamaño 100 para niños y niñas, completando un dataset de 1000 datos. Se asumió normalidad en los datos, lo cual eliminó la necesidad de pruebas adicionales de normalidad. Además, los datos fueron sometidos a una reducción de dimensionalidad mediante un análisis de componentes principales (PCA) para facilitar la visualización y clasificación del modelo. El procesamiento y generación de los datos fue realizado con la función *np.random* de Python (version 3.9.2).

El sistema de recomendación se guardó en un archivo de tipo pkl (pickle), que fue integrado en el backend de la herramienta web desarrollada. Esta herramienta web integra tanto las ecuaciones como el sistema de recomendación. Para la arquitectura del software, se utilizó el modelo C4, estandarizado en niveles de contexto, contenedores, componentes y código.

## 2.1. Desarrollo de la aplicación

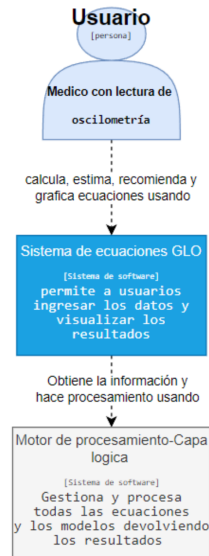


Figura 1: Arquitectura de software c4 de la herramienta.

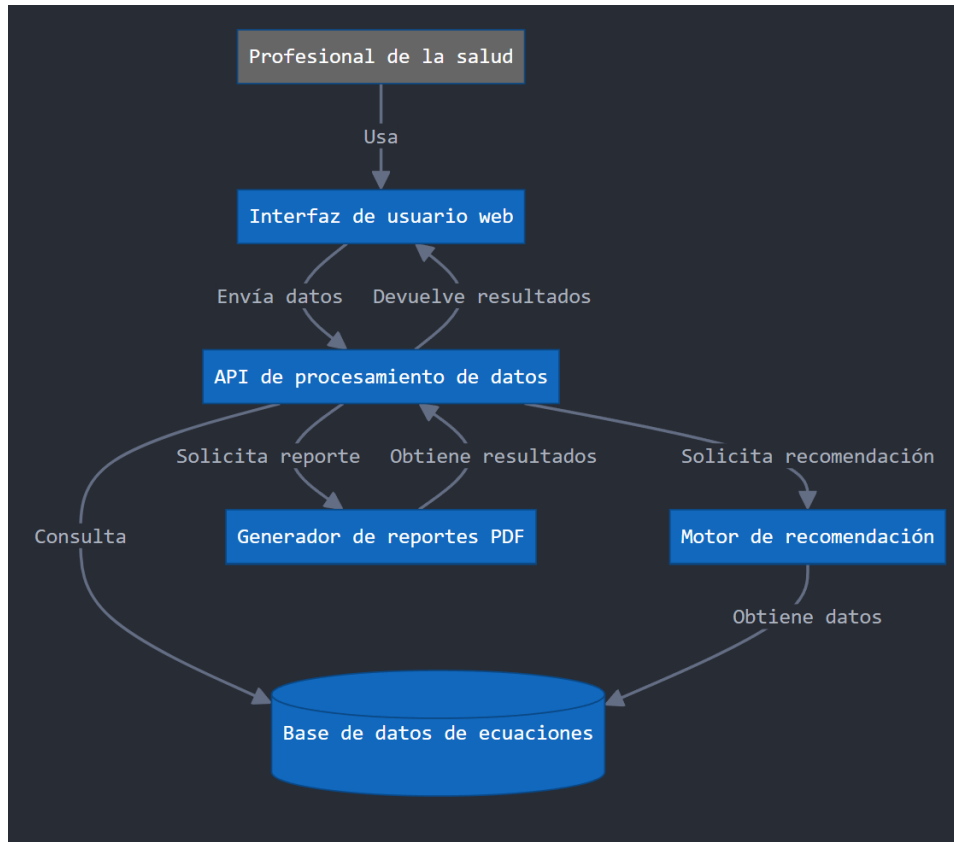


Figura 2: Arquitectura de componentes de la herramienta.

El frontend de la aplicación, como se muestra en la Figura 2, consta de varios componentes clave: un Formulario de Entrada para la recopilación de datos del paciente, un Visualizador de Gráficos para representar los resultados, un Sistema de Arrastre para la interacción flexible con los elementos de la interfaz, un Sistema de Colapso para gestionar la visualización de información, y un componente de Recomendación de Diagnóstico para presentar los resultados del análisis.

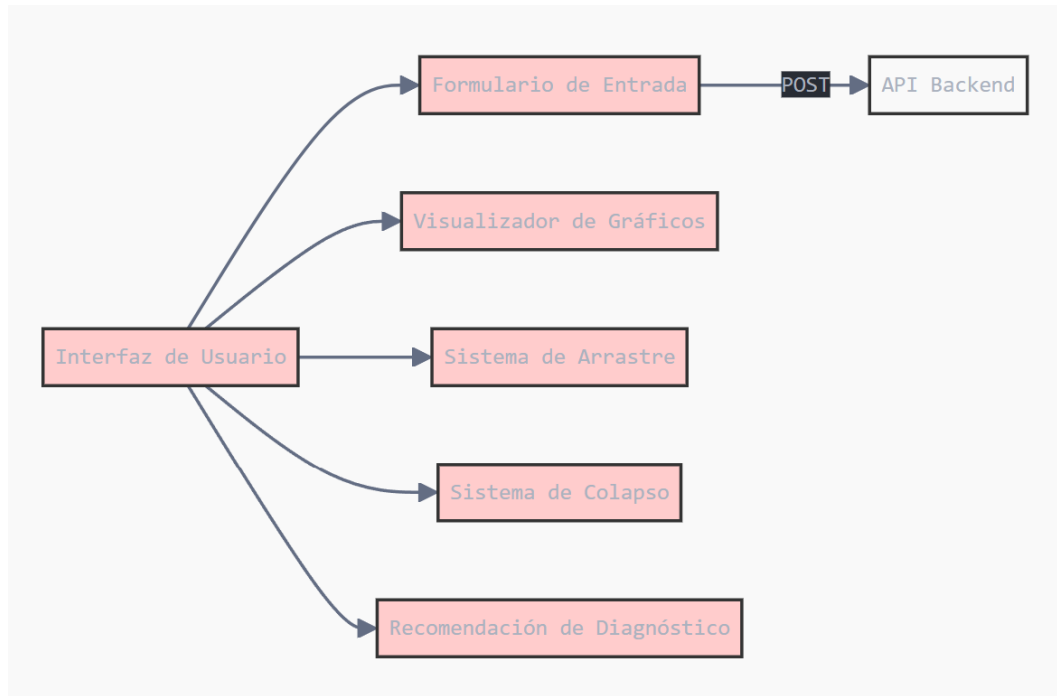


Figura 3: Arquitectura frontend de la herramienta.

El backend, ilustrado en la Figura 3, se compone de una API Flask que actúa como punto de entrada, un Calculador de Ecuaciones que procesa las 10 ecuaciones de predicción recopiladas, una Base de Datos para almacenar la información necesaria, y un Sistema de Recomendación que implementa el modelo `KNeighborsClassifier` mencionado.

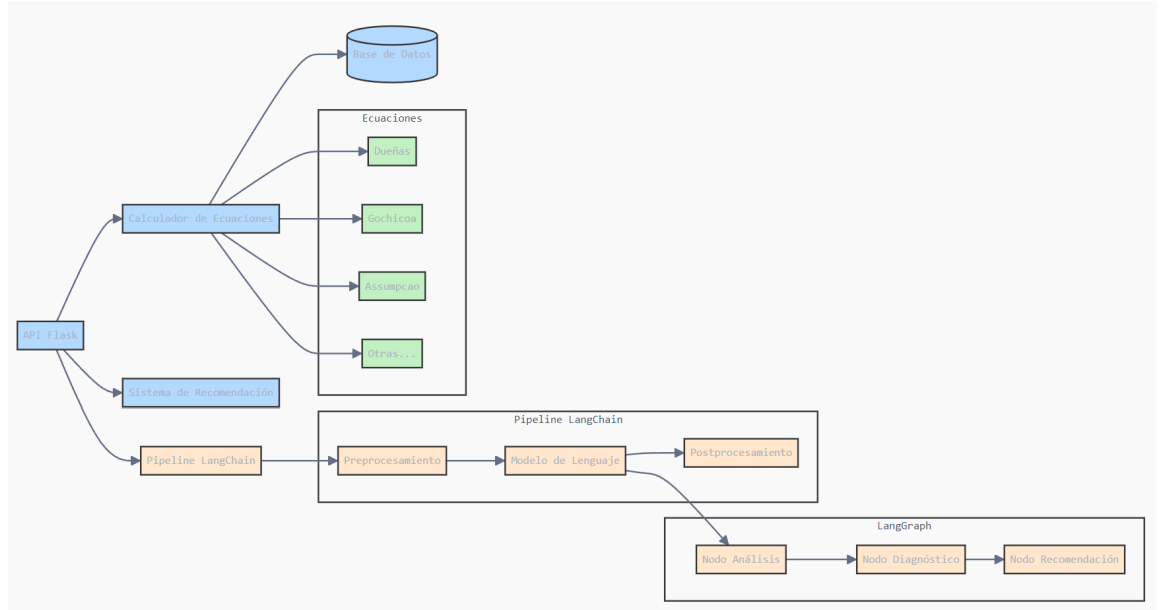


Figura 4: Arquitectura backend de la herramienta.

Para perfeccionar la recomendación diagnóstica, se implementó un sistema de cadenas de lenguaje basado en la técnica de few-shot learning, utilizando el framework LangChain. Inspirado por el enfoque del modelo ReAct, que integra razonamiento y acción para mejorar la toma de decisiones en sistemas autónomos [10], nuestro modelo de lenguaje se configuró para analizar los parámetros de oscilometría. Utilizamos un enfoque determinístico basado en reglas extraídas de la literatura médica para identificar patrones respiratorios, tales como asma, fibrosis quística y bronquiolitis obliterante. El sistema genera una hipótesis diagnóstica preliminar. Es importante enfatizar que este sistema está diseñado para complementar, y no reemplazar, el juicio clínico del profesional de la salud.

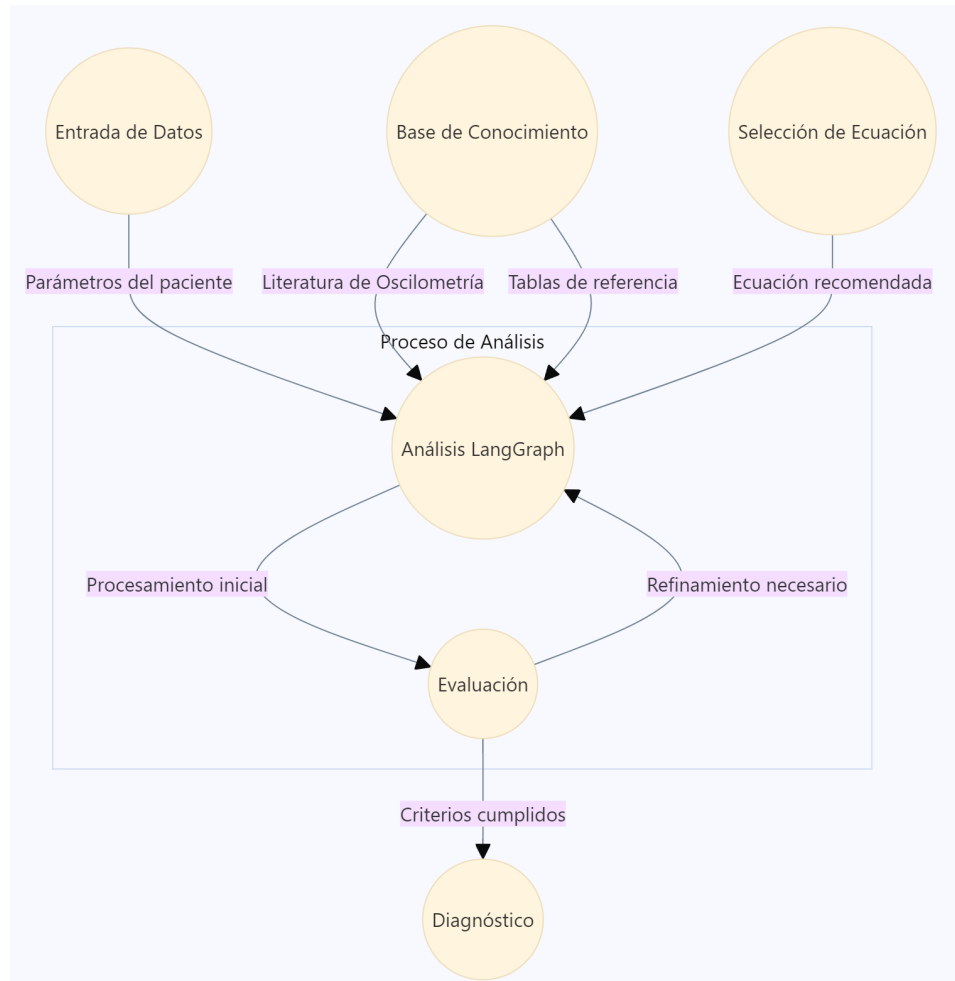


Figura 5: Diagrama de lenguaje.

### 3. Resultados

El  $R^2$  promedio obtenido de las ecuaciones fue de 39 %. Identificamos que los parámetros más comúnmente usados para calcular los z-scores son X5, R20, AX y R5, fueron implementados en la herramienta para procesamiento automático y cálculo de las ecuaciones. El sistema de recomendación, arrojó una precisión en el algoritmo del 95 % , generando como salida la mejor ecuación que se puede ajustar a los parámetros ingresados.

La distribución de los datos sintéticos se muestra en la Figura 6, esta distribución muestra un promedio de edad de 9.91 años para todos los datos, un peso (kg) promedio de 36.91 y altura promedio de 142.55 cm. Además, se puede ver que la distribución tiene una tendencia a ser normal dado la suposición para la generación de los datos. La reducción de dimensionalidad de la figura 7 muestra con 3 componentes principales y una muestra de 200 datos el conjunto de entrenamiento y test que se utilizó para entrenar el modelo de recomendación.

La cadena de lenguaje genera una hipótesis diagnóstica preliminar de tipo texto que es visualizado en el reporte generado por un PDF, además de una cuadro de texto complementando la gráfica de distribución normal en los parámetros predichos por la IOS basando en el sistema de recomendación como se ve en la figura 8. Además, al haberse calculado todas las demás ecuaciones de predicción de los 10 autores, el usuario podrá interactuar con los demás resultados que genera la interfaz.

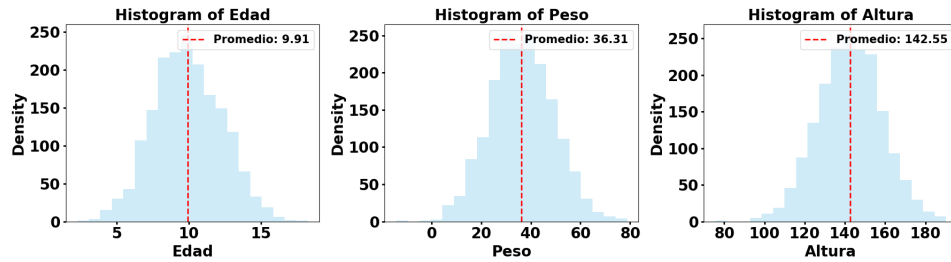


Figura 6: Distribución de datos sintéticos



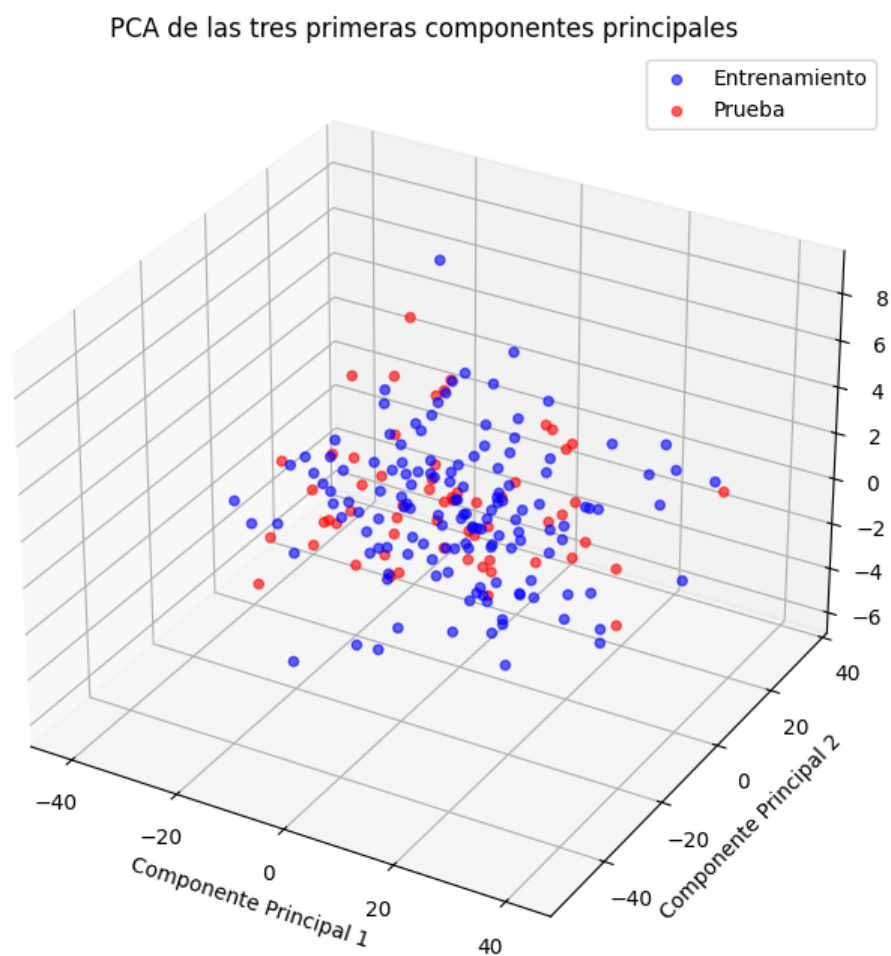
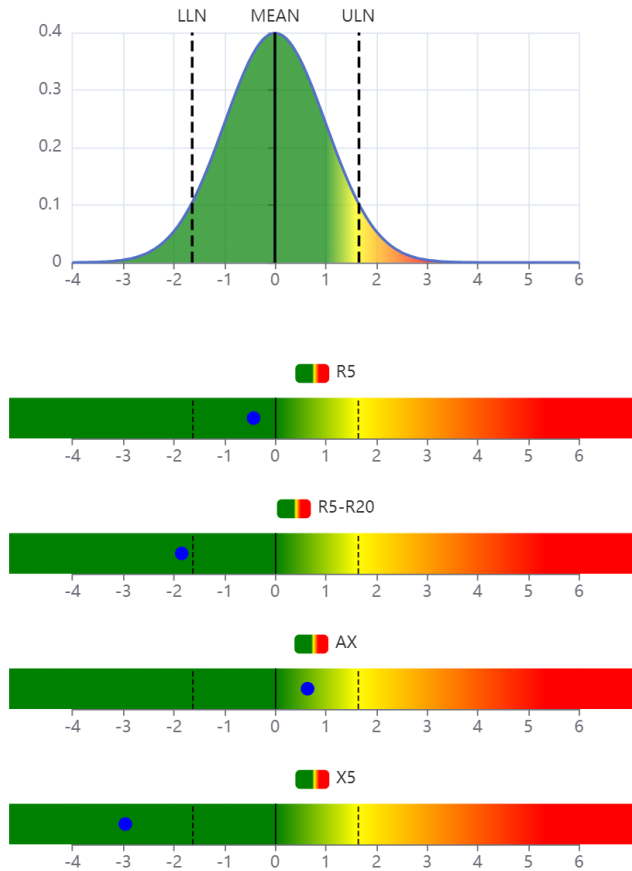


Figura 7: PCA de muestra aleatoria simulada para KNeighborsClassifier

La interfaz proporciona visualizaciones comparativas de los límites de normalidad entre las 10 ecuaciones, incluyendo la respuesta al broncodilatador. El sistema integra estos elementos en un reporte cualitativo en PDF, que incluye la ecuación recomendada, el análisis paramétrico y la hipótesis diagnóstica.



### Recomendación de Diagnóstico

Los parámetros de oscilometría muestran una disminución en R5, R5-R20 y X5, con un ligero aumento en AX. Este patrón sugiere una condición respiratoria mixta, posiblemente con elementos de rigidez pulmonar y leve obstrucción de vías aéreas pequeñas. Podría ser compatible con fibrosis pulmonar temprana o enfermedad pulmonar intersticial inicial. El diagnóstico definitivo y la responsabilidad del tratamiento recaen exclusivamente en el médico tratante.

Figura 8: Recomendación de diagnóstico

## 4. Utilidad práctica

La aplicación pretende ser una herramienta de acompañamiento al personal médico que realice IOS para mejorar la interpretación de las pruebas de función pulmonar, facilitando la comparación de los parámetros de IOS en niños normales según diferentes autores y bajo diferentes condiciones, dado que, la aplicación retorna todas las estimaciones de las ecuaciones. Esto ayudará al especialista encargado a tomar mejores decisiones sobre marcadores de diagnóstico en diferentes enfermedades respiratorias. El reporte generado permitirá leer de forma cualitativa y cuantitativa una interpretación de los resultados, aproximando al profesional de la salud a una decisión más precisa.

## 5. Aplicaciones potenciales

Esta es la primera prueba de concepto de herramienta web abierta a integrarse con los softwares y dispositivos que procesan los datos de la IOS. Al capturar los datos directamente del dispositivo se podrá realizar una transformación y predicción de la data en tiempo real, sin necesidad de rellenar formularios por parte del personal médico. La implementación de esta herramienta transformaría la forma de lectura e interpretación de la IOS optimizando tiempos y generando un ambiente interactivo y dinámico.

## 6. Sigüientes pasos

- **Colaboración multi-hospitalaria:** Crear una red de cooperación entre diversos hospitales a nivel nacional e internacional. Esta red permitiría la recopilación y el intercambio de datos, así como la validación cruzada de las ecuaciones de predicción. La colaboración constante entre instituciones médicas ayudaría a refinar las ecuaciones existentes, aumentando su precisión y adaptabilidad a diferentes poblaciones. Además, se promoverían estudios conjuntos que aborden variaciones regionales y étnicas en los datos de oscilometría.
- **Integración con dispositivos de diagnóstico:** Desarrollar interfaces y APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones) para integrar la aplicación directamente con el software de los dispositivos de diagnóstico de oscilometría. Esta integración permitiría la transferencia de datos en tiempo real desde los dispositivos de diagnóstico a la aplicación, facilitando un análisis instantáneo y preciso de los resultados de los pacientes.
- **Ampliación de la base de datos:** Expandir la base de datos de ecuaciones de predicción mediante la inclusión de datos de diversas regiones geográficas y grupos étnicos. Esta ampliación se lograría a través de la colaboración con hospitales y centros de investigación de todo el mundo. La diversidad en la base de datos permitiría generar recomendaciones

más precisas y personalizadas, mejorando el diagnóstico y tratamiento de pacientes con diferentes antecedentes demográficos y clínicos.

- **Implementación de aprendizaje automático:** Utilizar técnicas avanzadas de machine learning para mejorar continuamente el sistema de recomendación. Los algoritmos de aprendizaje automático analizarían los nuevos datos recopilados y los resultados clínicos para identificar patrones y tendencias. Estos algoritmos se ajustarían y optimizarían regularmente para aumentar la precisión de las predicciones y adaptarse a los cambios en los datos clínicos y demográficos.
- **Estudios de validación clínica:** Realizar estudios exhaustivos para validar la eficacia de la herramienta en la práctica clínica real. Estos estudios podrían comparar las recomendaciones generadas por la herramienta con los diagnósticos realizados por expertos en diferentes contextos médicos. La validación clínica garantizaría que la herramienta sea confiable y precisa, proporcionando evidencia científica sólida sobre su utilidad y efectividad en el entorno clínico.

## 7. Anexo

| Autor              | Género | Rangos de edad  | Localización geográfica        | Altura  | Muestra |
|--------------------|--------|-----------------|--------------------------------|---------|---------|
| Assumpção          | Niños  | 6 a 14 años     | Florianópolis: Brasil          | 3m      | 62      |
| Assumpção          | Niñas  | 6 a 14 años     | Florianópolis: Brasil          | 3m      | 61      |
| Meraz              | Niños  | 5 a 17 años     | El Paso, Texas: Estados Unidos | 520 m   | 60      |
| Meraz              | Niñas  | 5 a 17 años     | El Paso, Texas: Estados Unidos | 520 m   | 52      |
| Gochicoa           | Niños  | 3 a 15.4 años   | Ciudad de México: México       | 2,240 m | 153     |
| Gochicoa           | Niñas  | 2,7 a 15,2 años | Ciudad de México: México       | 2,240 m | 130     |
| Dueñas             | Niños  | 3 a 5.9 años    | Bogotá: Colombia               | 2,625 m | 38      |
| Dueñas             | Niñas  | 3 a 5.9 años    | Bogotá: Colombia               | 2,625 m | 58      |
| Frei               | Niños  | 3 a 10 años     | Montreal: Canadá               | 57 m    | 121     |
| Frei               | Niñas  | 3 a 10 años     | Montreal: Canadá               | 57 m    | 101     |
| Amra               | Niños  | 6 a 19 años     | Irán: Irán                     | 1,047 m | 265     |
| Amra               | Niñas  | 5 a 19 años     | Irán: Irán                     | 1,047 m | 253     |
| Lai                | Niños  | 4 años          | Taoyuan: Taiwán                | 82 m    | 81      |
| Lai                | Niñas  | 4 años          | Taoyuan: Taiwán                | 82 m    | 69      |
| Park               | Niños  | 3 a 6 años      | Seongnam: Corea del Sur        | 48 m    | 67      |
| Park               | Niñas  | 3 a 6 años      | Seongnam: Corea del Sur        | 48 m    | 52      |
| Sally Raafat Ishak | Niños  | 3 a 18 años     | Egipto                         | 23 m    | 65      |
| Sally Raafat Ishak | Niñas  | 3 a 18 años     | Egipto                         | 23 m    | 48      |
| Malmberg           | Niños  | 2 a 6 años      | espoo finland                  | 27m     | 54      |
| Malmberg           | Niñas  | 2 a 6 años      | espoo finland                  | 27m     | 55      |

Tabla 1: Datos de los autores por género y localización geográfica

## Referencias

- [1] Babak Amra, Froogh Soltaninejad, and Mohammad Golshan. Respiratory resistance by impulse oscillometry in healthy iranian children aged 5-19 years. *Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology*, 7(1):25–29, March 2008.
- [2] E. G. Meraz, H. Nazeran, R. Edalatpour, C. Rodriguez, K. Montano, C. Aguilar, N. Avila, J. O. Vidaña, and A. L. Portillo. Reference Equations for Impulse Oscillometric and Respiratory System Model Parameters in Anglo and Hispanic Children. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 37(1):49–61, Ene-Abr 2016.
- [3] Laura Gochicoa-Rangel, Luis Torre-Bouscoulet, David Martínez-Briceño, Luis Rodríguez-Moreno, Gabriela Cantú-González, and Mario H. Vargas. Values of Impulse Oscillometry in Healthy Mexican Children and Adolescents. *Respiratory Care*, 60(1):1–9, January 2015.
- [4] Elida Duenas-Meza, Eliana Correa, Eliana López, Juan Carlos Morales, Carlos Eduardo Aguirre-Franco, Carlos Fabián Morantes-Ariza, Carlos Eduardo Granados, and Mauricio González-García. Impulse oscillometry reference values and bronchodilator response in three- to five-year old children living at high altitude. *Journal of Asthma and Allergy*, 12:263–271, 2019.
- [5] Jennifer Frei, Jagtar Jutla, Gretchen Kramer, George E. Hatzakis, Francine M. Ducharme, and G. Michael Davis. Impulse oscillometry: Reference values in children 100 to 150 cm in height and 3 to 10 years of age. *CHEST*, 128(3):1266–1273, 2005.
- [6] S. H. Lai, T. C. Yao, S. L. Liao, M. H. Tsai, M. C. Hua, K. W. Yeh, and J. L. Huang. Reference value of impulse oscillometry in taiwanese preschool children. *Pediatrics and Neonatology*, 56(3):165–170, 2015.
- [7] J. H. Park, J. W. Yoon, Y. H. Shin, H. M. Jee, Y. S. Wee, S. J. Chang, J. H. Sim, H. Y. Yum, and M. Y. Han. Reference values for respiratory system impedance using impulse oscillometry in healthy preschool children. *Korean Journal of Pediatrics*, 54(2):64–68, 2011.
- [8] Sally Raafat Ishak and Azza Mohammed Hassan. Reference equations for parameters of impulse oscillometry in Egyptian children and adolescents. *The Egyptian Journal of Bronchology*, 14(37):1–9, 2020.

- [9] L. P. Malmberg, A. Pelkonen, T. Poussa, A. Pohjanpalo, T. Haahtela, and M. Turpeinen. Determinants of respiratory system input impedance and bronchodilator response in healthy finnish preschool children. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22(1):64–71, 2002.
- [10] Shunyu Yao, Jeffrey Zhao, Dian Yu, Nan Du, Izhak Shafran, Karthik Narasimhan, and Yuan Cao. React: Synergizing reasoning and acting in language models. In *Proceedings of the International Conference on Learning Representations*, pages 1–16, Online, April 2023. ICLR.