



**Diseño de un Sistema Complementario Mediante un Dispositivo de Alerta para la
Dosificación Efectiva de Inhaladores en Pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva
Crónica (EPOC)**

Autores:

Sharick Cifuentes Santos, Katy León Atencia

Tutor:

Álvaro Mendoza

Corporación Universitaria Reformada

Facultad de Ingeniería

Programa de Tecnología en Electromedicina articulado por ciclo propedéutico con

Ingeniería Biomédica.

Barranquilla-Atlántico

2024

**Diseño de un Sistema Complementario Mediante un Dispositivo de Alerta para la
Dosificación Efectiva de Inhaladores en Pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva
Crónica (EPOC)**

Sharick Cifuentes Santos, Katy León Atencia

**Investigación presentada como requisito para optar por el título de Técnico en Tecnología
en Electromedicina.**

Tutor:

Álvaro Mendoza

Corporación Universitaria Reformada

Departamento de Ingeniería

Barranquilla – Atlántico

2024

Contenido

Resumen.....	6
Abstract.....	7
1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema.....	4
3. Justificación	8
4. Objetivos.....	11
4.1 Objetivo General.....	11
4.2 Objetivos Específicos.....	11
5. Marco referencial	12
5.1. Marco teórico.....	12
5.1.6 Clasificación de la enfermedad.....	21
5.1.7 Tratamiento.....	22
5.2. Estado Del Arte	29
5.2.1. Revisiones Internacionales.....	30
5.2.2. Revisiones Nacionales.....	32
5.3. Marco conceptual	33
5.4. Marco Legal.....	35
6. Metodología	37

6.1.	Tipo de investigación.....	38
6.2.	Área de estudio	39
6.3.	Materiales y Métodos	39
6.3.2.	Circuito de Monitorización de Cápsula.....	44
6.3.3.	Algoritmo detector de consumo de capsula	44
7.	Resultados y discusión.....	46
8.	Conclusiones	50
9.	Referencias.....	52

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1:	El humo en las células pulmonares	14
Ilustración 2:	El aire en el "hogar"	15
Ilustración 3:	Exposición a Humo en el trabajo	16
Ilustración 4:	la contaminación del aire	16
Ilustración 5:	Deficiencia de alfa-1 antitripsina	17
Ilustración 6:	Espirometria.....	20
Ilustración 7:	Inhaladores tradicionales	23
Ilustración 8:	Inhaladores de partículas extrafinas (Modulite®, Alvesco®):	24
Ilustración 9:	Respimat®	24
Ilustración 10:	Easybreath®.....	25
Ilustración 11:	Ribujet®.....	25
Ilustración 12:	Espaciadores	26

Ilustración 13: Aerolizer®, Breezhaler®, Handihaler®	28
Ilustración 14: Accuhaler®, Ellipta®, Forspiro®.....	28
Ilustración 15: Easyhaler®, Genuair®, NEXThaler®, Novolizer®, Spiromax®, Turbuhaler®, Twisthaler®.....	29
Ilustración 16: Arduino Nano.....	40
Ilustración 17: Buzzer	40
Ilustración 18: Diodo Laser.....	41
Ilustración 19: Fotorresistencia	41
Ilustración 20: Resistencias (10k y 220).....	41
Ilustración 21: Led 3mm Rojo	42
Ilustración 22: Led 3mm Verde	42
Ilustración 23: Photo Transistor	42
Ilustración 24: CL Primer Prototipo.....	43
Ilustración 25: Circuito de Monitorización de capsula	44
Ilustración 26: Vista Frontal del Dispositivo	48
Ilustración 27: Vista Posterior del Dispositivo	49
Ilustración 28: Placa de circuito impreso o bifenilo policlorado(PCB)	49

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación de la gravedad de la limitación del flujo aéreo de la EPOC	21
Tabla 2: Ventajas y desventajas del Ribujet	26
Tabla 3: Ventajas y desventajas de las cámaras de inhalación	27

Resumen

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es una condición respiratoria crónica que requiere un tratamiento farmacológico continuo. Los inhaladores en polvo, como el Breezhaler, son dispositivos comunes para la administración de medicamentos. Sin embargo, la falta de control sobre la cantidad de dosis disponible puede generar incertidumbre en los pacientes y afectar negativamente a su adherencia al tratamiento.

Este proyecto se centra en la modificación del inhalador Breezhaler mediante la incorporación de sensores de luz y sonido que alerten al usuario cuando el fármaco esté completamente vacío. Esta innovación busca mejorar la experiencia del paciente con EPOC, aumentar la adherencia al tratamiento y reducir la ansiedad asociada con la incertidumbre sobre la cantidad de dosis restante.

Los resultados esperados incluyen un aumento en la satisfacción del usuario y una mejora en la gestión del tratamiento, contribuyendo así a una mejor calidad de vida para los pacientes.

Palabras Claves: EPOC, inhalador Breezhaler, sistema de alerta, sensores de luz y sonido, adherencia al tratamiento.

Abstract

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) requires continuous pharmacological treatment. Dry powder inhalers, such as Breezhaler, are common drug delivery devices. However, the lack of control over the remaining dose can cause patient uncertainty, negatively impacting treatment adherence.

This project focuses on modifying the Breezhaler by incorporating light and sound sensors that alert the user when the medication is empty. This innovation aims to improve the patient experience, increase treatment adherence, and reduce anxiety related to dose uncertainty.

Expected outcomes include increased user satisfaction and improved treatment management, contributing to a better quality of life for COPD patients.

Keywords: COPD, Breezhaler inhaler, alert system, light and sound sensors, treatment adherence.

1. Introducción

La EPOC es una condición compleja caracterizada por una obstrucción crónica y progresiva del flujo aéreo, que se asocia a una respuesta inflamatoria anormal del tejido pulmonar debido a la exposición prolongada a partículas nocivas y gases. Este proceso inflamatorio provoca cambios irreversibles en los pulmones, afectando la capacidad respiratoria del paciente y, por ende, su calidad de vida.

La EPOC no solo afecta al sistema respiratorio, sino que también tiene un impacto significativo en la salud humana en general, ya que su desarrollo suele ser continuo. En realidad, la enfermedad se presenta como un síndrome diverso y complejo. Hay síntomas sistémicos cuyas causas exactas aún no se comprenden completamente. Sus orígenes están relacionados en gran medida con el consumo de tabaco. Sin embargo, existen otros factores de riesgo. El desarrollo de la enfermedad crea muchos problemas negativos adicionales como la depresión entre otros síntomas que impactan negativamente en la salud del paciente.

En las últimas décadas, los inhaladores se han convertido en los dispositivos más utilizados para el tratamiento del asma y la EPOC. Estos permiten que el paciente inhale una dosis medida del medicamento, la cual llega directamente a las vías respiratorias. Esta administración directa no solo proporciona alivio inmediato de los síntomas, sino que también ayuda a controlar las exacerbaciones de la enfermedad, permitiendo que el tratamiento sea más efectivo. No obstante, el uso adecuado del inhalador resulta crucial, ya que un manejo incorrecto puede empeorar los síntomas y derivar en graves consecuencias para la salud del paciente.

Dentro del marco de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), el cumplimiento del tratamiento es esencial para manejar los síntomas, disminuir las crisis y potenciar la calidad de vida de los pacientes. Pese a la relevancia de un tratamiento constante,

numerosos pacientes, en particular personas de edad avanzada y con discapacidades sensoriales; ya sea auditivas o visuales, tienen problemas para saber en qué momento han inhalado todo su medicamento, siendo esta una de las principales dificultades. Esta falta puede provocar interrupciones no deseadas en el tratamiento o una terapia incompleta, lo que no solo perjudica la gestión de la enfermedad, sino que también incrementa la probabilidad de complicaciones severas y de internación hospitalaria.

Por lo tanto, es fundamental que el paciente tenga la capacidad de utilizarlo de manera autónoma, comprendiendo cómo inhalar correctamente y reconociendo cuándo ha agotado el medicamento. Esto permite una adherencia efectiva al tratamiento y minimiza el riesgo de complicaciones.

En este contexto, el propósito de este proyecto es desarrollar un sistema de alerta innovador que ayude a los pacientes a seguir su tratamiento, precisamente recordándoles cuándo han acabado de aspirar todo su medicamento y por lo tanto se requiere la reposición de un nuevo fármaco. Este sistema de alerta está concebido para su integración con el inhalador Breezhaler, frecuentemente empleado por pacientes con EPOC. La puesta en marcha de este sistema tiene como objetivo incrementar el cumplimiento del tratamiento, previniendo los descuidos que pueden influir de manera adversa en el progreso de la enfermedad. El desarrollo de este sistema ayude a mejorar la calidad de vida de los pacientes al permitir una administración más exacta e independiente de su tratamiento.

Nuestro sistema de alerta ha sido creado para proporcionar a los pacientes un recurso eficaz y fácil de usar que ayude a incrementar su cumplimiento con el tratamiento. Este sistema emplea una mezcla de sensores de luz y sonido, estratégicamente incorporados y complementario en el inhalador Breezhaler para identificar y alertar al usuario cuando el fármaco

se ha agotado totalmente. La incorporación de estos sensores posibilita un seguimiento exacto del contenido del inhalador, ofreciendo al usuario una advertencia instantánea que disminuye la posibilidad de que el tratamiento sea interrumpido o incompleto de manera involuntaria. La alerta se transmite tanto visualmente, mediante una señal de luz, como sonora, lo que hace que sea un sistema integral que incorpora medidas de inclusión y accesibilidad para todos.

Además, el diseño de este sistema ha sido pensado para ser intuitivo y no invasivo, de forma que el usuario pueda comprender y responder rápidamente a la alerta sin la necesidad de un aprendizaje complejo. Al recibir la notificación, el paciente sabrá de inmediato que ha aspirado todo su fármaco y que es necesario reponer su medicamento, lo cual facilita un manejo continuo y autónomo de la EPOC, evitando momentos de incertidumbre sobre la disponibilidad del fármaco. La implementación de esta tecnología no solo ayuda a evitar interrupciones en el tratamiento, sino que también permite al paciente planificar adecuadamente la reposición del medicamento, manteniendo así un control más constante y efectivo de la enfermedad.

El estudio se divide en dos fases, iniciando con un enfoque teórico en la Primera Fase. Esta etapa conlleva un análisis detallado de la bibliografía vinculada a los retos en el cumplimiento del tratamiento en pacientes con EPOC, un problema persistente que impacta la efectividad del tratamiento y la calidad de vida de los pacientes; específicamente en tratamientos con inhaladores. El propósito de esta etapa teórica es reconocer y entender los obstáculos que los pacientes encuentran en el uso correcto de los inhaladores, como la dificultad para recordar la reposición del fármaco o las restricciones sensoriales que pueden obstaculizar su uso adecuado. También se analizarán dispositivos de asistencia similares que empleen recordatorios o sistemas de alerta, evaluando los elementos que han demostrado ser efectivos en otros estudios. Este análisis permitirá obtener una base sólida de conocimientos que guiará el diseño del sistema en la

siguiente fase, con un enfoque en optimizar la experiencia del usuario y asegurar que el sistema pueda ser útil y viable para el manejo de la EPOC.

La Fase dos se enfoca en el diseño y prototipado del sistema de alerta, aplicando los conocimientos y hallazgos obtenidos en la fase teórica. En esta etapa, se desarrollará un prototipo complementario inicial que incorpore sensores de luz y sonido, los cuales estarán estratégicamente ubicados para detectar cuando el medicamento esté completamente agotado. El diseño buscará asegurar que el sistema sea intuitivo y accesible, teniendo en cuenta las necesidades específicas de los pacientes con EPOC. Por ello, se aplicarán los principios de diseño centrado en el usuario revisados en la primera fase, prestando especial atención a la simplicidad del sistema, su funcionalidad y la claridad de sus alertas visuales y auditivas. Al implementar estos componentes, el objetivo es crear un sistema complementario de alerta accesible incluso para pacientes con discapacidades sensoriales o limitaciones físicas, minimizando la posibilidad de errores en el uso del inhalador y promoviendo la adherencia al tratamiento.

El método empleado en este estudio combina técnicas de diseño, prototipado y evaluación para desarrollar un sistema de alerta que sea efectivo, fácil de usar y aceptable para los pacientes. Se espera que los resultados de este estudio contribuyan a mejorar la gestión de la EPOC y la calidad de vida de los pacientes que utilizan inhaladores en polvo.

2. Planteamiento del problema

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es una condición médica crónica y progresiva que afecta a millones de personas en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la EPOC es la tercera causa principal de muerte en todo el mundo, con más de tres millones de fallecimientos anuales. Esta enfermedad se caracteriza por la

obstrucción de las vías respiratorias, lo que puede llevar a síntomas como disnea, tos y expectoración.

Históricamente, los inhaladores eran aparatos sencillos que suministraban una dosis constante de fármaco a través de un mecanismo de liberación sencillo. A pesar de su utilidad, estos primeros aparatos presentaban restricciones importantes, incluyendo la falta de exactitud en la dosificación y la complejidad de manejo para los pacientes, en particular aquellos que necesitaban métodos específicos de inhalación para potenciar la efectividad del fármaco. La ausencia de regulación en la administración del medicamento a menudo conducía a dosis insuficientes o excesivas, lo que impactaba el manejo de afecciones como el asma y la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC).

Con el progreso tecnológico, los inhaladores han sufrido una transformación significativa que ha facilitado la creación de aparatos más avanzados y ajustados a las necesidades particulares de cada paciente. En la actualidad, existen inhaladores de alta precisión que facilitan una dosificación más precisa y, además, son más sencillos de usar. Dentro de estos, los inhaladores de polvo seco y los de aerosol constituyen un avance considerable en cuanto a eficacia y seguridad en el tratamiento. Por ejemplo, los inhaladores de polvo seco liberan la dosis a través de la inhalación rápida del paciente, lo que suprime la necesidad de coordinar el disparo del inhalador con la respiración, un obstáculo habitual en los aparatos más antiguos. Los inhaladores de aerosol, por otro lado, han mejorado en diseño y tecnología, permitiendo una liberación más lenta y controlada del fármaco que facilita la absorción en las vías respiratorias.

Pese a estos progresos, el cumplimiento del tratamiento continúa siendo un reto significativo en la asistencia sanitaria. Las bajas tasas de cumplimiento son problemáticas, dado que ponen en riesgo la eficacia del tratamiento y pueden desencadenar complicaciones serias,

como el empeoramiento de los síntomas respiratorios y una disminución de la calidad de vida en los pacientes. La ausencia de adherencia se atribuye a diversos factores. La complejidad de ciertos protocolos de tratamiento, en particular aquellos que demandan la utilización de varios aparatos o un método de inhalación particular, puede desmotivar a los pacientes. La falta de entendimiento acerca de la relevancia del tratamiento también es un elemento crucial, dado que algunos pacientes no están totalmente al tanto del efecto de una administración irregular o incorrecta del fármaco.

Los pacientes con EPOC necesitan terapias altamente personalizadas para atender sus requerimientos específicos y mejorar los resultados de su tratamiento. Este tratamiento personalizado generalmente comprende una mezcla de varios fármacos y aparatos, tales como inhaladores, broncodilatadores y corticosteroides, cada uno con un objetivo particular en la administración de la enfermedad. Los broncodilatadores contribuyen a la apertura de las vías respiratorias, mientras que los corticosteroides regulan la inflamación. En conjunto, ambos contribuyen a regular los síntomas respiratorios y evitar agravamientos. No obstante, debido a la diversidad de aparatos y la regularidad en su administración, el protocolo de tratamiento puede ser complicado y agobiante para los pacientes. Esta complejidad incrementa la posibilidad de equivocaciones en la dosificación y en el cumplimiento del tratamiento, lo cual puede limitar su eficacia y llevar a una progresión más rápida de la enfermedad.

La implementación de un sistema complementario de alerta para la dosificación efectiva de inhaladores podría ser una solución efectiva para abordar este problema. La tecnología actual permite desarrollar dispositivos de alerta personalizado y efectivo que pueden recordar a los pacientes la dosificación correcta y oportuna de inhaladores. Este sistema podría mejorar significativamente la adherencia al tratamiento, no solo mejoraría la adherencia, sino que

también reduciría el estrés y la ansiedad asociados con la gestión de un régimen de tratamiento complejo. En última instancia, un sistema de alerta de este tipo podría tener un impacto positivo en la calidad de vida de los pacientes con EPOC al disminuir las complicaciones, mejorar el control de los síntomas y reducir la frecuencia de exacerbaciones. Esta tecnología podría ser especialmente valiosa para pacientes mayores o aquellos con problemas de memoria o habilidades motoras limitadas, ya que facilita la gestión autónoma del tratamiento y reduce su dependencia de los cuidadores.

Cabe destacar que la implementación de un sistema de alerta podría tener más beneficios adicionales para el sector salud, como mejorar la comunicación entre pacientes y proveedores de atención médica, reducir los costos asociados con la atención médica, mejorar la salud y bienestar general de los pacientes con EPOC, proporcionar información valiosa para los investigadores y clínicos sobre la efectividad del tratamiento, y ayudar a identificar áreas de mejora en la atención médica para pacientes con EPOC.

La necesidad de un sistema complementario de alerta para la dosificación efectiva de inhaladores en pacientes con EPOC es evidente. La combinación de la complejidad del régimen de tratamiento, la falta de adherencia y la disponibilidad de tecnología avanzada hace que este sistema sea una solución necesaria y oportuna.

La implementación de este sistema podría tener un impacto significativo en la atención médica, mejorando la salud y bienestar de los pacientes con EPOC. Es importante que los investigadores, clínicos y proveedores de atención médica trabajen juntos para desarrollar e implementar este sistema y así mejorar la calidad de vida de los pacientes con EPOC. El uso incorrecto de inhaladores en pacientes con enfermedades respiratorias crónicas es un problema complejo que involucra factores educativos, cognitivos y técnicos. Por ejemplo, la dificultad para

coordinar la inhalación con la activación del dispositivo o la falta de conocimiento sobre la técnica correcta pueden limitar la efectividad del tratamiento y agravar los síntomas respiratorios. La implementación de un sistema de alerta ayudaría a los pacientes a cumplir con la dosificación de manera más precisa, lo cual es esencial para maximizar los beneficios del tratamiento y minimizar los riesgos de efectos secundarios o de progresión de la enfermedad.

¿Podría diseñarse un sistema complementario mediante un dispositivo de alerta para la dosificación efectiva de inhaladores en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica EPOC, que permita optimizar la adherencia al tratamiento, reduciendo el riesgo de complicaciones y mejorando la calidad de vida de los pacientes?

3. Justificación

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es una afección crónica que afecta las vías respiratorias, causando una obstrucción persistente debido a la presencia de enfisema, bronquitis obstructiva crónica o ambas, lo que dificulta la respiración y puede afectar significativamente la calidad de vida. (Robert A. Wise, 2024)

Las personas diagnosticadas con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) requieren un enfoque integral y multidisciplinario para manejar su condición, debido a la complejidad y progresividad de la enfermedad. La EPOC no solo afecta el sistema respiratorio, sino que impacta de manera significativa la calidad de vida del paciente, por lo que el tratamiento debe abordar múltiples aspectos de la salud del individuo. Con este fin, los pacientes suelen recurrir a una combinación de terapias y tratamientos diseñados para disminuir los síntomas, retrasar la progresión de la enfermedad y reducir el riesgo de exacerbaciones graves.

Entre las opciones de tratamiento más comunes se encuentran los tratamientos farmacológicos, que incluyen medicamentos orales (como las pastillas broncodilatadoras o

antiinflamatorias) que ayudan a controlar los síntomas y a mejorar la capacidad respiratoria. Adicionalmente, se recomienda la rehabilitación pulmonar, un programa que combina ejercicios específicos, educación y apoyo nutricional, diseñado para fortalecer la resistencia física del paciente y mejorar su función pulmonar. Una dieta nutritiva también es crucial, ya que ayuda a mantener un peso saludable y fortalece el sistema inmunológico, lo cual es esencial en la EPOC.

Los inhaladores juegan un papel fundamental en el manejo de la EPOC, y estos pueden variar en función de su tipo y combinación de medicamentos. Por ejemplo, los inhaladores combinados, que mezclan broncodilatadores y corticoides, ayudan a relajar las vías respiratorias y a reducir la inflamación. Otros inhaladores en polvo permiten una administración más controlada del medicamento, facilitando la adherencia al tratamiento al ser relativamente fáciles de usar. Estos tratamientos integrados buscan no solo mejorar la calidad de vida de los pacientes, sino también reducir la gravedad y frecuencia de los síntomas respiratorios asociados a la EPOC, promoviendo así una gestión de la enfermedad más efectiva y autónoma.

Un inhalador de polvo seco es un dispositivo manual que envía una dosis de medicamento en forma de polvo al inhalarlo. Usted inhala el medicamento profundamente hacia los pulmones para abrir sus vías respiratorias (drugs, 2024). Este dispositivo médico es utilizado para administrar medicamentos en forma de polvo seco a pacientes con enfermedades respiratorias tales como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

El inhalador actual presenta ciertas limitaciones que afectan la eficacia de la administración de medicamentos y la comodidad del paciente al utilizarlo. La falta de visualización para detectar el vacío de la cápsula en los inhaladores de polvo seco puede ser especialmente desafiante para tanto personas mayores, como para pacientes con discapacidad sensorial. Esta dificultad puede afectar negativamente la eficacia del tratamiento y la calidad de

vida de los pacientes. Por lo tanto, es importante realizar mejoras en la experiencia del usuario para garantizar un uso adecuado del inhalador y maximizar los beneficios del tratamiento.

La necesidad de mejorar la adherencia al tratamiento de los pacientes con EPOC resalta la importancia de desarrollar un sistema de alerta complementario que optimice la dosificación efectiva de los inhaladores. En muchos casos, los pacientes enfrentan dificultades para recordar el momento adecuado para reponer el medicamento o reconocer cuándo este se ha agotado, lo que afecta la continuidad del tratamiento y la eficacia de los fármacos prescritos. Un sistema de alerta que ofrezca recordatorios específicos sobre la administración del medicamento puede no solo ayudar en la dosificación correcta, sino también simplificar la comprensión del tratamiento al brindar instrucciones claras y accesibles. Además, reduciría la carga emocional relacionada con la gestión del tratamiento, disminuyendo el estrés y la ansiedad que muchos pacientes experimentan debido a la falta de claridad en la administración del inhalador.

La implementación de este sistema puede traer importantes beneficios a nivel clínico y personal, ya que contribuiría a mejorar la adherencia al tratamiento y a minimizar los errores en la dosificación del medicamento. Esto podría tener un impacto directo en la calidad de vida de los pacientes al reducir la frecuencia de exacerbaciones y hospitalizaciones, y al mejorar su capacidad funcional y física para llevar a cabo actividades diarias con mayor autonomía. Asimismo, podría aliviar el malestar emocional relacionado con la gestión de la enfermedad, al ofrecer a los pacientes una mayor seguridad y control sobre su tratamiento.

Una mejora en la adherencia y precisión en la administración de los medicamentos también podría reflejarse en una mejor función pulmonar, lo que permitiría a los pacientes experimentar menos síntomas y disfrutar de un mayor bienestar general. En conjunto, este sistema de alerta no solo representa una herramienta para un manejo más eficaz de la

enfermedad, sino también una oportunidad para optimizar el bienestar físico y emocional de los pacientes con EPOC.

Desde una perspectiva de atención médica, el sistema promovería una perspectiva más preventiva y menos reactiva en la gestión de la EPOC, posibilitando que los profesionales de la salud intervengan con anticipación para adaptar el tratamiento a las necesidades de los pacientes. Esta transición hacia un cuidado más proactivo podría potenciar la gestión de los síntomas y disminuir la cantidad de internaciones prolongadas. Adicionalmente, ayudaría a mantener el sistema sanitario a largo plazo, reduciendo la necesidad de servicios de urgencias y hospitalización frecuente para el control de esta enfermedad.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema complementario mediante un dispositivo de alerta para la dosificación efectiva de inhaladores en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica EPOC, optimizando la adherencia al tratamiento, reduciendo el riesgo de complicaciones y mejorando la calidad de vida de los pacientes.

4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las características y necesidades específicas de los pacientes con EPOC que pueden influir la adherencia al tratamiento con inhaladores estableciendo así un perfil de usuario para guiar el diseño del sistema.
- Determinar la funcionalidad con diferentes sistemas operativos para seleccionar los dispositivos adecuados para el diseño del sistema.
- Establecer la arquitectura del sistema y sus componentes que permitan su correcto funcionamiento e integración con los inhaladores.

5. Marco referencial

A continuación, se presenta una descripción del marco referencial, que incluye la base teórica y el contexto necesario para fundamentar el diseño del sistema y su elección en concordancia con los objetivos previamente establecidos en este proyecto.

5.1. Marco teórico

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es una condición inflamatoria persistente de los pulmones que conduce a la obstrucción del flujo de aire. Los signos abarcan dificultad respiratoria, tos, producción de moco (esputo) y sibilancias. En su mayoría, se origina por la exposición prolongada a sustancias irritantes, principalmente el humo del tabaco, aumentando el riesgo de enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón y otras afecciones. (Clinic, 2021)

En el año 2019, las infecciones pulmonares, como la neumonía, representaron el grupo más letal de enfermedades transmisibles y se situaron como la cuarta causa principal de mortalidad. Sin embargo, en comparación con el año 2000, estas infecciones han cobrado menos vidas, ya que el número global de muertes por esta razón ha descendido en cerca de medio millón. (OPS, 2020)

Los síntomas de la EPOC pueden empeorar rápidamente. Estos ataques, llamados exacerbaciones, suelen durar unos días y a menudo requieren medicación adicional. Las personas con EPOC tienen un mayor riesgo de sufrir otros problemas de salud, como infecciones pulmonares como la gripe o la neumonía, cáncer, enfermedades cardíacas, debilidad muscular y osteoporosis, depresión y ansiedad, entre otras patologías. (Salud, 2023)

El Estudio de Prevalencia de EPOC en Colombia - PREPOCOL (2005) realizado por la Fundación Colombiana del Pulmón determinó que 9 de cada 100 personas mayores de 40 años

en todo el país padecen EPOC (8,5% Bogotá, Barranquilla 6,2%, Bucaramanga 7,9%). Cali 8,5% y Medellín 13,5%.

La variación en la prevalencia entre ciudades está directamente relacionada con la proporción de fumadores en cada ciudad, que oscila entre el 14% en Barranquilla y el 29% en Medellín, y esta proporción está aumentando, principalmente entre los niños más jóvenes en edad escolar. Según datos de mortalidad proporcionados por el Departamento Nacional de Estadística y Gestión (DANE), alrededor de 4.500 del total de muertes en Colombia en 2010 estuvieron relacionadas con enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores causadas por el consumo de tabaco, incluida la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. (Minsalud, s.f.)

5.1.1 Epidemiología

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) representa un desafío significativo en términos de recursos sanitarios y económicos, convirtiéndose en una preocupación global en la actualidad. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que para el año 2030, la EPOC será la cuarta causa principal de mortalidad a nivel mundial debido a la exposición continua a los factores de riesgo y al envejecimiento de la población. (Vasquez, Marquez, & Romero, 2020)

La prevalencia de la EPOC varía según la región geográfica y los métodos de diagnóstico empleados. Tradicionalmente, la enfermedad afecta más a hombres que a mujeres, pero es fundamental tener en cuenta los diferentes factores de riesgo a los que están expuestas las mujeres en distintos contextos. El aumento del hábito de fumar en mujeres y la exposición a productos de combustión de biomasa son factores importantes para considerar en el aumento alarmante de la prevalencia de la EPOC en este grupo. (Luna, 2021)

Se han realizado varios estudios para determinar la prevalencia mundial de la EPOC, como el de Halbert y su equipo de trabajo, quienes encontraron una prevalencia en adultos mayores de 40 años de 9 a 10%; sus resultados estuvieron basados en estimaciones espirométricas⁴. Adeloye y colaboradores realizaron un metanálisis a nivel global, utilizando datos basados en espirometría, y estimaron una prevalencia del 10.7% (7.3 a 14%) en 1990 y el 11.7% (8.4 a 15.0%) en 2010, correspondientes a 227 y 384 millones de casos afectados. (Ubaldo Reyes, 2021)

5.1.2 Factores de riesgo

En todo el mundo, el factor de riesgo más común de EPOC es fumar. Los no fumadores también pueden tener EPOC. La EPOC es el resultado de una interacción compleja de exposición acumulativa a largo plazo a gases y partículas tóxicas combinada con varios factores físicos, incluida la genética, la hiperreactividad de las vías respiratorias y el desarrollo deficiente del asma durante la infancia (Wise, Manual MSD, 2024). El riesgo de desarrollar EPOC está relacionado con los siguientes factores:

5.1.2.1. Humo de cigarrillo.

Ilustración 1: *El humo en las células pulmonares*



Fuente: (TopDoctors, 2024)

Los fumadores de cigarrillos tienen una mayor incidencia de síntomas respiratorios y deterioro de la función pulmonar, una mayor disminución anual del FEV1 y una mayor tasa de mortalidad por EPOC que los no fumadores. Otros tipos de tabaco (por ejemplo: ej., pipas, puros, narguiles), así como marihuana. "son factores de riesgo para la EPOC, al igual que el humo del tabaco ambiental (HTA). (American Cancer Society, 2020)

5.1.2.2. Contaminación del aire interior.

Ilustración 2: *El aire en el "hogar"*



Fuente: (elSol, 2021)

La contaminación del aire interior por la quema de madera y otros combustibles de biomasa para cocinar y calentar en hogares con mala ventilación es un factor de riesgo que afecta especialmente a las mujeres en los países en desarrollo. La investigación sobre la EPOC relacionada con la biomasa es limitada, aunque hay poca evidencia procedente de estudios observacionales de que cambiar a combustibles de cocina más limpios o reducir la exposición pueda reducir el riesgo de desarrollar la enfermedad en los no fumadores.

5.1.2.3. Exposición profesional.

Ilustración 3: *Exposición a Humo en el trabajo*



Fuente: (Martinez, 2023)

Las exposiciones ocupacionales, incluidos polvos, productos químicos y humos orgánicos e inorgánicos, son factores de riesgo subestimados para el desarrollo de la EPOC. Las personas expuestas a altas dosis de pesticidas tienen un mayor riesgo de sufrir síntomas respiratorios, obstrucción de las vías respiratorias y EPOC.

5.1.2.4. Exposición ocupacional a polvos y sustancias químicas. La exposición a largo plazo a los gases de sustancias químicas y al polvo en el lugar de trabajo puede irritar e inflamar los pulmones. (Clinic, 2021)

5.1.2.5. Contaminación del aire exterior:

Ilustración 4: *la contaminación del aire*



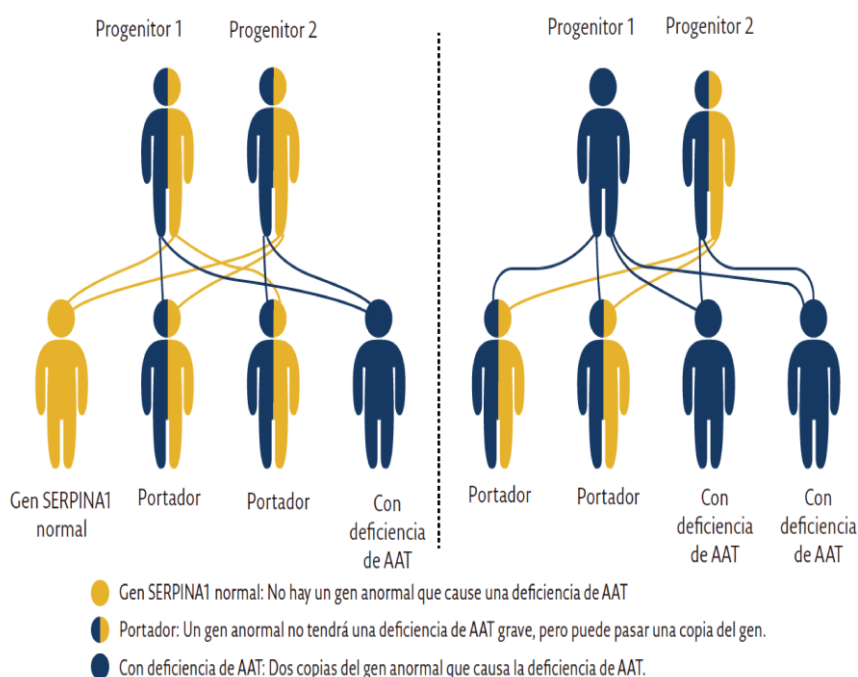
Fuente: (Essik, 2024)

La contaminación del aire exterior también aumenta la carga pulmonar total de partículas inhaladas, aunque el efecto parece ser relativamente pequeño, es una causa menor de EPOC. Existe una correlación significativa entre los niveles de partículas suspendidas en el medio ambiente y la incidencia de enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

5.1.2.6. Factores genéticos:

Ilustración 5: Deficiencia de alfa-1 antitripsina

Cómo la AATD se pasa de padres a hijos



Fuente: (ELF, 2024)

La deficiencia de alfa-1 antitripsina es un trastorno genético poco común que puede ser la causa de alrededor del 1% de los casos de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (Clinic, 2021).

“La alfa-1-antitripsina es una enzima producida por el hígado, cuya función es inhibir la acción de otras enzimas denominadas proteasas. Las proteasas descomponen las proteínas, tal

como es habitual en la reparación tisular. La alfa-1-antitripsina protege los pulmones de los efectos destructivos de estas proteasas.

El déficit de alfa-1-antitripsina se produce por la herencia de una mutación en el gen que controla la producción y liberación de la enzima. Hay muchos subtipos de deficiencia de alfa-1-antitripsina, pero en todos ellos los niveles de enzima activa en la sangre son insuficientes o la enzima es estructuralmente anormal (lo que afecta a su función), o bien se dan ambas circunstancias a la vez. Las personas de ascendencia procedente del norte de Europa se ven afectadas con más frecuencia que las personas de ascendencia africana, asiática o hispana” (Robert A. Wise, 2024)

5.1.3 Síntomas

Los síntomas de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica suelen manifestarse una vez que se ha causado un daño pulmonar considerable y tienden a empeorar con el tiempo. Especialmente si no se tiene el cuidado necesario y la importancia de seguir las indicaciones médicas y realizar un seguimiento continuo.

Los indicios y manifestaciones de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica pueden abarcar los siguientes:

Primero el desarrollo de tos crónica suele ser el primer síntoma que aparece en los enfermos de EPOC, pasando inadvertida en la mayoría de los casos ya que se suele justificar por el resultado de los años de consumo de tabaco, la propia edad, exposición a contaminación ambiental...etc. (Vasquez, Marquez, & Romero, 2020) Otras manifestaciones serian falta de aire, especialmente durante la actividad física; sibilancia; opresión del pecho; una tos crónica que puede producir mucosidad (esputo) que puede ser clara, blanca, amarilla o verdosa; Infecciones

respiratorias frecuentes; falta de energía y pérdida de peso involuntaria (en etapas posteriores).
(Clinic, 2021)

5.1.4 Diagnostico

Para diagnosticar la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), el médico realiza un análisis de los antecedentes del paciente, tanto médicos como familiares, y discute cualquier exposición a irritantes pulmonares, especialmente al humo de cigarrillo. El medico encargado puede solicitar varias pruebas para diagnosticar la enfermedad como:

- Pruebas de la función pulmonar. Estas pruebas miden la cantidad de aire que puedan inhalar y exhalar, y si los pulmones suministran suficiente oxígeno a la sangre.
- Rayos X del tórax. Los exámenes de imagen como la radiografía de tórax pueden mostrar signos de enfisema, una causa principal de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Además, los rayos X pueden descartar otros problemas pulmonares o insuficiencia cardíaca.
- Tomografía computarizada. La tomografía computarizada de los pulmones puede ayudar a detectar el enfisema y determinar si la cirugía para la enfermedad pulmonar obstructiva crónica podría ser una buena opción para ti. Las tomografías computarizadas también pueden usarse para detectar el cáncer de pulmón.
- Análisis de gas de la sangre arterial. Este análisis de sangre mide lo bien que los pulmones llevan el oxígeno a la sangre y eliminan el dióxido de carbono.
- Pruebas de laboratorio. Las pruebas de laboratorio no se usan para diagnosticar la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, pero pueden usarse para determinar la causa de tus síntomas o descartar otras afecciones.

Estas pruebas son de crucial importancia, para el diagnóstico de la enfermedad, y como permiten o ayudan a determinar a los profesionales de la salud el mejor enfoque para el tratamiento de cada paciente. (Clinic, 2021)

5.1.5 Espirometría.

La espirometría, examen fundamental para evaluar y monitorear las enfermedades respiratorias, es una prueba fácil de realizar y no invasiva. Además, es la medición más confiable y precisa de la obstrucción del flujo de aire.

Ilustración 6: Espirometría



Nota: técnica basada en inhalar y exhalar determinando su velocidad de respiración. (Santos)

Las variables clave de la espirometría son la capacidad vital máxima (CVM) y el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1). La CVM indica la mayor cantidad de aire que se puede exhalar con un esfuerzo máximo después de una inhalación profunda, y se mide en litros. El VEF1, por otro lado, indica la mayor cantidad de aire que se puede exhalar en el primer segundo de la maniobra de CVM, también en litros. La relación VEF1/CVM muestra la conexión entre ambas variables. Se puede realizar una espirometría después de administrar una dosis de un broncodilatador de acción rápida inhalado, lo que reduce la variabilidad.

Si el valor si el del volumen espiratorio máximo en un segundo entre la capacidad vital forzada FEV1/CVM después del broncodilatador es menor a 0.70, se confirma la presencia de una obstrucción persistente del flujo de aire. Atendiendo a la variable que miden, se distinguen dos tipos de espirómetros: Espirómetros volumétricos: Miden la cantidad de aire que se exhala, Espirómetros de flujo: Miden la velocidad a la que se expulsa el aire.

En la actualidad, los espirómetros de flujo son los más utilizados. (Perez, 2016)

5.1.6 Clasificación de la enfermedad

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) puede clasificarse en diferentes niveles de gravedad, tomando como referencia la **obstrucción del flujo aéreo**. Para ello, se utilizan **valores específicos** obtenidos en una prueba llamada **espirometría** (ver tabla 1). **Es importante mencionar que la relación entre el FEV1 (volumen espiratorio forzado en el primer segundo)**, los síntomas que presenta el paciente y su estado de salud general **no siempre es directa**. En otras palabras, puede haber casos con un FEV1 bajo y síntomas leves, o viceversa. (salabertortolo, 2019)

Tabla 1: Clasificación de la gravedad de la limitación del flujo aéreo de la EPOC

En pacientes con un valor de $Fev_1/FVC < 0.70$		
GOLD 1	Leve	$Fev_1 \geq 80\%$ del valor predicho
GOLD 2	Moderada	$50\% \leq Fev_1 < 80\%$ del valor predicho
GOLD 3	Grave	$30\% \leq Fev_1 < 50\%$ del valor predicho
GOLD 4	Muy grave	$Fev_1 < 30\%$ del valor predicho

Nota: Esta tabla está basada en los parámetros utilizados en la Espirometría para medir la función pulmonar. (Wise, 2024)

5.1.7 Tratamiento

Los pacientes con EPOC presentan una gran diversidad, lo que hace necesario un tratamiento farmacológico personalizado. Los medicamentos empleados en la EPOC disminuyen los síntomas, la frecuencia y la gravedad de las agudizaciones. Sin embargo, hasta ahora no existe ningún medicamento que modifique el deterioro a largo plazo de la función pulmonar. Las medicaciones más utilizadas son los broncodilatadores, agonistas beta 2, antimuscarínicos, metilxantinas, corticosteroides o terapias combinadas con estos fármacos. Recientemente se han investigado nuevas estrategias para abordar el proceso inflamatorio presente en la EPOC. Una de las opciones aprobadas es la inhibición de la fosfodiesterasa tipo 4 (PDE4).

Las PDE son una familia de enzimas que desactivan los nucleótidos cíclicos adenosín monofosfato (AMPc) y guanosín monofosfato (GMPc). Estas enzimas regulan la concentración de estos nucleótidos y su actividad en las cadenas de señalización intracelular. La fosforilación de las PDE favorece la transcripción de cAMP, lo que induce la síntesis de citocinas antiinflamatorias y la inhibición indirecta del factor de transcripción nuclear kappa β (NF- $\kappa\beta$). Las bajas concentraciones de AMPc estimulan la inflamación al aumentar la producción de IL-8, 12, 17, 22, 23, factor de necrosis tumoral alfa, interferón gamma, CXCL9 y 10. Por otro lado, cuando la concentración de AMPc aumenta, se induce una respuesta antiinflamatoria mediada por la producción de citocinas antiinflamatorias como IL-6 e IL-10. (Vogelmeier, 2017)

La terapia inhalatoria es un tipo de tratamiento muy importante en personas diagnosticada con enfermedad obstructiva crónica (EPOC), ya que permite una administración del medicamento más eficaz. Este método de tratamiento es especialmente valioso porque maximiza la concentración del fármaco en las vías respiratorias, lo que ayuda a aliviar los síntomas y mejorar la función pulmonar con una menor cantidad de medicamento en comparación con otras

vías de administración, como la oral., existen varios tipos de inhaladores como son: Inhaladores en cartuchos presurizados, Sistema de niebla fina (Respimat®), Dispositivos de polvo seco y Nebulizadores. (A. Viejo-Casas, 2015)

5.1.7.1 Tipos de inhaladores

5.1.7.2 Los Inhaladores en Cartucho Presurizado (ICP o MDI)

Almacenan el medicamento en suspensión dentro de un cartucho hermético con una válvula en la base. Al presionar el cartucho, se libera una dosis precisa de medicamento en forma de aerosol, impulsada por un propelente. La efectividad del dispositivo requiere una coordinación precisa entre la maniobra de presión y la velocidad de inhalación (quirosalud, 2024).

- ***Tipos de inhaladores de ICP***
 - Inhalador convencional

Ilustración 7: Inhaladores tradicionales



Fuente: (Osakidetza, 2016)

En esta clase de inhaladores, el fármaco está dispuesto en un gas. Son aparatos pequeños y ligeros, que se pueden conectar con facilidad a cámaras de inhalación. (Osakidetza, 2016)

- Inhaladores de partículas extrafinas

Ilustración 8: Inhaladores de partículas extrafinas (Modulite®, Alvesco®):



Fuente: (Osakidetza, 2016)

Estos aparatos emiten el medicamento en forma de partículas extremadamente pequeñas, creando un aerosol de liberación gradual. Esto favorece la coordinación del paciente durante el proceso de inhalación, lo que conduce a una mayor concentración del medicamento en los pulmones y disminuye su contacto con la orofaringe. Además, no necesitan una coordinación exacta entre la liberación del fármaco y la inspiración. El medicamento se presenta en forma de solución, lo que suprime la necesidad de agitar el aparato antes de su empleo. (Osakidetza, 2016)

- Inhalador de niebla fina

Ilustración 9: Respimat®



Fuente: (Echave)

Este dispositivo produce una suave nube de vapor, que no contiene propelentes y se expulsa a baja velocidad. (Osakidetza, 2016)

➤ Inhaladores de autodisparo

Ilustración 10: *Easybreath*®



Fuente: (Osakidetza, 2016)

Estos inhaladores cuentan con una válvula que permite la emisión del aerosol al ser activados por la inspiración del paciente, lo que elimina la necesidad de coordinar la inhalación con la pulsación del dispositivo. Son dispositivos compactos que no permiten extraer el cartucho dosificador. Su diseño facilita su uso en niños y personas mayores, así como en pacientes con limitaciones funcionales, aunque suelen ser más voluminosos. (Osakidetza, 2016)

➤ Inhaladores con espaciador incorporado:

Ilustración 11: *Ribujet*®



Fuente: (Osakidetza, 2016)

Este tipo de dispositivo incluye un cartucho con un espaciador circular de pequeño volumen. Carece de válvula y funciona de manera similar a un cartucho presurizado convencional con cámara de inhalación.

Tabla 2: Ventajas y desventajas del Ribujet

Ventajas	Desventajas
Resistente a la humedad	Dificultad de coordinación entre la pulsación y la inspiración
Limpieza sencilla	Necesitan propelentes
Permite percibir la inhalación	Potencial efecto irritante
No requiere flujos inspiratorios altos (<math><20,1/\text{min}</math>)	Alto depósito orofaríngeo
No tiene lactosa	Efectos adversos (disfonía y candidiasis)
Ligero y portátil	

Fuente: (Vademecum, 2017)

5.1.7.3 Cámaras de inhalación

Ilustración 12: Espaciadores



Fuente: (Aerolms, 2020)

Las cámaras de inhalación, también conocidas como espaciadores, son dispositivos colocados entre el cartucho presurizado del inhalador y la boca del paciente, diseñados para facilitar la técnica de inhalación y aumentar su efectividad. Estas cámaras suelen incorporar una o dos válvulas unidireccionales, lo que permite que las partículas del aerosol permanezcan en suspensión dentro del dispositivo, de modo que el paciente pueda inhalarlas sin tener que sincronizar la activación del inhalador con la inspiración. Además, las cámaras capturan las partículas de mayor tamaño del fármaco, que de otro modo se depositarían en la orofaringe, reduciendo así la absorción a nivel oral y gastrointestinal. Esto disminuye la cantidad de medicamento que entra en circulación sistémica y, en consecuencia, los efectos secundarios tanto locales como sistémicos. (Osakidetza, 2016)

Tabla 3: Ventajas y desventajas de las cámaras de inhalación

Ventajas	Desventajas
No precisan coordinación entre pulsación e inhalación Al enlentecer el flujo y disminuir el tamaño de las partículas, el depósito pulmonar aumenta al 20%. Anular el efecto Freon-Frío, al disminuir el impacto de las partículas en la orofaringe	No todas tienen compatibilidad con los diversos ICL Dificultad de manejo y transporte (algunas)

Fuente: (Lopez, 2019)

5.1.7.4 Inhaladores de polvo seco (IPS)

Surgen como opción frente a los ICP para resolver las dificultades de coordinación entre la activación del dispositivo y la puesta en marcha de esta respiración. Obtienen polvos micronizados activados por el flujo inspiratorio del paciente, carecen de propelentes y se obtienen al liberarse polvos micronizados un adecuado reservorio pulmonar. (Osakidetza, 2016)

- ***Tipos de inhaladores***
- Inhaladores de unidosis:

Ilustración 13: *Aerolizer®*, *Breezhaler®*, *Handihaler®*



Fuente: (Boquet)

Estos dispositivos contienen el medicamento en cápsulas individuales, cada una con una dosis única de fármaco. Para su uso, el paciente inserta manualmente la cápsula en el compartimento del inhalador, donde se perfora al activar el mecanismo. Dado que requieren flujos inspiratorios más altos en comparación con los sistemas de multidosis, es fundamental que la inhalación sea profunda o que el paciente realice dos inhalaciones sucesivas para asegurar una administración adecuada del medicamento. (Osakidetza, 2016)

➤ Inhaladores de multidosis predosificados:

Ilustración 14: *Accuhaler®*, *Ellipta®*, *Forspiro®*



Fuente: (Serrano, 2011)

En estos inhaladores, el medicamento se presenta en dosis separadas, ubicadas en pequeños compartimentos llamados alveolos, que están integrados en tiras de aluminio o unidades portadoras. Al activar el dispositivo, se destapan o perforan

los alveolos, lo que permite la liberación de la dosis durante la inhalación. Estos dispositivos también cuentan con un contador de dosis para que el paciente pueda saber cuántas dosis le quedan disponibles. (Osakidetza, 2016)

➤ Inhaladores de multidosis con depósito:

Ilustración 15: *Easyhaler®*, *Genuair®*, *NEXThaler®*, *Novolizer®*, *Spiromax®*, *Turbuhaler®*, *Twisthaler®*



Fuente: (Boquet)

En este tipo de inhaladores, el medicamento se encuentra en un depósito dentro del dispositivo, y una dosis se administra a través de un mecanismo dosificador en cada uso. Tienen una gran capacidad de almacenamiento, lo que permite una mayor cantidad de dosis en comparación con los sistemas predosificados. Sin embargo, son menos resistentes a la humedad ambiental. Al igual que los dispositivos predosificados, estos inhaladores cuentan con un contador de dosis para controlar el uso del medicamento. (Osakidetza, 2016)

5.2. Estado Del Arte

La presente revisión sistemática del estado del arte se centra en la temática de los inhaladores y su adherencia al tratamiento en la población general, incluyendo personas con discapacidades sensoriales. Se examinan las investigaciones y hallazgos relevantes en relación con la efectividad, seguridad y usabilidad de los inhaladores, así como los factores que influyen en la adherencia al tratamiento, incluyendo la accesibilidad y la adaptabilidad para personas con

necesidades especiales. Se busca identificar las brechas en la investigación y las oportunidades para mejorar la adherencia al tratamiento y la calidad de vida de las personas que utilizan inhaladores.

5.2.1. Revisiones Internacionales

Adherencia y satisfacción del paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica desde la farmacia comunitaria (Maria jose Carpes, 2022)

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es una condición que afecta a millones de personas en todo el mundo. Sin embargo, numerosos estudios han demostrado que la EPOC está subdiagnosticada y mal controlada en muchos pacientes debido a una utilización inadecuada de la farmacoterapia. La falta de conocimiento de los pacientes sobre los medicamentos que utilizan puede ser un obstáculo para un tratamiento efectivo. En este contexto, la intervención del farmacéutico comunitario puede jugar un papel crucial en mejorar la adherencia al tratamiento y la satisfacción de los pacientes.

Este estudio observacional transversal se realizó en 105 pacientes con EPOC que utilizan inhaladores y acuden a la farmacia comunitaria. Se evaluó la adherencia al tratamiento mediante el test de Morisky-Green y se midió el grado de satisfacción de los pacientes con la intervención del farmacéutico.

Los resultados mostraron que solo el 60% de los pacientes presentaban adherencia al tratamiento. Sin embargo, se observó que la adherencia era mayor en mujeres y en pacientes de 65 años o más. En cuanto al grado de satisfacción, el 52,4% de los pacientes consideró que la intervención del farmacéutico fue adecuada, mientras que el 43,8% la consideró totalmente adecuada.

En conclusión, los pacientes con EPOC pueden beneficiarse de una mayor adherencia al tratamiento y de una mejor utilización de los inhaladores gracias a la intervención del farmacéutico comunitario. Es fundamental continuar investigando y mejorando las estrategias para aumentar la adherencia al tratamiento y la satisfacción de los pacientes con EPOC.

Velasco J, Bellver S, García J, Baixauli V, Alonso M, Cremades J. Proyecto revisa®. Servicio Revisión del Uso del medicamento (RUM). En busca del inhalador perfecto. Farm Comunitarios. 2022 Jun 15;14(Supl 1. Congreso SEFAC):242. doi: 10.33620/FC.2173-9218.(2022).CMC.256 (al, 2022)

Caso clínico: EPOC y adherencia al tratamiento

Un varón de 75 años, fumador y diagnosticado con EPOC, acude a la farmacia con un historial de tratamiento complejo. El paciente presenta confusión con los inhaladores y una técnica de inhalación deficiente.

Evaluación farmacoterapéutica: Se identifican cuatro inhaladores prescritos por diferentes médicos, lo que sugiere una falta de coordinación en el tratamiento. El paciente admite no entender cómo utilizar correctamente los inhaladores y muestra una técnica de inhalación inadecuada.

Intervención farmacéutica: Se deriva al paciente al médico de familia con un informe para reconsiderar el tratamiento. Se proporcionan instrucciones sobre la técnica de inhalación correcta y se enfatiza la importancia de dejar de fumar. Se ofrece el servicio de Cesación Tabáquica (CESAR) y se hacen recomendaciones para un estilo de vida saludable.

Seguimiento y resultado: Tras unas semanas, el paciente regresa con una nueva prescripción de Beclometasona/Formoterol/Glicopirronio ICP. Se repasa la técnica de inhalación

y se programa un seguimiento en unos meses. Tras tres meses, el control del EPOC del paciente mejora significativamente.

Conclusión: El Servicio RUM logra coordinar las prescripciones médicas y mejorar la adherencia al tratamiento del paciente. La intervención farmacéutica contribuye a una mejoría significativa en la condición respiratoria del paciente y sirve como puerta de entrada a otros servicios como la cesación tabáquica.

5.2.2. *Revisiones Nacionales*

Castrillón Spitia JD, Agudelo Ramírez A, Garzón Rojas AF, Arias Hernández C, Trejos Rojas CM, Restrepo Gaviria MM, et al. Uso de inhaladores para la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica en un grupo de pacientes colombianos (al., 2022)

En Colombia, la información sobre el uso de inhaladores en pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es limitada. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es describir la técnica de uso de inhaladores de dosis medida y polvo seco en pacientes de un hospital colombiano. Se realizó un estudio descriptivo en pacientes mayores de 40 años con EPOC atendido en un hospital en La Virginia, Risaralda, Colombia, entre el 1 de septiembre de 2019 y el 31 de enero de 2020. Se analizaron variables sociodemográficas, clínicas y de uso de inhaladores.

Se incluyeron 104 pacientes con una edad media de $73,6 \pm 10,1$ años; 57 eran mujeres (54,8%). Además, 48 pacientes estaban clasificados como GOLD-D (46,2%). La mayoría de los pacientes (85,6%) habían recibido educación sobre el uso de broncodilatadores. Los inhaladores de dosis medida fueron los más utilizados (91,3%), seguidos de los de polvo seco unidosis (7,7%). Sin embargo, un alto porcentaje de pacientes (35,6%) no cumplió con los pasos de la lista de chequeo para el uso de inhaladores de dosis medida.

Análisis de resultados: Aunque la mayoría de los pacientes habían recibido educación sobre el uso de broncodilatadores, se encontraron deficiencias en la técnica de uso de los inhaladores. El paso más frecuentemente omitido fue expulsar el aire lentamente evitando hacerlo cerca del inhalador (5,7%).

Conclusión: Este estudio destaca la necesidad de mejorar la educación y la técnica de uso de inhaladores en pacientes con EPOC. Un uso inadecuado de los dispositivos puede afectar negativamente el control de la enfermedad.

5.3. Marco conceptual

- **Accesibilidad:** Es una condición que deben cumplir todos los espacios, objetos y procedimientos de uso humano, en donde se basa en que todos ellos puedan ser recorridos, utilizados y/o comprendidos por cualquier persona, con independencia de sus capacidades o habilidades físicas, sensoriales y cognitivas. (accessibilias, 2021)
- **Tecnología asistida:** Es un producto utilizado para permitir a individuos con discapacidades o necesidades especiales verse involucrados en las mismas actividades de sus pares sin discapacidad. Es un producto que se ha fabricado, creado o diseñado teniendo en cuenta desde un principio las pautas de accesibilidad. (Borja, 2012)
- **La discapacidad sensorial:** Es un término que abarca un amplio espectro de limitaciones que afectan la capacidad de percibir el mundo que nos rodea a través de uno o varios de los sentidos como la vista, el oído, el tacto, el gusto o el olfato. (Fundación Caser, 2018)

- **Adherencia:** Es la acción de cumplir de manera consistente y precisa con las recomendaciones médicas y terapéuticas, incluyendo la toma de medicamentos, el seguimiento de dietas específicas y la asistencia a citas médicas. Es esencial para garantizar la efectividad de los tratamientos y la mejora de la salud. (Garcia, 2024)
- **Sensor:** Es un dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje analógico medible (o, a veces, una señal digital) convertido en una pantalla legible para humanos o transmitida para lectura o procesamiento adicional. (Smith, 2023)
- **Retroalimentación:** Es una herramienta esencial en la comunicación y el aprendizaje. Se trata de un intercambio de información que permite a las personas ajustar sus acciones y comportamientos en función de las observaciones y consejos recibidos. La retroalimentación puede ser tanto positiva como constructiva, y su objetivo es promover el crecimiento y la mejora personal o profesional. (Garcia, 2024)
- **Arduino Nano:** Es un microcontrolador programable de tamaño reducido y de uso sencillo, diseñado para generar proyectos electrónicos de forma fácil. Es un equipo perfecto para programadores y diseñadores de proyectos electrónicos, puesto que facilita la creación de proyectos de gran complejidad de manera simple y asequible. (informatica, 2023)
- **Buzzer:** Es un aparato transductor electroacústico que produce un sonido, ya sea constante o ocasional, al ser estimulado por una señal eléctrica. Son elementos esenciales en diversas áreas gracias a su habilidad para ofrecer advertencias

audibles y señales en contextos donde otras modalidades de alerta pueden resultar ineficientes. (Electronics, 2024)

- **Diodo laser:** Es un dispositivo láser semiconductor muy similar, tanto en su forma como en su funcionamiento, a un diodo emisor de luz LED. (center, 2024)
- **Led:** Es prácticamente un diodo semiconductor, que cuando se le aplica de 1.5 volts de corriente directa es capaz de emitir una radiación electromagnética que normalmente la conocemos como luz. (Mecafenix e. d., 2022)
- **Resistencia:** Es una de las propiedades eléctricas que se caracteriza por oponerse al flujo de la corriente. Es decir que, en un circuito o cualquier aplicación dificulta el paso de la corriente. (Mecafenix E. d., 2022)

5.4. Marco Legal

En el marco de esta investigación, es fundamental examinar y comprender la normativa existente que rodea el tema de estudio. Por consiguiente, citaré referencias importantes y relevantes de carácter constitucional, legal, reglamentario y conexo que se relacionan con un sistema de asistencia innovadora para mejorar la técnica de inhalación con Breezhaler en pacientes con EPOC. La normatividad sanitaria vigente establece requisitos que deben cumplir los fabricantes e importadores de dispositivos médicos, con el fin de asegurar que estos productos reúnen condiciones de calidad y seguridad.

5.4.1. Constitución política de Colombia

- **Art 49 Derecho a la Salud.**

La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud. Corresponde al Estado organizar, dirigir y reglamentar la prestación de

servicios de salud a los habitantes y de saneamiento ambiental conforme a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad. También, establecer las políticas para la prestación de servicios de salud por entidades privadas, y ejercer su vigilancia y control. Así mismo, establecer las competencias de la Nación, las entidades territoriales y los particulares, y determinar los aportes a su cargo en los términos y condiciones señalados en la ley. Los servicios de salud se organizarán en forma descentralizada, por niveles de atención y con participación de la comunidad. La ley señalará los términos en los cuales la atención básica para todos los habitantes será gratuita y obligatoria. Toda persona tiene el deber de procurar el cuidado integral de su salud y la de su comunidad. (Constitucion Politica de Colombia, 1991)

5.4.2. Resolución 4002 del 2007

Por la cual se adopta el Manual de Requisitos de Capacidad de Almacenamiento y/o Acondicionamiento para Dispositivos Médicos. Establece los requisitos que deben cumplir los establecimientos importadores que almacenen y/o acondicionen dispositivos médicos para uso humano, con el fin de garantizar que estos no alteren la calidad establecida por el fabricante. El cumplimiento de dichos requisitos le otorga a la autoridad sanitaria competente, el soporte técnico para expedir el Certificado de Capacidad de Almacenamiento y/o Acondicionamiento, CCAA.

Los establecimientos farmacéuticos mayoristas y minoristas que no importen dispositivos médicos, pero que tengan a su cargo el manejo de estos, se regirán por las disposiciones contempladas en el Modelo de Gestión de Servicios Farmacéuticos.

Los comercializadores que no importen y que estén dedicados exclusivamente a almacenar y distribuir dispositivos médicos no requieren del Certificado de Acondicionamiento y

Almacenamiento, CCAA; no obstante, serán objeto de vigilancia y control por parte de las Direcciones Territoriales de Salud. (Resolución 4002, 2007)

5.4.3. Decreto 4725 del 2005

Por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano. Tiene por objeto, regular el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria en lo relacionado con la producción, procesamiento, envase, empaque, almacenamiento, expendio, uso, importación, exportación, comercialización y mantenimiento de los dispositivos médicos para uso humano, los cuales serán de obligatorio cumplimiento por parte de todas las personas naturales o jurídicas que se dediquen a dichas actividades en el territorio nacional.

Parágrafo. Se exceptúan del cumplimiento de las disposiciones del presente decreto, los dispositivos médicos sobre medida y los reactivos de diagnóstico in vitro. (Decreto 4725, 2005)

6. Metodología

El desarrollo metodológico del sistema de asistencia inteligente para pacientes con EPOC ha sido un proceso iterativo y exhaustivo, que ha involucrado un análisis exhaustivo de los requisitos y necesidades de los pacientes con EPOC y de los profesionales de la salud, para determinar los objetivos y funcionalidades del sistema.

Posteriormente, se diseñó una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, que permita a los pacientes interactuar con el sistema de manera efectiva. Además, se desarrolló un algoritmo que pueda analizar los datos de inhalación y proporcionar retroalimentación personalizada a los pacientes. El sistema fue sometido a pruebas y validación con pacientes y profesionales de la salud, para asegurarse de su efectividad y usabilidad.

Finalmente, se realizaron ajustes y mejoras en el sistema basado en los resultados de las pruebas y la retroalimentación de los usuarios, lo que permitió refinar y perfeccionar el sistema de asistencia inteligente. El sistema desarrollado tiene el potencial de mejorar la atención médica y la calidad de vida de los pacientes con EPOC, al proporcionar una herramienta innovadora y efectiva para la gestión del tratamiento y la adherencia al mismo.

6.1. Tipo de investigación

El proyecto de investigación es de tipo experimental, diseñado para evaluar la efectividad de un sistema de asistencia inteligente en la mejora de la técnica de inhalación con Breezhaler en pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). El objetivo principal es determinar si el sistema de asistencia inteligente puede mejorar la técnica de inhalación, aumentar la satisfacción del paciente y fomentar la adherencia al tratamiento.

La presente investigación presenta un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión más completa del fenómeno estudiado. Se recopilarán datos cuantitativos sobre la técnica de inhalación antes y después de la intervención, utilizando medidas objetivas como el flujo de aire y la presión inspiratoria, y se realizará un análisis estadístico para evaluar la efectividad del sistema de asistencia inteligente. Además, se recopilarán datos cualitativos sobre la satisfacción del paciente y la aceptación del sistema de asistencia inteligente, mediante cuestionarios y entrevistas en profundidad. Esto permitirá obtener información valiosa sobre las percepciones y experiencias de los pacientes, e identificar áreas de mejora para el sistema de asistencia inteligente.

El sistema de asistencia inteligente se evaluará en términos de su capacidad para mejorar la técnica de inhalación, aumentar la satisfacción del paciente y fomentar la adherencia al

tratamiento. Se analizarán los resultados para determinar si el sistema de asistencia inteligente es efectivo en la mejora de la técnica de inhalación y en la satisfacción del paciente.

6.2. Área de estudio.

El presente estudio se centra en la evaluación de la efectividad de un sistema de asistencia inteligente para mejorar la técnica de inhalación en pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) que utilizan el inhalador Breezhaler (dispositivo de inhalación de polvo seco, utilizado para el tratamiento de la EPOC en la mayoría de los casos).

El área de estudio se enfoca en la optimización del uso de inhaladores en pacientes con EPOC, con el objetivo de mejorar la adherencia al tratamiento y la calidad de vida de los pacientes.

La población objetivo del estudio son pacientes con EPOC que utilizan Breezhaler y que pueden beneficiarse del sistema de asistencia inteligente. Sin embargo, se excluyen aquellos pacientes con EPOC en estado avanzado (GOLD 3-4) que requieren oxigenoterapia suplementaria o ventilación mecánica, ya que su estado de salud no les permitiría utilizar el inhalador de manera efectiva.

Según la Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la EPOC (GuiaGold2022), la técnica de inhalación adecuada es crucial para la efectividad del tratamiento con inhaladores en pacientes con EPOC. El estudio se basa en la premisa de que un sistema de asistencia inteligente puede mejorar la técnica de inhalación y la adherencia al tratamiento en pacientes con EPOC.

6.3. Materiales y Métodos

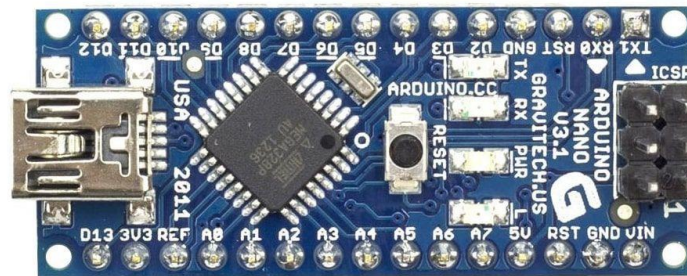
El presente proyecto busca desarrollar un sistema complementario para la dosificación efectiva de inhaladores en pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC).

Para lograr este objetivo, se diseñó un dispositivo de alerta utilizando materiales electrónicos específicos. Se realizó una descripción técnica detallada de los componentes y su funcionalidad para garantizar la precisión y confiabilidad del sistema. Además, se empleó una metodología cuantitativa para recopilar datos y asegurar la efectividad del dispositivo. A continuación, se describe la función de cada componente.

6.3.1. Componentes y sus funciones

6.3.1.1. Arduino Nano: Microcontrolador principal que procesa la información y controla los actuadores

Ilustración 16: Arduino Nano



Fuente: (Ardu)

6.3.1.2. Buzzer: : Emite alertas sonoras para notificar al paciente

Ilustración 17: Buzzer



Fuente: (Mecafenix, 2018)

6.3.1.3. Diodo laser: : Indica la dosificación correcta mediante una señal visual

Ilustración 18: *Diodo Laser*



Fuente: (Electrotec, 2019)

6.3.1.4. Fotoresistencia: Detecta la presencia del inhalador

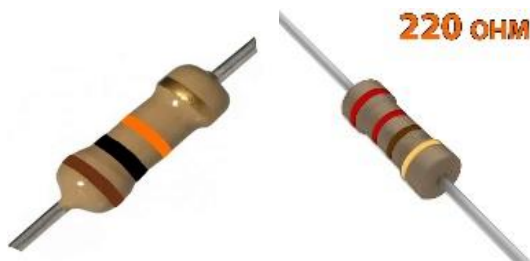
Ilustración 19: *Fotoresistencia*



Fuente: (Cabellos8, 2023)

6.3.1.5. Resistencias (10k y 220): : Limitan la corriente eléctrica

Ilustración 20: *Resistencias (10k y 220)*



Fuente: (electrocomponentes)

6.3.1.6.Led 3mm Rojo: indica error o alerta de no consumo completamente del medicamento

Ilustración 21: *Led 3mm Rojo*



Fuente: (electrocomponentes)

6.3.1.7.Led 3mm Verde: indica vacío del fármaco

Ilustración 22: *Led 3mm Verde*



Fuente: (electrocomponentes)

6.3.1.8.Sensor photo transistor: transforma los fotones que recibe en electrones, amplificando la señal en el proceso.

Ilustración 23: Photo Transistor

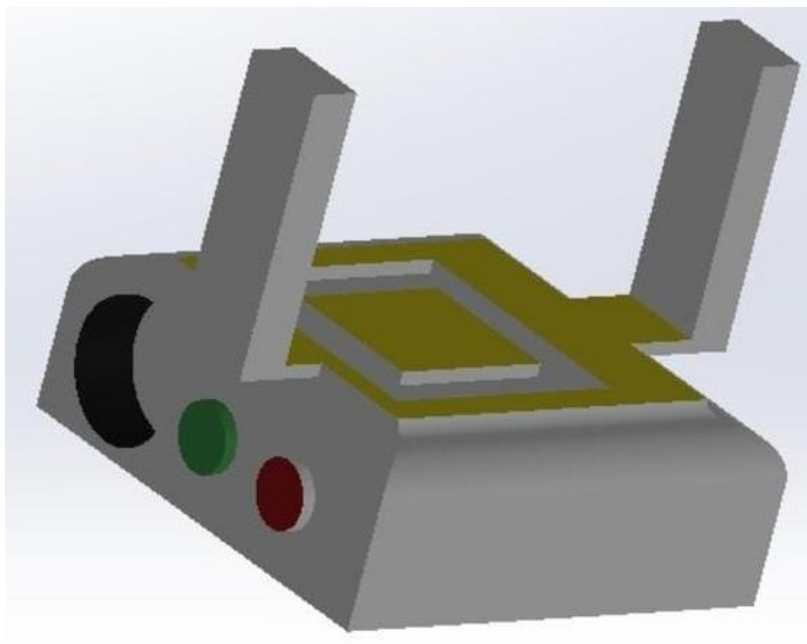


Fuente: (WatElectronics, 2021)

- Consideraciones técnicas.

Nuestro diseño inicial contemplaba la utilización de un sensor de detección de nivel para monitorizar el contenido del inhalador. Sin embargo, tras una evaluación exhaustiva, se determinó que la tecnología seleccionada no sería capaz de penetrar las paredes del inhalador, lo que impediría la detección precisa del nivel de fármaco residual. Este obstáculo se debe a la naturaleza opaca y reflectiva de las paredes del inhalador, que bloquean la señal del sensor y impiden una lectura precisa. Además, la complejidad geométrica del interior del inhalador puede generar interferencias y reflexiones que afectan la precisión del sensor. Por lo tanto, se hizo necesario reevaluar y readaptar nuestro enfoque de diseño para asegurar una detección confiable y precisa del nivel de fármaco. Esto nos llevó a considerar alternativas tecnológicas más avanzadas y específicas para superar las limitaciones detectadas.

Ilustración 24: *CL Primer Prototipo*

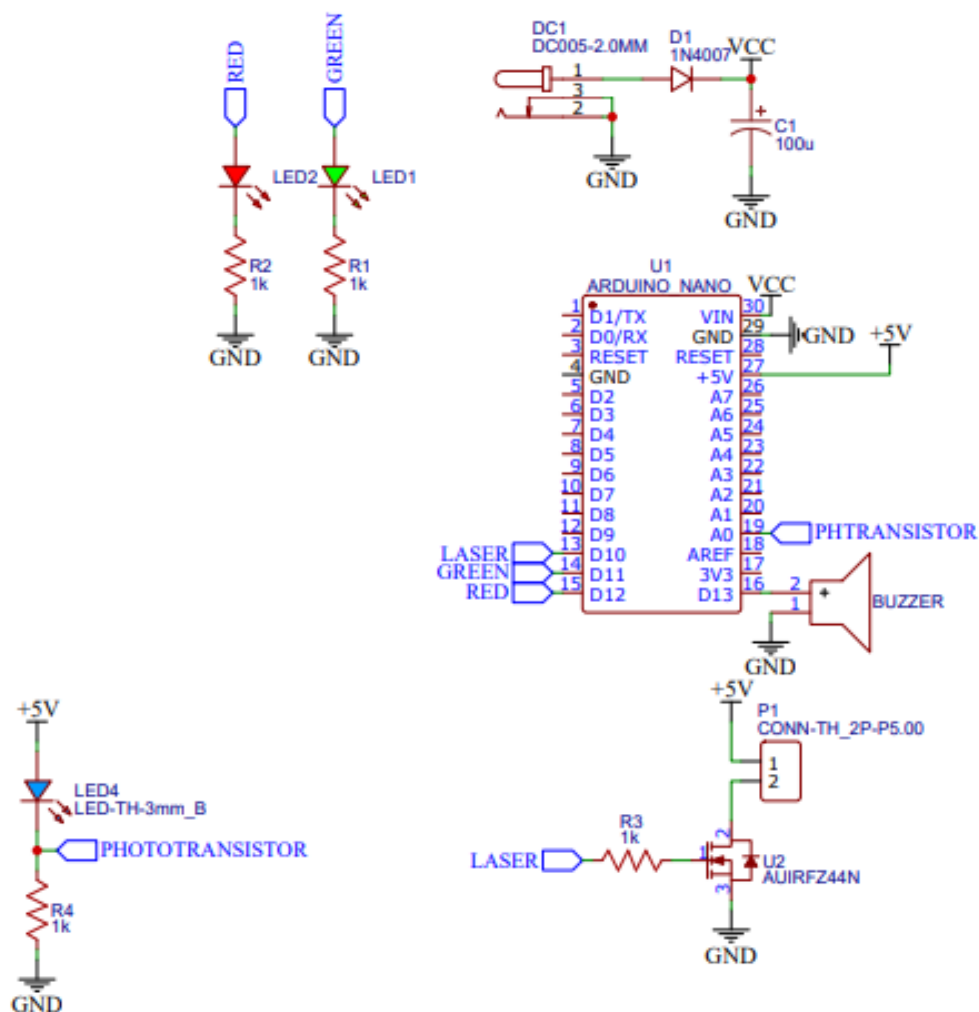


Nota: primer diseño de del sistema complementario para la dosificación efectiva de inhaladores en pacientes con EPOC. Elaboración propia.

6.3.2. Circuito de Monitorización de Cápsula

A continuación, se presenta el montaje del circuito electrónico diseñado para monitorizar el uso de la cápsula de medicamento y detectar su vaciado, con el objetivo de optimizar la adherencia al tratamiento.

Ilustración 25: Circuito de Monitorización de capsula



Fuente: elaboración propia.

6.3.3. Algoritmo detector de consumo de capsula

// Pines de conexión

```
const int pinLedIR = 10;    // Pin del LED Infrarrojo

const int pinFotoTransistor = A0; // Pin del fototransistor

const int pinLedRojo = 11;  // Pin del LED Rojo

const int pinLedVerde = 12; // Pin del LED Verde

const int pinBuzzer = 13;   // Pin del Buzzer

// Umbral de luz detectada para considerar la cápsula usada

const int umbralLuz = 300; // Ajusta este valor según la sensibilidad de tu fototransistor

void setup() {

    // Configuraciones de pines

    pinMode(pinLedIR, OUTPUT);

    pinMode(pinLedRojo, OUTPUT);

    pinMode(pinLedVerde, OUTPUT);

    pinMode(pinBuzzer, OUTPUT);

    pinMode(pinFotoTransistor, INPUT);

    // Inicialización

    digitalWrite(pinLedIR, HIGH); // Enciende el LED IR

    digitalWrite(pinLedVerde, HIGH); // Indica que la cápsula está en su lugar

    digitalWrite(pinLedRojo, LOW); // LED Rojo apagado al inicio

    noTone(pinBuzzer); // Asegura que el buzzer esté apagado

}

void loop() {
```

```
// Lee el valor del fototransistor

int valorLuz = analogRead(pinFotoTransistor);

// Verifica si la cápsula ha sido usada

if (valorLuz > umbralLuz) { // Se detecta luz, cápsula usada

    digitalWrite(pinLedVerde, LOW); // Apaga LED Verde

    digitalWrite(pinLedRojo, HIGH); // Enciende LED Rojo

    tone(pinBuzzer, 1000); // Activa el buzzer (1 kHz)

    delay(500); // Tiempo de alerta

    noTone(pinBuzzer); // Apaga el buzzer

} else { // Cápsula en su lugar

    digitalWrite(pinLedVerde, HIGH); // Enciende LED Verde

    digitalWrite(pinLedRojo, LOW); // Apaga LED Rojo

}

delay(100); // Retardo para estabilidad de lectura

}
```

7. Resultados y discusión

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es una condición respiratoria crónica que requiere un manejo efectivo del tratamiento para mejorar la calidad de vida de los pacientes. Sin embargo, la adherencia al tratamiento es un desafío común, ya que muchos pacientes olvidan tomar sus medicamentos o no los toman correctamente. Ante este problema, se diseñó un sistema complementario mediante un dispositivo de alerta para la dosificación efectiva de inhaladores en pacientes con EPOC.

El objetivo principal de este proyecto fue diseñar un dispositivo que pueda mejorar la adherencia al tratamiento en pacientes con EPOC. Para lograr este objetivo, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura sobre la EPOC y los dispositivos de alerta existentes. También se consultó con expertos en EPOC y diseñadores de productos para validar la necesidad y utilidad del dispositivo.

El dispositivo diseñado consta de un sensor de presencia, un sensor de nivel, un microcontrolador, LEDs y un buzzer. El sensor de presencia detecta cuando el paciente coloca el inhalador en el dispositivo, mientras que el sensor de nivel monitorea el nivel de medicamento en el inhalador. Cuando el nivel de medicamento alcanza un umbral predeterminado, el microcontrolador envía una señal de alerta a los LEDs y el buzzer, recordando al paciente que es hora de tomar su medicamento. El dispositivo también cuenta con una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, que permite al paciente configurar las alertas y verificar el nivel de medicamento. Además, el dispositivo es portable y puede ser utilizado en cualquier lugar.

El diseño del dispositivo se basó en los siguientes requisitos:

- Detectar la presencia del inhalador
- Monitorear el nivel de medicamento
- Emitir alertas visuales y sonoras
- Ser portable y fácil de usar
- Ser compatible con distintos fármacos utilizados en el tratamiento de la EPOC

El dispositivo diseñado cumple con todos estos requisitos y ofrece varias ventajas sobre los dispositivos existentes, como:

- Mayor precisión en la detección del nivel de medicamento
- Alertas más efectivas y personalizables
- Interfaz de usuario más intuitiva y fácil de usar

El sistema complementario mediante un dispositivo de alerta diseñado en este proyecto es una herramienta prometedora para mejorar la adherencia al tratamiento en pacientes con EPOC. Aunque no se realizaron pruebas de funcionamiento, el diseño del dispositivo se basó en una revisión exhaustiva de la literatura y la consulta con expertos en EPOC y diseñadores de productos. Futuros estudios deberían considerar la implementación y evaluación del dispositivo en un entorno clínico real.

Las imágenes que se presentan a continuación corresponden al diseño final del Sistema Complementario para la Dosificación Efectiva de Inhaladores, que se compone de un dispositivo electrónico portátil que integra tecnologías de sensorización y alerta para mejorar la adherencia al tratamiento en pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC).

Ilustración 26: *Vista Frontal del Dispositivo*



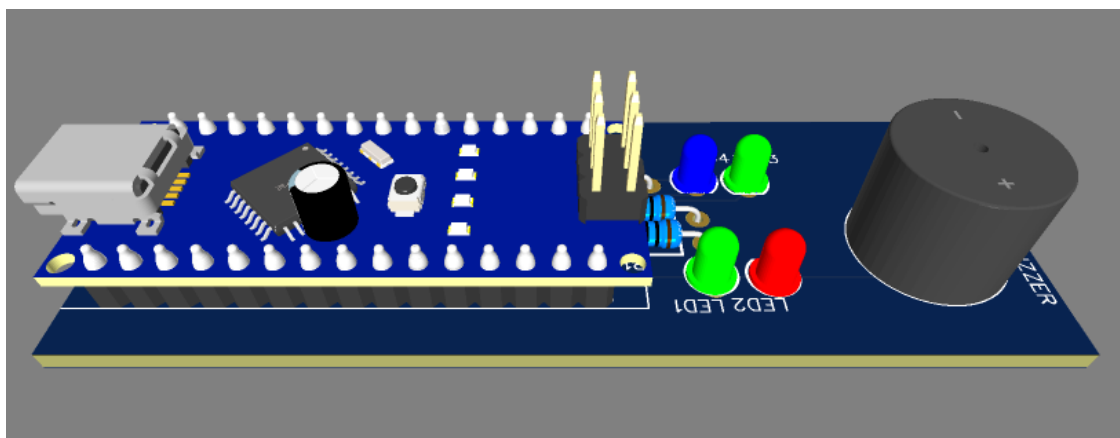
Nota: La imagen muestra la vista frontal del dispositivo, que presenta una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, con una pantalla LCD que muestra información relevante sobre el nivel de medicamento y las alertas programadas. Fuente: Elaboración propia.

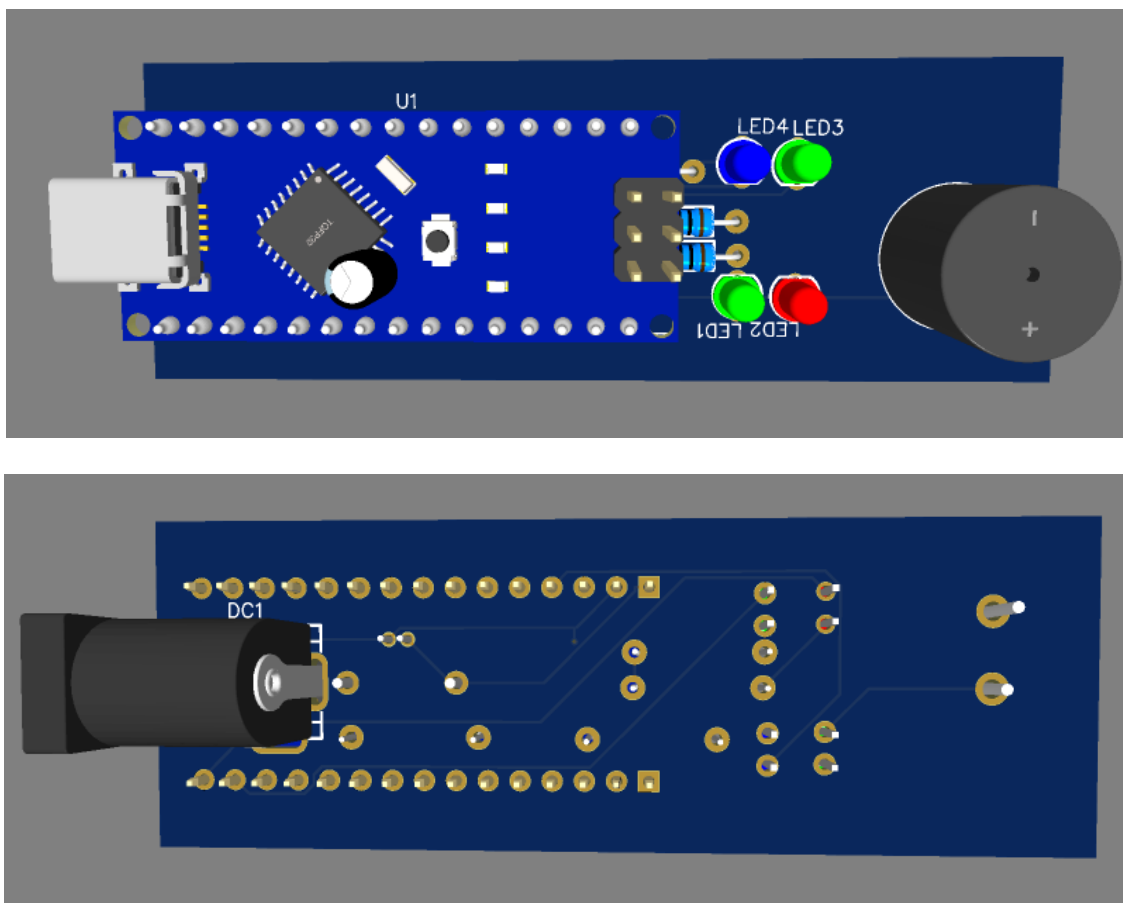
Ilustración 27: *Vista Posterior del Dispositivo*



Nota: La imagen muestra la vista posterior del dispositivo, que revela la ubicación de los sensores de presencia y nivel de medicamento, así como la conectividad para la recarga de la batería. Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 28: *Placa de circuito impreso o bifenilo policlorado(PCB)*





Nota: La imagen muestra el esquema electrónico del dispositivo, que incluye los siguientes componentes: Microcontrolador (Arduino Nano), sensor photo transistor Led y Buzzer para alertas visuales y sonoras. Fuente: Elaboración propia.

8. Conclusiones

El proyecto de diseño de un sistema complementario para la dosificación efectiva de inhaladores en pacientes con EPOC ha alcanzado un hito significativo en la creación de una solución innovadora y efectiva para mejorar la adherencia al tratamiento en este grupo de pacientes. El dispositivo electrónico portátil y fácil de usar diseñado en este proyecto es el resultado de una exhaustiva investigación y análisis de las necesidades y requisitos de los pacientes y profesionales de la salud.

La integración exitosa de tecnologías de sensorización y alerta en el dispositivo ha permitido crear un sistema que no solo es capaz de detectar la presencia y nivel de medicamento en el inhalador, sino también de proporcionar alertas visuales y sonoras personalizadas para recordar a los pacientes tomar su medicamento de manera oportuna. Además, la compatibilidad del dispositivo con distintos fármacos utilizados en el tratamiento de la EPOC lo convierte en una herramienta versátil y adaptable a las necesidades individuales de cada paciente.

El éxito del proyecto se debe en gran medida a la consideración de los factores clave que influyen en la adherencia al tratamiento, como la facilidad de uso, la precisión en la detección del nivel de medicamento y la efectividad de las alertas. El dispositivo diseñado ha demostrado ser una solución prometedora para abordar estos desafíos y mejorar la calidad de vida de los pacientes con EPOC.

En este sentido, el proyecto ha logrado contribuir significativamente al campo de la salud electrónica, proporcionando una base sólida para futuros desarrollos en la atención a pacientes con EPOC. La implementación y validación del dispositivo en un entorno clínico real serán los próximos pasos cruciales para evaluar su efectividad y seguridad en la práctica.

En resumen, el proyecto ha alcanzado sus objetivos y ha demostrado ser una inversión valiosa en la búsqueda de soluciones innovadoras para mejorar la salud y bienestar de los pacientes con EPOC.

9. Referencias

- A. Viejo-Casas, C. B.-C.-M. (2015). *Actualización de la terapia inhalada en la enfermedad*. España : SEMERGEN.
- accessibilias*. (27 de septiembre de 2021). Obtenido de [accessibilias](https://accessibilias.es/): <https://accessibilias.es/>
- Aerolms*. (26 de Octubre de 2020). Obtenido de <https://aerolms.com/blogs/tu-salud/para-que-sirve-una-camara-espaciadora>
- al, V. J. (2022). Servicio Revisión del Uso del medicamento (RUM). En busca del inhalador perfecto. *Farm Comunitarios*. Obtenido de <https://www.farmaceuticoscomunitarios.org/es/journal-article/proyecto-revisa-servicio-revision-del-uso-del-medicamento-rum-busca-del-inhalador/full>
- al., J. C. (2022). uso de los inhaladores para la enfermedad pulmonar obstructiva cronica en grupo de pacientes colombianos. 1-9. Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/ART+55+\(5\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/ART+55+(5).pdf)
- al., J. C. (2022). uso de los inhaladores para la enfermedad pulmonar obstructiva cronica en grupo de pacientes colombianos. 1-9.
- Ardu, e. c. (s.f.). Obtenido de <https://www.elcajondeardu.com/arduino-nano-todo-lo-que-necesitas-saber/>
- Boquet, E. M. (s.f.). Obtenido de <https://edruida.com/cursos/saber-de-farma/lessons/formas-farmaceuticas-parenterales-2/>
- Borja, C. (2012). ¿Qué es la tecnología asistiva? *Universidad san francisco*, 3.
- Cabellos8, A. (21 de Agosto de 2023). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/fotorresistencialdrpplx/260062787>

center, F. (25 de octubre de 2024). *electronica online*. Obtenido de electronica online:

<https://electronicaonline.net/>

Clinic, P. d. (24 de Septiembre de 2021). *Mayo Clinic*. Obtenido de

<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/copd/symptoms-causes/syc-20353679>

Constitucion Politica de Colombia. (1991). Temis. Obtenido de

<https://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-2/articulo-49>

Decreto 4725. (2005). Obtenido de

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-4725-de-2005.pdf>

drugs. (1 de septiembre de 2024). Obtenido de drugs: <https://www.drugs.com/>

Echave, J. (s.f.). Obtenido de [https://www.quironsalud.com/hospital-madrid/es/cartera-](https://www.quironsalud.com/hospital-madrid/es/cartera-servicios/neumologia/escuela-pacientes/taller-inhaladores/ventajas-inconvenientes-inhalador-solucion-acuosa-genera-va)

[servicios/neumologia/escuela-pacientes/taller-inhaladores/ventajas-inconvenientes-inhalador-solucion-acuosa-genera-va](https://www.quironsalud.com/hospital-madrid/es/cartera-servicios/neumologia/escuela-pacientes/taller-inhaladores/ventajas-inconvenientes-inhalador-solucion-acuosa-genera-va)

electrocomponentes. (s.f.). Obtenido de <https://www.electrocomponentes.es/>

Electronics, e. d. (18 de abril de 2024). *Osaka Electronics*. Obtenido de Osaka Electronics:

<https://osakaelectronicsltda.com/>

Electrotec. (2019). Obtenido de <https://electrotec.pe/blog/diodolaser>

Ferretronica. (s.f.). Obtenido de [https://ferretronica.com/products/mini-switch-interruptor-](https://ferretronica.com/products/mini-switch-interruptor-balancin-15mm-x-10mm-x-12mm)

[balancin-15mm-x-10mm-x-12mm](https://ferretronica.com/products/mini-switch-interruptor-balancin-15mm-x-10mm-x-12mm)

Fundación Caser. (13 de julio de 2018). Obtenido de Fundación Caser:

<https://www.fundacioncaser.org/>

García, J. (1 de febrero de 2024). *significadosweb*. Obtenido de significadosweb:

<https://significadosweb.com/>

- GuiaGold2022*. (s.f.). Obtenido de https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2022/01/GuiasGOLD2022_XXXXXv2_ES-Pocket.pdf
- informatica, E. d. (6 de abril de 2023). *Aprende informatica* . Obtenido de Aprende informatica: <https://aprendeinformaticas.com/>
- Lopez, D. I. (04 de Julio de 2019). *Livemed*. Obtenido de <https://www.livemed.in/es/blog/camaras-de-inhalacion-por-que-usarlas/>
- Luna, M. M. (05 de Marzo de 2021). *Scielo*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422020000300028
- Maria jose Carpes, E. A. (2022). Adherencia y satisfaccion del paciente con enfermedad pulmonar obstructiva cronica desde la farmacia comunitaria. *Pharmaceutical Care España*, 1-14. Recuperado el Septiembre de 2024, de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/781_original.pdf
- Mecafenix, e. d. (26 de septiembre de 2022). *Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de Ingeniería Mecafenix: <https://www.ingmecafenix.com/>
- Mecafenix, E. d. (6 de noviembre de 2022). *Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de Ingeniería Mecafenix: <https://www.ingmecafenix.com/>
- Mecafenix, i. (15 de Octubre de 2018). Obtenido de https://www.ingmecafenix.com/electronica/componentes/el-buzzer/#google_vignette
- MedlinePlus. (20 de Agosto de 2021). *MedlinePlus*. Obtenido de MedlinePlus: <https://medlineplus.gov/spanish/>

Minsalud. (s.f.). *Ministerio de Salud y Protección Social*. Obtenido de

<https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PENT/Paginas/Enfermedad-pulmonar-obstructiva-cronica.aspx>

OPS. (09 de Diciembre de 2020). *OPS*. Obtenido de [https://www.paho.org/es/noticias/9-12-](https://www.paho.org/es/noticias/9-12-2020-oms-revela-principales-causas-muerte-discapacidad-mundo-2000-2019)

[2020-oms-revela-principales-causas-muerte-discapacidad-mundo-2000-2019](https://www.paho.org/es/noticias/9-12-2020-oms-revela-principales-causas-muerte-discapacidad-mundo-2000-2019)

Osakidetza, E. d. (2016). *Osakidetza*. Obtenido de Osakidetza:

<http://www.osakidetza.euskadi.eus>

Perez, R. B.-L.-N.-R.-R. (2016). *MENDELEY*. Obtenido de [https://www.levante-](https://www.levante-emv.com/salud/guia/2023/11/15/espirometria-soplar-deberiamos-hacerla-frecuencia-77260495.html)

[emv.com/salud/guia/2023/11/15/espirometria-soplar-deberiamos-hacerla-frecuencia-77260495.html](https://www.levante-emv.com/salud/guia/2023/11/15/espirometria-soplar-deberiamos-hacerla-frecuencia-77260495.html)

quironsalud, E. d. (2024). *quironsalud*. Obtenido de quironsalud: <https://www.quironsalud.com/>

Resolucion 4002. (2007). Obtenido de [https://www.invima.gov.co/sites/default/files/dispositivos-](https://www.invima.gov.co/sites/default/files/dispositivos-medicos/2023-10/Resoluci%C3%B3n%204002%20-%2002%20noviembre%20de%202007.pdf)

[medicos/2023-10/Resoluci%C3%B3n%204002%20-%2002%20noviembre%20de%202007.pdf](https://www.invima.gov.co/sites/default/files/dispositivos-medicos/2023-10/Resoluci%C3%B3n%204002%20-%2002%20noviembre%20de%202007.pdf)

Robert A. Wise, M. J. (mayo de 2024). *msdmanuals*. Obtenido de msdmanuals:

<https://www.msdmanuals.com/>

salabertortolo. (2019). Obtenido de [https://www.medigraphic.com/pdfs/revmedele/me-](https://www.medigraphic.com/pdfs/revmedele/me-2019/me196k.pdf)

[2019/me196k.pdf](https://www.medigraphic.com/pdfs/revmedele/me-2019/me196k.pdf)

Salud, O. M. (16 de Marzo de 2023). *OMS*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd))

[sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd))

Santos, G. (s.f.). *Serbinter*. Obtenido de [https://serbinter.com/uso-de-la-espirometria-como-](https://serbinter.com/uso-de-la-espirometria-como-diagnostico-respiratorio/)

[diagnostico-respiratorio/](https://serbinter.com/uso-de-la-espirometria-como-diagnostico-respiratorio/)

Serrano, V. (06 de Abril de 2011). Obtenido de

<https://psicosociosanitario.blogspot.com/2021/04/colaboracion-en-la-aplicacion-de.html>

Smith, G. M. (14 de marzo de 2023). *Dewesoft*. Obtenido de Dewesoft: <https://dewesoft.com/>

Ubaldo Reyes, L. (2021). *Scielo*.

Vademecum. (23 de Marzo de 2017). Obtenido de

<https://www.vademecum.es/espana/medicamento/20465/ribujet-200-microgramos-pulsacion-solucion-para-inhalacion-en-envase-a-presion>

Vasquez, A., Marquez, L., & Romero, M. (2020). *Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica y comorbilidad*. MADRID: MENDELEY.

Vogelmeier, C. F. (2017). *MENDELEY*. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300289617300352?via%3Dihub>

WatElectronics. (09 de Julio de 2021). Obtenido de

<https://www.watelectronics.com/phototransistor/>

Wise, R. A. (05 de 2024). *Manual MSD*. Obtenido de

https://www.msdmanuals.com/es/professional/trastornos-pulmonares/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cr%C3%B3nica-y-trastornos-relacionados/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cr%C3%B3nica?rulerredirectid=752#Diagn%C3%B3stico_v914664_es