

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ASISTENCIA MÉDICA PARA PSORIASIS MEDIANTE IA GENERATIVA Y RAG

Autor: Carlos Moreno Losa

Tutor: Valero Laparra Pérez-Muelas

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 CONTEXTO Y MOTIVACIÓN	8
1.2 PROBLEMÁTICA EN LA PERSONALIZACIÓN DE TRATAMIENTOS PARA PSORIASIS	9
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	11
Alcance del proyecto	12
2. ESTADO DEL ARTE.....	12
2.1 IA EN MEDICINA Y DERMATOLOGÍA.....	12
2.2 MODELOS DE LENGUAJE Y SU APLICACIÓN EN SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN.....	14
2.3 RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN BASADA EN EMBEDDINGS	17
2.4 CHATBOTS DE IA EN SISTEMAS DE SOPORTE CLÍNICO	20
3. METODOLOGÍA	23
3.1 PROTOCOLO DE PSORIASIS: ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO	23
3.1.1. Extracción y Preprocesamiento del Protocolo Médico	23
3.1.2. Splitting y Generación de Embeddings.....	24
3.2 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS VECTORIAL	26
3.2.1. Estructura de la Base de Datos Vectorial.....	26
3.2.2. Flujo de Ingesta de Datos	26
3.2.3. Recuperación de Información Basada en Similitud.....	27
3.2.4. Ventajas del Uso de una Base de Datos Vectorial	28
3.2.5. Desafíos en el Diseño de la Base de Datos Vectorial.....	28
3.2.6. Estrategias de Optimización Implementadas	28
3.3 PIPELINE DE GENERACIÓN DEL TRATAMIENTO	29

3.3.1. Ingesta y Preprocesamiento de Datos del Paciente	29
3.3.2. Recuperación de Información Relevante	30
3.3.3. Generación de Tratamientos con IA Generativa	31
3.3.4. Validación y Retroalimentación	32
Beneficios del Pipeline de Generación de Tratamientos	32
3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL CHATBOT PARA SOPORTE INTERACTIVO	33
Arquitectura del Chatbot	33
Flujo de Operación del Chatbot	34
3. Generación de Embeddings y Búsqueda de Información	34
4. Creación del Prompt para la Generación de Respuestas	35
5. Generación de Respuestas con Gemini AI	35
6. Interfaz de Respuesta y Actualización del Historial	36
Consideraciones de Diseño	36
Beneficios del Chatbot	36
4. DESARROLLO TECNOLÓGICO	37
4.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	37
Visión General de la Arquitectura	37
1. Interfaz de Usuario (Frontend)	37
2. Servidor de Aplicación (Backend)	38
3. Base de Datos Vectorial	38
4. Modelo de IA Generativa	39
5. Servicios de Integración y APIs Externas	39
Diagrama de Arquitectura del Sistema	40
Detalles Técnicos	40
Flujo de Datos del Sistema	41
4.2 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS	42
4.2.1. Generación de tratamientos médicos para Psoriasis	42
4.2.2. Base de Datos Vectorial	43
4.2.3. IA Generativa	43
4.2.4. Interfaz Web para Usuarios	44
4.2.5. Almacenamiento de Archivos	50
4.2.6. APIs de Soporte	51
4.3 INTEGRACIÓN DE MÓDULOS	51
4.3.1. Estructura General del Sistema	51
4.3.2. Flujo de Datos	52
4.3.3. Integración de la Interfaz Web con el Backend	53

4.3.4. Comunicación con la Base de Datos Vectorial (Pinecone)	53
4.3.5. Interacción con los Modelos de Lenguaje	54
4.3.6. Generación de Reportes PDF	55
4.3.7. Sincronización y Estado de Sesión	55
4.3.8. Seguridad y Manejo de Acceso	55
5 RESULTADOS.....	56
5.1 CASOS DE USO Y EJEMPLOS	56
5.1.1. Caso de Uso 1: Generación de Tratamiento Personalizado.....	56
5.1.2. Caso de Uso 2: Consulta Interactiva con el Chatbot	57
5.1.3. Caso de Uso 3: Evaluación de Imágenes Médicas y Ajuste de Tratamiento.....	58
5.1.4. Caso de Uso 4: Entrada por Voz y Consulta Multimodal	59
5.1.5 Resultados Obtenidos en las Distintas Fases del Flujo de Trabajo	59
Recomendación de Tratamiento para la Paciente con Psoriasis Moderada en Placas	64
1. Fármaco Recomendado	66
2. Dosis y duración.....	67
3. Justificación de la Elección	67
4. Instrucciones de Administración	68
5. Efectos Secundarios y Manejo	68
6. Previsión de Evolución	69
7. Consideraciones Especiales.....	69
Tratamiento Recomendado para la Paciente con Psoriasis Severa y Diabetes Tipo 2.....	75
Análisis de correspondencia entre el tratamiento generado y los fragmentos del protocolo:	77
5.2 EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	80
5.2.1 Resultados cuantitativos	80
5.2.2 Análisis comparativo con los dermatólogos	80
5.2.3 Observación de sesgos	81
5.2.4 Limitaciones del estudio.....	81
5.2.5 Validación práctica	82
5.2.6 Tipología de la Fuente de Datos.....	82
5.3 RETROALIMENTACIÓN DE DERMATÓLOGOS Y VALIDACIÓN PRÁCTICA	83
5.3.1 Presentación en congresos: Castilla-La Mancha y Madrid	83
5.3.2 Impacto y recepción del proyecto en la comunidad médica.....	84
Validación práctica	85
6 DISCUSIÓN	85

6.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	85
6.2 LIMITACIONES DEL SISTEMA.....	87
6.3 POTENCIALES MEJORAS Y EXTENSIONES FUTURAS	90
7. CONCLUSIONES	94
7.1 RESUMEN DE APORTACIONES	94
7.2 IMPACTO EN LA PRÁCTICA DERMATOLÓGICA	96
7.3 REFLEXIÓN PERSONAL SOBRE EL DESARROLLO DEL PROYECTO	98
8. BIBLIOGRAFÍA	100
9. APÉNDICES	101
9.2 INFORME MÉDICO PACIENTE FEMENINO	101
9.2 INFORME MÉDICO PACIENTE MASCULINO	103
9.3 PROTOCOLO PSORIASIS.....	105
9.4 ENLACE DE LA PÁGINA WEB DEL PROYECTO	106
9.5 CÓDIGO COMPLETO DE LA PÁGINA WEB DEL PROYECTO	106
9.6 CÓDIGO COMPLETO DEL CHATBOT INTERACTIVO DEL PROYECTO	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1: Arquitectura del Sistema.....	40
Imagen 2: Muestra de la página web del proyecto	45
Imagen 3: Muestra de la página web del proyecto	46
Imagen 4: Muestra de tratamiento generado por el modelo	47
Imagen 5: Muestra de la justificación del tratamiento generado	48
Imagen 6: Muestra de la interfaz del chatbot.....	49
Imagen 7: Muestra de la interfaz del chatbot en funcionamiento implementado en la página web	49
Imagen 8: Muestra de vector indexado en Pinecone.....	54
Imagen 9: Resultados obtenidos durante el análisis	81

RESUMEN

La psoriasis es una enfermedad inflamatoria crónica de la piel que afecta a millones de personas en todo el mundo y que presenta una gran variabilidad en su manifestación clínica, lo que dificulta la personalización de los tratamientos. Este Trabajo de Fin de Máster aborda la creación de un sistema de asistencia médica basado en inteligencia artificial generativa y Recuperación Aumentada con Generación (RAG), diseñado para mejorar la toma de decisiones clínicas en el tratamiento de la psoriasis.

El sistema integra un modelo de lenguaje avanzado para generar recomendaciones de tratamiento personalizadas, una base de datos vectorial para la recuperación eficiente de información relevante, y un chatbot interactivo que permite a los dermatólogos realizar consultas en tiempo real. La metodología incluye el preprocesamiento de protocolos médicos, la generación de embeddings semánticos, y el desarrollo de un pipeline que combina información clínica del paciente con fuentes documentales para generar recomendaciones precisas y justificadas.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema es capaz de alcanzar un alto grado de concordancia con las directrices médicas, logrando métricas destacables en la elección de fármacos y en la personalización de tratamientos, con una precisión de 84,7% en la diana terapéutica. Además, la validación en congresos médicos ha evidenciado su utilidad práctica y aceptación por parte de la comunidad dermatológica.

Este proyecto representa una contribución significativa al campo de la dermatología asistida por inteligencia artificial, destacando el potencial de los modelos generativos y las bases de datos vectoriales en la mejora de la práctica clínica. Sin embargo, se identifican áreas de mejora relacionadas con la precisión en casos clínicos complejos y la ampliación del sistema para otras patologías dermatológicas.

Palabras clave: psoriasis, inteligencia artificial generativa, RAG, personalización de tratamientos, chatbot clínico.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO Y MOTIVACIÓN

La psoriasis es una enfermedad inflamatoria crónica de la piel que afecta aproximadamente al 2-3% de la población mundial y se caracteriza por la aparición de lesiones eritematosas, escamosas y con un alto componente de picor. Aunque su origen es multifactorial, involucrando tanto factores genéticos como ambientales, la presentación clínica de la enfermedad es altamente heterogénea, con diversos tipos de manifestaciones y grados de severidad. Debido a esta variabilidad, el tratamiento de la psoriasis requiere un enfoque personalizado y dinámico que se adapte a las características clínicas de cada paciente, así como a su respuesta a las terapias previas.

En los últimos años, el campo de la dermatología ha avanzado significativamente con la introducción de nuevas terapias biológicas y sistémicas dirigidas a mecanismos inmunológicos específicos. Sin embargo, la gran cantidad de opciones terapéuticas y la necesidad de realizar ajustes basados en la evolución del paciente dificultan la toma de decisiones clínicas, especialmente en entornos con alta carga asistencial. Esta situación genera la necesidad de herramientas de soporte que permitan optimizar los tratamientos mediante un análisis eficiente y fundamentado de la información clínica disponible.

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como un aliado clave en el ámbito de la medicina personalizada, aportando capacidades avanzadas para el análisis de datos complejos y la generación de recomendaciones clínicas basadas en evidencia. En particular, los modelos de lenguaje natural, como los modelos generativos avanzados, han demostrado un gran potencial para procesar grandes volúmenes de información médica y proporcionar respuestas precisas y contextuales. Estas tecnologías ofrecen la posibilidad de mejorar la precisión en la toma de decisiones y de aliviar la carga cognitiva de los profesionales sanitarios.

El desarrollo de un sistema basado en IA generativa y técnicas de Recuperación Aumentada con Generación (RAG) para la personalización de tratamientos de la psoriasis surge, por tanto, como una respuesta a la necesidad de un enfoque clínico más ágil, robusto y adaptable. Este proyecto busca contribuir al avance de la dermatología asistida mediante la creación de un entorno interactivo que permita a los dermatólogos acceder a recomendaciones de tratamiento personalizadas y justificaciones detalladas de las

decisiones terapéuticas. Además, se pretende proporcionar un recurso de consulta interactiva mediante un chatbot clínico, que facilite la resolución de dudas y el acceso a información relevante del protocolo médico de referencia.

La motivación principal de este proyecto radica en apoyar a los profesionales de la salud en la gestión de la psoriasis, promoviendo un tratamiento basado en evidencia que tenga en cuenta las características particulares de cada paciente, reduciendo así los tiempos de consulta y mejorando los resultados clínicos. Asimismo, se busca demostrar el potencial de los sistemas de IA en la medicina personalizada y validar su impacto en la práctica clínica diaria.

1.2 PROBLEMÁTICA EN LA PERSONALIZACIÓN DE TRATAMIENTOS PARA PSORIASIS

La personalización de los tratamientos en pacientes con psoriasis plantea un desafío significativo para los profesionales de la dermatología debido a la complejidad de esta enfermedad y la amplia variabilidad en su manifestación clínica. La psoriasis puede presentar diversos subtipos —como la psoriasis en placas, la psoriasis guttata o la psoriasis pustulosa—, cada uno con características particulares en cuanto a la extensión, localización de las lesiones y respuesta a los tratamientos. Además, factores individuales del paciente, como comorbilidades, edad, sexo, estilo de vida, historial de respuesta a terapias previas y preferencias personales, deben ser considerados para definir la opción terapéutica más adecuada.

En este contexto, el proceso de toma de decisiones terapéuticas se ve condicionado por varios factores:

- **Volumen de información:** Los avances en la investigación clínica han generado un gran número de publicaciones y guías actualizadas sobre los distintos tratamientos disponibles, lo que dificulta a los dermatólogos mantenerse al día con toda la evidencia científica.
- **Diversidad de opciones terapéuticas:** Existen múltiples opciones de tratamiento, desde terapias tópicas hasta terapias biológicas y sistémicas, cada una con indicaciones y contraindicaciones específicas.

- Limitaciones de tiempo: En la práctica clínica diaria, los dermatólogos suelen disponer de tiempo limitado para evaluar los antecedentes médicos del paciente y seleccionar el mejor tratamiento.

Esta combinación de factores puede provocar que la selección del tratamiento no siempre se realice de manera completamente óptima o esté alineada con las últimas recomendaciones clínicas. Como resultado, algunos pacientes pueden recibir terapias que no son totalmente efectivas o que generan efectos secundarios que podrían haberse evitado.

Además, la variabilidad en la interpretación de los protocolos clínicos y la experiencia previa del dermatólogo pueden influir en la decisión final, lo que introduce un componente subjetivo en el proceso de prescripción. Esto puede llevar a resultados inconsistentes en pacientes con características clínicas similares.

Por tanto, existe una necesidad de herramientas de soporte a la decisión clínica que sean capaces de procesar grandes volúmenes de datos médicos y ofrecer recomendaciones personalizadas basadas en la evidencia científica más reciente. Un sistema basado en inteligencia artificial puede asistir a los dermatólogos al integrar toda la información relevante y presentar un tratamiento propuesto con una justificación detallada, reduciendo la carga cognitiva del profesional y mejorando la precisión y eficacia del tratamiento.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema inteligente basado en IA generativa y técnicas de Recuperación Aumentada con Generación (RAG) que permita asistir a los dermatólogos en la personalización de tratamientos para pacientes con psoriasis. Este sistema busca integrar los datos clínicos del paciente con la información disponible en protocolos médicos especializados, generando recomendaciones terapéuticas detalladas y justificadas. Asimismo, el sistema incluirá un componente interactivo mediante un chatbot que facilitará la consulta de dudas y el acceso a información complementaria sobre los tratamientos recomendados.

Objetivo General

- **Diseñar e implementar un sistema de asistencia médica inteligente** capaz de generar tratamientos personalizados para la psoriasis, integrando tecnologías de

Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), bases de datos vectoriales y modelos de lenguaje generativo de última generación.

Objetivos Específicos

1. **Analizar y preprocesar el protocolo médico de referencia** sobre psoriasis para estructurar la información relevante de manera adecuada y extraer patrones clave que permitan su uso en la generación de recomendaciones.
2. **Implementar una base de datos vectorial** que almacene fragmentos relevantes del protocolo médico y permita recuperar de manera eficiente la información más pertinente para cada consulta.
3. **Desarrollar un pipeline de procesamiento de datos del paciente**, que incluya la ingesta de datos clínicos mediante formularios estandarizados, documentos PDF o entradas por voz, y el preprocesamiento de dicha información para su uso por parte del modelo de IA.
4. **Integrar un modelo de lenguaje generativo avanzado** que, a partir de los datos del paciente y la información recuperada, genere una recomendación de tratamiento detallada, con explicaciones sobre la elección del fármaco, la dosis, la duración y los posibles efectos secundarios.
5. **Desarrollar un chatbot interactivo basado en RAG**, que permita al dermatólogo interactuar de manera intuitiva con el sistema para obtener explicaciones adicionales o formular preguntas sobre los tratamientos propuestos.
6. **Validar el sistema mediante casos prácticos** proporcionados por dermatólogos expertos y evaluar su impacto en la toma de decisiones clínicas.

7. **Evaluar la calidad de los tratamientos generados** a través de la retroalimentación de profesionales de la salud y mediciones de precisión, relevancia y satisfacción.

Alcance del proyecto

El proyecto se centrará en la aplicación del sistema para el tratamiento de la psoriasis siguiendo el "Protocolo de Consenso de Psoriasis en Castilla-La Mancha". Sin embargo, su arquitectura será lo suficientemente flexible para ser adaptada a otras patologías dermatológicas en el futuro. Además, el sistema incluirá un enfoque multimodal, permitiendo la ingesta de información tanto en formato de texto estructurado como en imágenes, ampliando así sus posibilidades de uso en la práctica clínica.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 IA EN MEDICINA Y DERMATOLOGÍA

La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta transformadora en el ámbito de la medicina, ofreciendo soluciones innovadoras que mejoran la precisión diagnóstica, optimizan tratamientos y facilitan la gestión de datos clínicos. En dermatología, la IA ha demostrado ser particularmente útil debido a la naturaleza visual de esta especialidad, permitiendo avances significativos en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cutáneas.

Aplicaciones de la IA en Medicina:

- **Diagnóstico Asistido por IA:** La IA se emplea para analizar imágenes médicas, como radiografías y resonancias magnéticas, mejorando la detección temprana de

patologías. Por ejemplo, en la Comunidad Valenciana, se ha implementado un sistema de IA para el diagnóstico del cáncer de mama, aumentando la precisión en la lectura de mamografías y reduciendo los tiempos de acceso a tratamientos.

- **Desarrollo de Medicamentos:** La IA facilita el diseño de nuevos fármacos al analizar grandes volúmenes de datos genéticos y moleculares. Recientemente, se ha creado el "dominioma humano", un catálogo que detalla más de medio millón de mutaciones en proteínas humanas, gracias a tecnologías avanzadas de IA como las de Google DeepMind. Este avance permitirá diseñar medicamentos específicos para cada paciente, revolucionando el tratamiento de enfermedades complejas.
- **Asistentes Virtuales y Chatbots:** La integración de chatbots impulsados por IA en consultas médicas permite automatizar tareas administrativas, como la transcripción de conversaciones y la redacción de informes, liberando tiempo para que los médicos se concentren en la atención al paciente. En España, hospitales como la Fundación Jiménez Díaz de Madrid han implementado estas tecnologías, mejorando la interacción médico-paciente.

Aplicaciones de la IA en Dermatología:

- **Diagnóstico de Lesiones Cutáneas:** La IA, especialmente a través de redes neuronales convolucionales (CNN), ha alcanzado niveles de precisión comparables o superiores a los dermatólogos en la identificación de lesiones cutáneas malignas, como el melanoma. Estudios han demostrado que algoritmos de IA pueden clasificar imágenes de lesiones cutáneas con alta exactitud, facilitando el diagnóstico temprano y mejorando las tasas de supervivencia.
- **Aplicaciones Móviles para el Cuidado de la Piel:** Han surgido aplicaciones basadas en IA que permiten a los usuarios analizar condiciones de la piel mediante fotografías tomadas con sus dispositivos móviles. Estas aplicaciones ofrecen

recomendaciones personalizadas y, en algunos casos, facilitan consultas virtuales con dermatólogos, democratizando el acceso a evaluaciones dermatológicas.

- **Detección de Cáncer de Piel:** En España, hospitales como el Clínic de Barcelona y el Virgen del Rocío de Sevilla son referentes en el uso de IA para el tratamiento del cáncer de piel. La implementación de algoritmos avanzados permite detectar hasta el 90% de los cánceres de piel, mejorando significativamente los resultados clínicos.

Retos y Consideraciones Éticas:

A pesar de los avances, la integración de la IA en medicina y dermatología enfrenta desafíos, incluyendo la necesidad de datos de alta calidad para entrenar los algoritmos, la interpretación de resultados por parte de profesionales no especializados en IA y consideraciones éticas relacionadas con la privacidad y seguridad de los datos de los pacientes. Es esencial abordar estos aspectos para garantizar una implementación efectiva y ética de la IA en la práctica clínica.

2.2 MODELOS DE LENGUAJE Y SU APLICACIÓN EN SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN

Los **Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLMs, por sus siglas en inglés)**, como *GPT-4o*, han revolucionado el campo del Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN),

demostrando su capacidad para generar texto coherente, comprender contexto y realizar tareas complejas como la clasificación de información, el análisis semántico y la generación de recomendaciones personalizadas.

1. Evolución de los Modelos de Lenguaje

El avance en los modelos de lenguaje ha estado marcado por la introducción de arquitecturas basadas en *Transformers*, que superaron a las redes recurrentes y convolucionales en tareas de lenguaje natural. Este cambio fue impulsado por el modelo *Transformer* original, propuesto por Vaswani et al. (2017), que introdujo el mecanismo de *self-attention*, permitiendo que el modelo asigne importancia relativa a diferentes partes del texto sin procesar la información de manera secuencial.

Entre los hitos más destacados se encuentran:

- **BERT (Devlin et al., 2018):** Modelo enfocado en comprensión contextual bidireccional, clave en tareas de clasificación y preguntas-respuestas.
- **GPT (Radford et al., 2018):** Serie de modelos autoregresivos centrados en la generación de texto, con un enfoque hacia la predicción de la siguiente palabra en función del contexto previo.
- **GPT-4o y ChatGPT:** Versiones avanzadas que utilizan miles de millones de parámetros para generar contenido y recomendaciones precisas y contextuales en múltiples idiomas.

2. Aplicación de Modelos de Lenguaje en Sistemas de Recomendación

Los sistemas de recomendación basados en IA utilizan modelos de lenguaje para generar contenido personalizado mediante la comprensión profunda de los datos de los usuarios. En el ámbito médico, estos modelos permiten generar recomendaciones adaptadas al perfil del paciente, considerando características como historial médico, antecedentes familiares y preferencias terapéuticas.

Casos de uso relevantes:

1. Recomendación de tratamientos personalizados:

En dermatología, los modelos de lenguaje pueden analizar grandes volúmenes de información clínica y protocolos médicos para ofrecer un tratamiento ajustado a las necesidades del paciente. Por ejemplo, el modelo puede sugerir un fármaco específico basado en los antecedentes y las características clínicas del paciente.

2. Soporte en la toma de decisiones clínicas:

Los LLM pueden proporcionar resúmenes y justificaciones de sus recomendaciones, explicando de manera comprensible la lógica detrás de la elección de un tratamiento. Esto aumenta la confianza del médico en la herramienta y facilita la validación de los resultados.

3. Interacción mediante chatbots de IA:

Los modelos de lenguaje también se utilizan en interfaces interactivas para responder preguntas, generar informes y proporcionar asistencia a los profesionales de la salud durante la consulta, mejorando la eficiencia del flujo de trabajo clínico.

3. Desafíos en la Aplicación de Modelos de Lenguaje

A pesar de sus avances, los modelos de lenguaje enfrentan varios desafíos:

- **Interpretabilidad:** Los modelos complejos, como GPT-4o, son difíciles de interpretar, lo que puede dificultar la justificación de las recomendaciones.
- **Dependencia de datos:** Los resultados dependen de la calidad y cantidad de datos con los que fueron entrenados, lo que puede generar sesgos si los datos son limitados o sesgados.

- **Seguridad y privacidad:** La gestión de datos médicos requiere cumplir con normativas estrictas, como el RGPD, para proteger la confidencialidad de los pacientes.

2.3 RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN BASADA EN EMBEDDINGS

La **recuperación de información** es un proceso fundamental en sistemas de búsqueda, donde se busca identificar y recuperar documentos relevantes en función de una consulta del usuario. Tradicionalmente, estos sistemas empleaban enfoques basados en coincidencias exactas de palabras clave, pero los avances en **Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN)** han dado lugar a técnicas más avanzadas, como el uso de **embeddings** semánticos.

Los **embeddings** son representaciones vectoriales densas que codifican palabras, frases o documentos en un espacio numérico, donde la proximidad entre vectores refleja similitud semántica en lugar de coincidencia exacta de palabras. Este enfoque ha revolucionado la forma en que los sistemas de recuperación de información comprenden el contenido y permiten búsquedas más precisas y contextuales.

1. ¿Qué son los Embeddings y cómo funcionan?

Los **embeddings** convierten textos en vectores de alta dimensión mediante el entrenamiento de modelos en grandes conjuntos de datos de texto. En este espacio vectorial:

- **Vectores cercanos** representan textos con significados similares.
- **Vectores alejados** representan textos con significados diferentes.

Por ejemplo, un modelo puede representar las palabras "dermatología" y "piel" como vectores cercanos, ya que son conceptualmente similares, mientras que "dermatología" y "automóvil" se representarán con vectores alejados.

Los modelos más utilizados para generar embeddings incluyen:

- **Word2Vec (Mikolov et al., 2013):** Modelo basado en predicciones de contexto que genera embeddings para palabras individuales.
 - **BERT (Devlin et al., 2018):** Genera embeddings contextuales bidireccionales, mejorando la representación de frases completas y el desambiguado.
 - **OpenAI Embeddings:** Modelos avanzados diseñados para generar representaciones vectoriales de alto rendimiento para tareas de recuperación de información.
-

2. Aplicación de Embeddings en la Recuperación de Información Médica

En la recuperación de información médica, los embeddings permiten encontrar documentos relevantes, incluso cuando la consulta no coincide exactamente con los términos del documento. Esto es particularmente útil en contextos donde:

- **La terminología médica es compleja:** Diferentes especialistas pueden referirse al mismo concepto con distintas palabras, como “psoriasis en placa” y “psoriasis vulgaris”.
- **Consultas en lenguaje natural:** Los médicos o pacientes pueden formular preguntas en un lenguaje más cercano al coloquial que al científico.

Ejemplo de uso en dermatología:

En un sistema de soporte para el tratamiento de psoriasis, los embeddings pueden recuperar fragmentos relevantes de protocolos médicos al realizar una búsqueda semántica con frases como: *"tratamiento para psoriasis moderada en pacientes con antecedentes de artritis"*. El sistema puede encontrar secciones que mencionen tratamientos biológicos específicos, aunque los términos exactos no coincidan.

3. Ventajas de la Recuperación Basada en Embeddings

- **Búsqueda semántica:** La similitud de significado es más importante que las coincidencias exactas de palabras.

- **Mayor precisión:** Se reducen los falsos positivos en las consultas complejas.
 - **Capacidad de generalización:** Puede relacionar conceptos implícitos y sinónimos, mejorando la recuperación en dominios especializados, como la dermatología.
-

4. Limitaciones y desafíos

A pesar de sus ventajas, este enfoque presenta ciertos desafíos:

- **Recursos computacionales:** El cálculo de embeddings y la búsqueda en espacios vectoriales requieren más recursos que las búsquedas tradicionales basadas en texto.
 - **Sesgos en los datos:** Los modelos pueden heredar sesgos de los datos con los que fueron entrenados, lo que podría afectar la precisión y equidad de los resultados.
 - **Interpretabilidad:** La representación numérica de los embeddings puede ser difícil de interpretar, lo que complica la explicación de los resultados a los usuarios.
-

5. Implementación en Sistemas de Recuperación de Información Clínica

Para aplicar la recuperación basada en embeddings, los sistemas clínicos suelen emplear bases de datos vectoriales, como:

- **Pinecone:** Servicio especializado en almacenamiento y consulta de vectores de alta dimensión.

Estos sistemas permiten realizar búsquedas eficientes en grandes volúmenes de información médica, como bases de datos de publicaciones científicas, protocolos clínicos y casos de estudio.

2.4 CHATBOTS DE IA EN SISTEMAS DE SOPORTE CLÍNICO

Los **chatbots de inteligencia artificial (IA)** han emergido como una herramienta clave en la automatización de servicios, la atención al cliente y, más recientemente, en el soporte clínico. En este contexto, los chatbots han sido diseñados para interactuar con pacientes y profesionales de la salud, proporcionando respuestas rápidas y precisas basadas en conocimientos médicos actualizados y protocolos clínicos. Los avances en **modelos de lenguaje natural (LLMs)** han permitido que estos sistemas ofrezcan interacciones más precisas y humanas, mejorando la calidad de la asistencia médica.

1. Funcionalidad de los Chatbots de IA en Dermatología

Los chatbots de IA para el soporte clínico en dermatología están diseñados para llevar a cabo tareas como:

- **Consulta de información médica:** Permiten a los dermatólogos acceder rápidamente a información sobre tratamientos para diversas patologías.
- **Recomendación de tratamientos personalizados:** A través de consultas en lenguaje natural, el chatbot sugiere opciones terapéuticas basadas en los datos del paciente.
- **Asistencia durante la consulta:** Ayudan a los médicos respondiendo preguntas sobre protocolos médicos y recomendaciones basadas en evidencia.

Un ejemplo práctico es el uso de chatbots en sistemas de recomendación de tratamientos para psoriasis, donde se puede consultar la dosis, los efectos secundarios y las alternativas disponibles, lo que agiliza la toma de decisiones clínicas.

2. Arquitectura de los Chatbots Clínicos Basados en IA

Los chatbots avanzados de IA utilizan una arquitectura que combina varias tecnologías para brindar un soporte efectivo:

1. **Modelos de Lenguaje Natural:**

Los modelos como *GPT-4o* procesan las consultas del usuario y generan respuestas contextualmente adecuadas.

2. **Bases de datos vectoriales:**

Utilizadas para almacenar información médica en forma de embeddings, lo que permite realizar consultas semánticas en lugar de búsquedas por palabras clave.

3. **Sistema de recuperación aumentada (RAG):**

Este enfoque combina la generación de texto mediante IA con la recuperación de información relevante. Primero, el chatbot recupera fragmentos de documentos médicos relevantes y, luego, genera una respuesta enriquecida con esta información.

4. **Interfaces interactivas:**

La interacción del usuario se realiza a través de una interfaz web o aplicación móvil que presenta el contenido de manera clara y comprensible.

3. Beneficios de los Chatbots de IA en el Soporte Clínico

- **Acceso rápido a información:** Los chatbots permiten acceder a protocolos y recomendaciones clínicas en segundos.
 - **Reducción de la carga cognitiva:** Al proporcionar respuestas precisas y justificadas, los profesionales de la salud pueden dedicar más tiempo al análisis clínico y menos a la búsqueda de información.
 - **Atención personalizada:** En combinación con datos del paciente, los chatbots pueden generar respuestas adaptadas a cada caso.
-

4. Limitaciones de los Chatbots en el Ámbito Médico

- **Interpretación errónea:** En ocasiones, los modelos de lenguaje pueden malinterpretar consultas ambiguas o incompletas.
 - **Dependencia de los datos:** La precisión de las respuestas depende de la calidad y la actualidad de los documentos con los que se nutre al sistema.
 - **Confianza del usuario:** Es fundamental que el chatbot explique la fuente de sus recomendaciones para generar confianza en los médicos.
-

En el proyecto descrito en este TFM, el chatbot se emplea para asistir a dermatólogos en la personalización de tratamientos para psoriasis mediante un enfoque de recuperación aumentada, proporcionando respuestas que justifican sus recomendaciones basándose en un protocolo médico predefinido.

5. Consideraciones Éticas y de Privacidad

El uso de chatbots de IA en medicina requiere una estricta regulación para garantizar la protección de los datos de los pacientes, cumpliendo normativas como el **Reglamento General de Protección de Datos (RGPD)**. Además, es crucial evitar que los sistemas

generen información incorrecta o dañina, implementando mecanismos de supervisión humana y validación de resultados.

3. METODOLOGÍA

3.1 PROTOCOLO DE PSORIASIS: ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO

El protocolo de psoriasis constituye la base de conocimiento sobre la que se sustenta el sistema de recomendación de tratamientos personalizados. Este protocolo, elaborado con la colaboración de dermatólogos especializados, incluye una descripción detallada de los tipos de psoriasis, criterios de diagnóstico y recomendaciones terapéuticas basadas en las características del paciente. Para integrar de manera efectiva este conocimiento en el sistema, es necesario realizar un análisis exhaustivo y un preprocesamiento adecuado del contenido del protocolo.

3.1.1. Extracción y Preprocesamiento del Protocolo Médico

La primera fase del procesamiento del protocolo médico implica la **extracción del contenido relevante** y su **normalización**. Esto se realiza mediante las siguientes etapas:

1. **Carga del archivo en formato PDF o DOCX:**

El sistema acepta documentos médicos en formato PDF o DOCX que se cargan en la interfaz web mediante un formulario. El archivo se procesa utilizando bibliotecas de lectura de documentos como PyMuPDF y python-docx.

2. **Extracción de texto:**

En el caso de PDFs, la biblioteca fitz (PyMuPDF) se utiliza para recorrer cada página y extraer el contenido textual:

```
doc = fitz.open(stream=pdf_file.read(), filetype="pdf")
texto_completo = []
for pagina in doc:
    texto_completo.append(pagina.get_text())
texto_normalizado = ''.join(texto_completo)
```

3. Normalización del texto:

Para facilitar la recuperación de información, el texto se preprocesa eliminando caracteres especiales, unificando espacios en blanco y convirtiendo todo el contenido a minúsculas:

```
def normalizar_texto(texto):
    texto = texto.lower()
    texto = re.sub(r'\s+', ' ', texto)
    texto = re.sub(r'[\^\w\s]', '', texto)
    return texto
```

3.1.2. Splitting y Generación de Embeddings

La segunda etapa consiste en **fragmentar el texto del protocolo y generar representaciones vectoriales (embeddings)** para cada fragmento. Este proceso permite que el sistema realice consultas semánticas de manera eficiente.

1. División en fragmentos ("splitting")

Dado que los modelos de lenguaje tienen un límite de tokens, el texto completo se divide en segmentos más pequeños mediante la clase RecursiveCharacterTextSplitter de LangChain:

```
splitter = RecursiveCharacterTextSplitter(  
    chunk_size=1000, # Tamaño máximo de cada fragmento  
    chunk_overlap=100, # Superposición entre fragmentos para mantener contexto  
    separators=["\n\n", "\n", " ", ""]  
)  
segmentos = splitter.split_text(texto_normalizado)
```

Esta técnica garantiza que cada fragmento mantenga la coherencia contextual y facilita la recuperación precisa de información.

2. Generación de embeddings:

Cada fragmento se convierte en un vector utilizando modelos avanzados de generación de embeddings, como text-embedding-3-large de OpenAI:

```
response = openai.Embedding.create(  
    input=[segmento],  
    model="text-embedding-3-large"  
)  
embedding_vector = response['data'][0]['embedding']
```

3. Almacenamiento en la base de datos vectorial (Pinecone):

Los embeddings se almacenan en la base de datos Pinecone, una plataforma optimizada para búsquedas en espacios vectoriales de alta dimensión:

```
index.upsert(vectors=[(vector_id, embedding, {"texto": segmento})])
```

3.2 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS VECTORIAL

La base de datos vectorial es un componente clave en el sistema de asistencia médica, ya que almacena las representaciones semánticas (embeddings) del protocolo médico y otros documentos relevantes. Este diseño permite realizar consultas rápidas y precisas, basadas en la similitud semántica en lugar de palabras clave exactas. En este proyecto, se ha utilizado **Pinecone**, una plataforma de búsqueda vectorial optimizada para manejar grandes volúmenes de datos.

3.2.1. Estructura de la Base de Datos Vectorial

La base de datos vectorial se organiza en vectores de alta dimensión, donde cada vector representa un fragmento de texto del protocolo médico o de los documentos personalizados. Estos vectores permiten realizar consultas por similitud, devolviendo los fragmentos más relevantes para una determinada entrada.

- **Identificador del vector (vector_id):** Cada fragmento tiene un identificador único para facilitar su recuperación.
- **Embedding:** Representación numérica generada mediante el modelo de OpenAI, con más de mil dimensiones que codifican el significado semántico del fragmento.
- **Metadatos:** Información adicional asociada al vector, como el nombre del archivo, sección o palabras clave específicas del fragmento.

Ejemplo de un vector almacenado:

```
vector_id = "protocolo_psoriasis_1"  
embedding = [0.123, 0.456, ..., 0.987] # Vector generado por el modelo  
metadata = {"texto": "Fragmento del protocolo: consideraciones sobre comorbilidades"}
```

3.2.2. Flujo de Ingesta de Datos

El flujo de ingesta de datos en la base de datos vectorial sigue los siguientes pasos:

1. **Fragmentación del documento:** El protocolo médico se divide en fragmentos mediante técnicas de splitting (ver sección 3.1.2).
2. **Generación de embeddings:** Cada fragmento se transforma en un vector mediante el modelo de embeddings de OpenAI.
3. **Inserción en Pinecone:** Los vectores se almacenan en Pinecone con su respectivo identificador y metadatos:

```
index.upsert(vectors=[(vector_id, embedding, metadata)])
```

Este proceso garantiza que la base de datos esté constantemente actualizada con los documentos cargados por el usuario, como protocolos médicos personalizados.

3.2.3. Recuperación de Información Basada en Similitud

La recuperación de información en la base de datos vectorial se realiza mediante consultas semánticas. En lugar de buscar coincidencias exactas de palabras, el sistema mide la "distancia" entre los embeddings del texto ingresado y los almacenados, devolviendo los más similares. Se hace uso de la métrica del coseno.

Ejemplo de consulta en Pinecone:

```
resultados = index.query(
    vector=embedding_vector_consulta,
    top_k=20, # Número de resultados más relevantes
    include_metadata=True
)
```

Este fragmento recupera los **20 fragmentos más relevantes** según la similitud con el embedding de la consulta.

3.2.4. Ventajas del Uso de una Base de Datos Vectorial

El uso de una base de datos vectorial aporta diversas ventajas:

- **Velocidad de consulta:** Pinecone está optimizado para realizar búsquedas en miles de embeddings en milisegundos.
 - **Consultas semánticas:** Permite recuperar fragmentos relevantes incluso si el texto ingresado difiere en palabras pero conserva el mismo significado.
 - **Escalabilidad:** La base de datos puede manejar grandes volúmenes de datos sin afectar el rendimiento.
 - **Personalización:** Los usuarios pueden cargar protocolos personalizados y realizar consultas ajustadas a sus necesidades.
-

3.2.5. Desafíos en el Diseño de la Base de Datos Vectorial

A pesar de sus beneficios, el uso de bases de datos vectoriales presenta ciertos desafíos:

- **Espacio de almacenamiento:** Los embeddings pueden ocupar grandes cantidades de memoria, especialmente al almacenar miles de fragmentos.
 - **Actualización de datos:** La actualización constante de la base de datos requiere un manejo cuidadoso para evitar inconsistencias.
 - **Control de versiones:** Cuando los usuarios cargan nuevos documentos, es importante versionar los embeddings para preservar el contexto de consultas previas.
-

3.2.6. Estrategias de Optimización Implementadas

Para garantizar un rendimiento óptimo, se implementaron las siguientes estrategias:

- **Reducción de dimensionalidad:** Se utiliza un modelo de embeddings optimizado para reducir la carga computacional.
- **Control de duplicados:** Se verifica que los fragmentos almacenados no estén duplicados, evitando redundancias.

3.3 PIPELINE DE GENERACIÓN DEL TRATAMIENTO

El pipeline de generación del tratamiento representa el flujo completo de procesamiento de datos del paciente, recuperación de información relevante y generación de una recomendación personalizada mediante inteligencia artificial generativa. Este pipeline está diseñado para integrar múltiples etapas de manera modular y eficiente, asegurando resultados precisos y ajustados al contexto clínico.

3.3.1. Ingesta y Preprocesamiento de Datos del Paciente

La ingesta de datos del paciente es el primer paso del pipeline y puede realizarse de diferentes maneras dependiendo de las preferencias del dermatólogo:

1. **Carga de informes médicos:**

El dermatólogo puede cargar documentos en formato PDF, DOCX o imágenes escaneadas directamente en la web. También dispone de la posibilidad de tomar una fotografía con su móvil al informe médico.

2. **Formulario web:**

Se dispone de un formulario con secciones para ingresar manualmente datos clave del paciente, como:

- Datos demográficos (edad, sexo, peso, altura).
- Antecedentes médicos (alergias, comorbilidades, historial de tratamientos).
- Resultados de pruebas clínicas y hallazgos físicos.

3. **Entrada por voz:**

Se incluye la posibilidad de utilizar entrada de voz, la cual es procesada mediante un motor de reconocimiento de voz y convertida a texto automáticamente.

Preprocesamiento de los datos:

Antes de ser utilizados, los datos se normalizan siguiendo los mismos pasos descritos en la sección 3.1 para eliminar inconsistencias, unificar formatos y preparar la información para la recuperación semántica.

3.3.2. Recuperación de Información Relevante

Esta etapa se encarga de buscar en la base de datos vectorial los fragmentos del protocolo o de los documentos personalizados más relevantes para la consulta.

1. Generación del embedding de la consulta:

Se crea un vector de representación semántica a partir de los datos normalizados del paciente:

```
response_embedding = openai.Embedding.create(  
    input=datos_paciente_normalizados,  
    model="text-embedding-3-large"  
)  
embedding_vector_consulta = response_embedding['data'][0]['embedding']
```

2. Consulta en la base de datos vectorial:

Utilizando el embedding de la consulta, se realiza una búsqueda semántica en Pinecone:

```
resultados = index.query(  
    vector=embedding_vector_consulta,  
    top_k=20, # Número de fragmentos relevantes  
    include_metadata=True  
)
```

Se recuperan los fragmentos que tienen mayor similitud semántica con los datos ingresados.

3. Construcción del contexto:

Los fragmentos recuperados se concatenan para construir un contexto que será utilizado por el modelo de lenguaje durante la generación de la respuesta:

```
contexto = " ".join([res["metadata"]["texto"] for res in resultados["matches"]])
```

3.3.3. Generación de Tratamientos con IA Generativa

En esta etapa, el modelo de lenguaje (en este caso, GPT-4o) genera una recomendación de tratamiento personalizada a partir del contexto construido:

1. Creación del prompt:

Se elabora un prompt detallado que incluye:

- Información del paciente (ingresada por el dermatólogo).
- Fragmentos recuperados del protocolo médico o documentos personalizados.
- Instrucciones específicas para generar una respuesta completa y estructurada.

Ejemplo de prompt:

```
prompt = f"""
Datos del paciente: {datos_paciente_normalizados}.
Información relevante: {contexto}.
Proporciona un tratamiento recomendado para la psoriasis basado en los datos anteriores. Indica:
- Fármaco recomendado.
- Dosis y frecuencia.
- Justificación del tratamiento.
- Consideraciones especiales.
"""
```

2. Generación de la respuesta:

El modelo genera una respuesta detallada en formato Markdown:

```
respuesta = openai.ChatCompletion.create(
```

```
model="gpt-4",  
messages=[{"role": "user", "content": prompt}]  
)  
tratamiento_generado = respuesta["choices"][0]["message"]["content"]
```

3. Formato de la respuesta:

La respuesta se presenta en un formato amigable y visualmente atractivo utilizando un conversor de Markdown a HTML para mostrar títulos, listas y resaltados:

```
tratamiento_html = markdown.markdown(tratamiento_generado)
```

3.3.4. Validación y Retroalimentación

Una vez generado el tratamiento, el dermatólogo puede revisar la propuesta y realizar ajustes según su criterio clínico. Además, se ofrece la posibilidad de interactuar con un chatbot de soporte para aclarar dudas sobre la recomendación o consultar información adicional.

Beneficios del Pipeline de Generación de Tratamientos

- **Personalización:** El pipeline permite generar recomendaciones basadas en los datos específicos de cada paciente, ajustándose a las comorbilidades, antecedentes y características clínicas.
- **Flexibilidad:** Los dermatólogos pueden elegir entre múltiples modos de ingreso de datos (documentos, formularios, voz).

- **Interactividad:** La integración de un chatbot mejora la experiencia de uso al proporcionar soporte interactivo durante la revisión del tratamiento.
- **Eficiencia:** La recuperación de información relevante y la generación automática de respuestas reducen el tiempo necesario para elaborar un informe detallado.

3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL CHATBOT PARA SOPORTE INTERACTIVO

El chatbot implementado en este proyecto cumple la función de proporcionar un canal de soporte interactivo para que los dermatólogos puedan realizar consultas sobre los tratamientos generados. A continuación, se detalla cómo ha sido diseñado, configurado e integrado este componente clave en el sistema.

Arquitectura del Chatbot

El chatbot está desarrollado utilizando **Streamlit** para la interfaz de usuario, **Pinecone** para la recuperación de fragmentos de texto relevantes, **OpenAI** para la generación de embeddings, y **Gemini** de **Google Generative AI** para la respuesta generativa. Esto permite que el chatbot responda a las consultas con información precisa y contextualizada.

Flujo de Operación del Chatbot

El funcionamiento del chatbot sigue los siguientes pasos:

1. Inicio de Sesión e Interfaz de Usuario

- El chatbot se ejecuta en una página web de Streamlit con un diseño sencillo y accesible.
- La interfaz contiene:
 - Un historial de conversación donde se muestran las interacciones previas.
 - Un campo de entrada donde el usuario puede escribir su consulta.
 - Un botón para enviar la pregunta.

2. Descarga de Información del Paciente y Tratamiento Generado

El chatbot descarga automáticamente los archivos con los datos del paciente y el tratamiento generado desde URLs específicas:

```
resp = requests.get(txt_tratamiento_url)
if resp.status_code == 200:
    texto_tratamiento = resp.text
```

Estos archivos permiten que el chatbot tenga acceso al contexto clínico necesario para responder de manera adecuada.

3. Generación de Embeddings y Búsqueda de Información

Cuando el dermatólogo envía una consulta:

1. Generación del embedding:

Se crea un vector de representación semántica de la consulta utilizando OpenAI:

```
vector = generar_embeddings(query)
```

2. Consulta en la base de datos vectorial:

El vector se utiliza para realizar una búsqueda semántica en Pinecone, recuperando los fragmentos de texto relevantes:

```
resultados = index.query(  
    vector=vector,  
    top_k=5,  
    include_metadata=True  
)
```

3. Construcción del contexto:

Los fragmentos recuperados se concatenan para formar la fuente de información:

```
fragmentos_recuperados = " ".join(textos_similares)
```

4. Creación del Prompt para la Generación de Respuestas

Con la información del formulario, el tratamiento generado y los fragmentos recuperados, se construye un prompt detallado para el modelo generativo:

```
prompt = f"""  
Eres un chatbot inteligente especializado en Dermatología. Tu misión es ayudar a los  
dermatólogos con dudas sobre tratamientos de psoriasis.  
Formulario del paciente: {texto_formulario}.  
Tratamiento generado: {texto_tratamiento}.  
Fuente de datos: {fragmentos_recuperados}.  
Consulta del dermatólogo: {query}.  
"""
```

Este prompt asegura que la respuesta sea fiel a la información proporcionada y que se adapte al contexto clínico del paciente.

5. Generación de Respuestas con Gemini AI

El modelo **Gemini 1.5 Flash** es utilizado para generar la respuesta:

```
response = model.generate_content(prompt)
respuesta = response.candidates[0].content.parts[0].text
```

El modelo devuelve una respuesta clara y concisa basada en la información proporcionada. En caso de que la consulta sea ambigua o insuficiente, el chatbot pide más detalles al usuario en lugar de improvisar respuestas.

6. Interfaz de Respuesta y Actualización del Historial

La respuesta generada se muestra en el historial de conversación de manera inmediata:

```
st.session_state["messages"].append({"role": "assistant", "content": respuesta})
```

Esto permite mantener un registro completo de la interacción, lo que mejora la experiencia del usuario y facilita el seguimiento de las consultas realizadas.

Consideraciones de Diseño

- **Precisión y control:** Se han definido filtros en Pinecone para limitar los fragmentos recuperados únicamente a los textos relevantes para la consulta específica.
 - **Amabilidad y claridad:** El modelo ha sido instruido para responder de manera directa y profesional, evitando saludos innecesarios o frases de despedida.
 - **Gestión de errores:** En caso de que no se pueda descargar el tratamiento o el formulario, el sistema genera mensajes de advertencia y continúa funcionando con la información disponible.
-

Beneficios del Chatbot

- **Soporte en tiempo real:** Los dermatólogos pueden resolver sus dudas de manera inmediata mientras revisan el tratamiento.
- **Contexto completo:** Al acceder tanto a los datos del paciente como al tratamiento generado, el chatbot proporciona respuestas más precisas y fundamentadas.

- **Interacción natural:** La interfaz basada en Streamlit ofrece una experiencia fluida y amigable para el usuario, con una visualización intuitiva de la conversación.

4. DESARROLLO TECNOLÓGICO

4.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura del sistema de asistencia médica para psoriasis está diseñada de manera modular, con componentes interconectados que trabajan en conjunto para proporcionar recomendaciones de tratamientos personalizados, garantizar el almacenamiento eficiente de datos y habilitar una interacción fluida mediante un chatbot. Esta sección detalla los principales bloques funcionales del sistema y cómo se relacionan entre sí.

Visión General de la Arquitectura

La arquitectura del sistema se puede dividir en los siguientes componentes principales:

1. **Interfaz de Usuario (Frontend)**
2. **Servidor de Aplicación (Backend)**
3. **Base de Datos Vectorial**
4. **Modelo de IA Generativa**
5. **Servicios de Integración y APIs Externas**

1. Interfaz de Usuario (Frontend)

El frontend está diseñado utilizando **Streamlit** y **Flask**, proporcionando una experiencia de usuario intuitiva tanto para la generación de tratamientos como para la interacción con el chatbot. Incluye:

- Formularios para cargar datos de los pacientes.
- Opciones para cargar archivos PDF escaneados, imágenes de informes o incluso datos por voz.
- Visualización interactiva del historial de mensajes en el chatbot.

Este enfoque permite que el usuario interactúe con el sistema mediante cualquier navegador web sin necesidad de instalar aplicaciones adicionales.

2. Servidor de Aplicación (Backend)

El servidor backend se implementa con **Flask**, un framework ligero de Python que facilita la gestión de solicitudes HTTP y la comunicación con los diferentes módulos del sistema:

- **Gestión de consultas:** Recibe los datos del paciente y las instrucciones avanzadas del dermatólogo.
 - **Preprocesamiento:** Normaliza y procesa los textos para generar embeddings adecuados.
 - **Control de flujo:** Coordina la interacción entre la base de datos vectorial y los modelos de generación de respuestas.
-

3. Base de Datos Vectorial

La base de datos vectorial es un componente clave para la **recuperación aumentada de información (RAG)** y está implementada utilizando **Pinecone**, un servicio especializado en la gestión de índices de alta dimensión:

- **Almacenamiento de embeddings:** Los segmentos del protocolo médico de psoriasis y otros documentos relevantes son convertidos en embeddings y almacenados en Pinecone.
- **Consulta semántica:** Cuando se realiza una búsqueda, el sistema recupera los fragmentos más relevantes basándose en la similitud semántica del contenido.

Este enfoque permite realizar búsquedas rápidas y precisas, incluso en grandes volúmenes de texto.

4. Modelo de IA Generativa

El sistema emplea modelos generativos avanzados para responder a consultas médicas y generar recomendaciones personalizadas. Se utilizan dos modelos principales:

- **GPT-4o (OpenAI):** Para la generación del tratamiento basado en los datos del paciente.
- **Gemini 1.5 (Google Generative AI):** Integrado en el chatbot para proporcionar respuestas en lenguaje natural de forma amigable y clara.

Estos modelos generan texto mediante prompts cuidadosamente diseñados, adaptándose al contexto clínico y las necesidades del dermatólogo.

5. Servicios de Integración y APIs Externas

El sistema se integra con múltiples APIs para enriquecer su funcionalidad:

- **Pinecone API:** Para interactuar con la base de datos vectorial.
- **OpenAI API:** Para la generación de embeddings y respuestas.
- **Google Generative AI API:** Para generar contenido en el chatbot.
- **Reconocimiento de voz:** Para convertir entradas de voz en texto cuando el dermatólogo opta por dictar la información del paciente.

Esta modularidad facilita futuras extensiones, permitiendo añadir nuevos servicios o reemplazar componentes con mínima complejidad. Se puede observar un diagrama visual de la arquitectura en la *Imagen 1*.

Diagrama de Arquitectura del Sistema

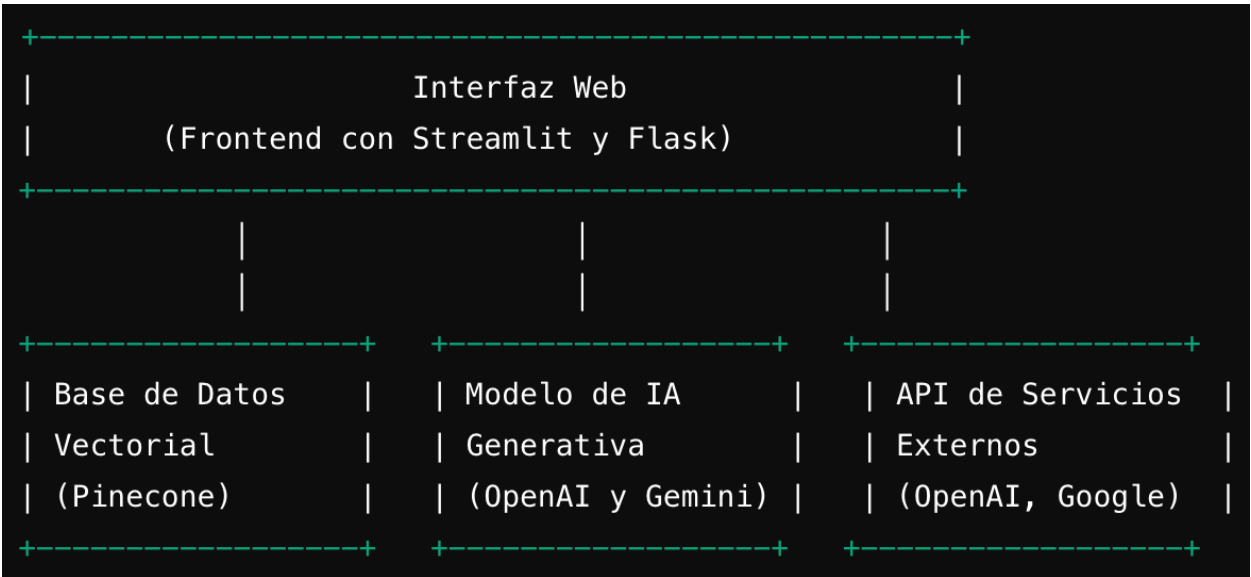


Imagen 1: Arquitectura del Sistema

Detalles Técnicos

- 1. Concurrencia y Sesiones:**
El backend utiliza **Flask-Session** para mantener sesiones seguras de usuarios y gestionar las consultas de cada dermatólogo.
- 2. Escalabilidad:**
El uso de bases de datos vectoriales en la nube, como Pinecone, permite manejar grandes volúmenes de datos sin comprometer la velocidad de las consultas.

3. Seguridad:

Las claves de API y datos sensibles se almacenan de manera segura mediante las configuraciones de **Streamlit Secrets**, evitando accesos no autorizados.

Flujo de Datos del Sistema

1. Ingreso de Información:

- **El dermatólogo introduce los datos del paciente mediante un formulario, carga un archivo o utiliza entrada por voz.**

2. Procesamiento y Recuperación:

- **Los datos se preprocesan y se generan embeddings para consultar los fragmentos relevantes en la base de datos.**

3. Generación de Respuesta:

- **Los fragmentos recuperados y la información del paciente se envían al modelo generativo para obtener el tratamiento o responder a consultas específicas.**

4. Interacción en el Chatbot:

- **El dermatólogo interactúa con el chatbot, que utiliza las fuentes de datos disponibles para resolver las dudas.**

4.2 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

El sistema de asistencia médica para psoriasis se ha desarrollado utilizando un conjunto de tecnologías cuidadosamente seleccionadas. La elección de cada componente se fundamenta en sus características específicas, capacidad de integración y ventajas frente a alternativas disponibles. A continuación, se describen las tecnologías utilizadas en cada uno de los bloques principales y las justificaciones técnicas que respaldan su elección.

4.2.1. Generación de tratamientos médicos para Psoriasis

Modelo de Lenguaje: GPT-4o (OpenAI)

Descripción: GPT-4o es un modelo de lenguaje de gran escala que utiliza millones de parámetros para comprender y generar texto de manera coherente. Este modelo se emplea para generar tratamientos personalizados basados en los datos del paciente.

Justificación de la elección:

- **Rendimiento líder en GEN AI:** GPT-4o ha demostrado un rendimiento superior en tareas de comprensión y generación de lenguaje natural en múltiples dominios, incluidos textos médicos.
- **Capacidad de contexto:** GPT-4o puede manejar prompts extensos, permitiendo un análisis exhaustivo de los datos del paciente y la fuente del protocolo médico. Esto posibilita la alternativa de incluir en un futuro diversos protocolos médicos en modalidad NO-RAG si se obtuviesen mejores resultados.
- **Alternativas evaluadas:** Modelos como Llama y Claude 3.5 Sonnet fueron considerados, pero GPT-4o mostró un rendimiento más consistente en términos de precisión médica.

Limitación: Dependencia de conexión a internet y limitaciones de costos asociados a las consultas.

4.2.2. Base de Datos Vectorial

Pinecone

Descripción: Pinecone es un servicio de base de datos vectorial diseñado para búsquedas semánticas rápidas y escalables mediante índices de alta dimensión que representan texto como vectores.

Justificación de la elección:

- **Alta velocidad:** Pinecone permite búsquedas de similitud en tiempo real, incluso con millones de registros, algo que alternativas como Elasticsearch con módulos adicionales pueden no ofrecer con la misma eficiencia.
- **Manejo sencillo de índices:** A diferencia de alternativas como FAISS (Facebook AI Similarity Search), Pinecone proporciona un servicio gestionado en la nube, eliminando la necesidad de infraestructura propia.
- **Escalabilidad:** La capacidad de escalar automáticamente sin degradación del rendimiento es clave para manejar grandes volúmenes de embeddings generados por los documentos médicos.

Alternativas evaluadas:

- **FAISS:** Aunque es una opción gratuita, requiere configuración y mantenimiento manual, lo que incrementa la complejidad del sistema.
 - **Milvus:** Aunque ofrece características similares, Pinecone tiene una interfaz más amigable y menor curva de aprendizaje.
-

4.2.3. IA Generativa

Modelo Gemini 1.5 (Google Generative AI)

Descripción: Gemini 1.5 es un modelo generativo de Google diseñado para comprender consultas y generar respuestas en lenguaje natural. En este proyecto, se utiliza en el chatbot para responder preguntas de los dermatólogos.

Justificación de la elección:

- **Optimización para diálogos:** Gemini está específicamente entrenado para mantener conversaciones naturales y responder de manera concisa y precisa.
- **Precisión en dominios especializados:** En pruebas comparativas, Gemini 1.5 mostró una menor propensión a generar contenido irrelevante en comparación con otros modelos generativos.
- **Interoperabilidad:** Gracias a su API bien documentada, su integración con Streamlit fue sencilla.

Alternativas evaluadas:

- **GPT-4o (OpenAI):** Aunque también fue considerado para el chatbot, se optó por Gemini debido a su consumo gratuito vía API._____

4.2.4. Interfaz Web para Usuarios*Streamlit y Flask***Descripción:**

- **Streamlit:** Framework de Python para la creación rápida de aplicaciones web interactivas mediante scripts de Python.
- **Flask:** Framework ligero que se utiliza para manejar peticiones HTTP y administrar rutas en el backend.

Justificación de la elección:

- **Simplicidad y rapidez de desarrollo:** Streamlit permite crear interfaces web funcionales con pocas líneas de código, lo que acelera el proceso de desarrollo.
- **Interactividad:** Proporciona elementos interactivos, como cuadros de texto y botones, que facilitan la interacción del dermatólogo con el sistema.
- **Compatibilidad:** Flask, al ser compatible con otras bibliotecas de Python, facilita la gestión de sesiones, la autenticación y la comunicación con el modelo generativo.

Alternativas evaluadas:

- **Django:** Aunque es un framework más robusto, su uso para un proyecto de estas características podría ser excesivo debido a su complejidad y al enfoque orientado a aplicaciones monolíticas.
- **React + FastAPI:** Aunque ofrece más flexibilidad y rendimiento, requiere un desarrollo más extenso y conocimiento avanzado de JavaScript.



The image shows a web application interface titled "Consulta de Tratamiento para Dermatología mediante IA". The interface is designed for a dermatology consultation and includes several input fields and buttons. At the top, there is a logo consisting of a grid of dots. Below the title, the form is organized into sections: "Seleccione una patología:" with a dropdown menu showing "Psoriasis"; "Seleccione el documento para alimentar el modelo de IA: ①" with a dropdown menu showing "Por defecto"; "Instrucciones avanzadas para el modelo: ①" with a text area containing "Escriba aquí las instrucciones avanzadas..."; "Seleccione Modo de Trabajo:" with a dropdown menu showing "Cargar Informe Médico del Paciente"; "Elegir archivo ①" with a file selection button "Choose File" and the text "No file chosen"; "¿Desea cargar una imagen de la patología del paciente? ①" with a dropdown menu showing "Sin Imagen"; and "Seleccione el idioma de la respuesta:" with a dropdown menu showing "Español". At the bottom, there are two buttons: "Generar Respuesta" and "Descargar Formulario Tipo".

Imagen 2: Muestra de la página web del proyecto

¿Qué te parecen los tratamientos generados? ¿Alguna sugerencia?

Enviar reseña

¿Cómo funciona?

Este proyecto nace con el objetivo de realizar una aproximación hacia el mejor tratamiento disponible para los pacientes con Psoriasis según el Protocolo de Consenso de Psoriasis en Castilla la Mancha. Para ello, se ha desarrollado un modelo de IA que analiza y aprende sobre la Psoriasis y sus diversos tratamientos, siendo capaz de determinar el tratamiento ideal para el paciente. Únicamente se ha de cargar un formulario tipo el cual pueden descargar en el botón superior con los datos del paciente y pulsar en el botón "Generar Respuesta". A continuación, el modelo generará un informe individualizado sobre el paciente con la justificación del tratamiento elegido así como consideraciones a tener en cuenta sobre el mismo.

Nuestros Colaboradores





Enlaces Recomendados

 UpToDate
  ACTAS
  AEDV
  AAD
  EADV
  ICOMT
  Fisterra
  NEJM
  GPs

Imagen 3: Muestra de la página web del proyecto

Respuesta Generada

Plan de Tratamiento Personalizado para Paciente con Psoriasis Moderada

Fármaco recomendado: Calcipotriol en combinación con un corticoide tópico (Betametasona).

La recomendación se basa en que el tipo de psoriasis de la paciente (moderada, localizada en cuero cabelludo y cuello) puede ser inicialmente manejada con un tratamiento tópico combinado. Esta combinación es considerada efectiva para reducir la inflamación y controlar la hiperproliferación celular en esta localización particular, garantizando un buen perfil de seguridad y tolerabilidad. Según el *Protocolo de Psoriasis de SESCOAM*, estos casos son ideales para un manejo tópico inicial antes de considerar terapias sistémicas.

Dosis y frecuencia:

- **Calcipotriol/Betametasona en gel o espuma tópica:** Aplicar una capa delgada sobre las lesiones visibles **una vez al día**, preferiblemente por la noche.
- **Duración inicial del tratamiento:** 4 semanas. Posteriormente, evaluar la respuesta clínica (PASI, DLQI) para decidir la continuidad del tratamiento o la necesidad de ajustar la estrategia terapéutica.

Consideraciones especiales: 1. Evitar la exposición al sol en las áreas tratadas. En caso de coincidencia, debe usarse protector solar. 2. Debe controlarse que la paciente no emplee el medicamento más allá de la dosis recomendada, ya que el exceso puede aumentar el riesgo de absorción sistémica del corticoide. 3. Realizar seguimiento periódico del Índice de Severidad de la Psoriasis (PASI) y el Índice de Calidad de Vida Dermatológica (DLQI) para evaluar la efectividad.

Justificación de la elección del fármaco:

El **calcipotriol** es un análogo de la vitamina D que regula la proliferación y diferenciación celular, mientras que la **betametasona** es un potente corticoide que actúa reduciendo rápidamente la inflamación. Estos factores son esenciales para psoriasis localizada como en el cuero cabelludo, donde otras terapias tópicos pueden ser menos efectivas o mal toleradas por el paciente. Según el *Protocolo de Psoriasis de SESCOAM*, la combinación de análogos de la vitamina D y corticoides tópicos tiene un rol central en el manejo de psoriasis moderada localizada.

Previsión de evolución:

Con la terapia indicada, se espera una reducción evidente de las placas y la inflamación en 2 a 4 semanas. Al completar la primera fase del tratamiento, la paciente debería experimentar una mejoría en más del 50-75% de las lesiones, acompañado de una mejora en su calidad de vida. La terapia podría mantenerse en ciclos intermitentes, dependiendo de la evolución del cuadro y para minimizar posibles efectos secundarios.

Instrucciones de administración:

1. Antes de aplicar el gel de **calcipotriol/betametasona**, limpiar suavemente la piel con agua tibia y secar bien las áreas afectadas.
2. Aplicar una pequeña cantidad del gel con las yemas de los dedos, exclusivamente sobre las placas psoriásicas, evitando zonas no afectadas.
3. Lavarse las manos después de cada aplicación para prevenir el contacto accidental con la cara o los ojos.

Efectos secundarios esperados:

Los efectos secundarios son generalmente **locales** e incluyen:

1. Irritación cutánea (ardor, prurito).
2. Hipopigmentación o adelgazamiento de la piel en caso de uso prolongado del corticoide.
3. Riesgo mínimo de absorción sistémica del corticoide si se utiliza de forma adecuada.

Manejo: Disminuir la frecuencia de aplicación en caso de irritación y evitar el uso excesivo del tratamiento. Si las molestias persisten, se debe reconsiderar el esquema terapéutico.

Pruebas complementarias sugeridas durante el seguimiento:

Aunque la paciente no presenta comorbilidades relevantes, se recomienda mantener una vigilancia periódica para detectar factores de riesgo cardiovascular y renal según el *Protocolo de Psoriasis de SESCOAM*. Además, el seguimiento de la respuesta al tratamiento se realizará inicialmente a las 4 semanas y luego cada 12 semanas en revisiones de control.

Esta estrategia ofrece un enfoque personalizado y seguro para el manejo de la psoriasis en placas localizada, priorizando el bienestar y la calidad de vida de la paciente.

Imagen 4: Muestra de tratamiento generado por el modelo

Justificación de las secciones utilizadas del protocolo de psoriasis en el tratamiento generado:

1. Fármaco recomendado y Justificación de la elección del fármaco:

- **Fragmento del protocolo:**

"Los tratamientos tópicos suelen ser la primera línea de defensa en pacientes con psoriasis leve o localizada. Entre estos tratamientos se incluyen: Corticoides tópicos: ayudan a reducir la inflamación y la picazón... Análogos de la Vitamina D: Normalizan el crecimiento celular de la piel."

- Este fragmento respalda la recomendación del calcipotriol (análogo de vitamina D) y la betametasona (corticoide) como combinación para controlar la hiperproliferación celular y la inflamación.

- **Fragmento del protocolo:**

"Es una opción adecuada en localizaciones especiales (uñas, cuero cabelludo y palmoplantar)."

- Este punto justifica el uso de calcipotriol y betametasona en la localización específica del cuero cabelludo.

- **Fragmento del protocolo:**

"En psoriasis de cuero cabelludo, el 43,4% de los pacientes moderada-grave tratados con apremilast alcanzaron una reducción del Scalp Physician Global Assessment; los corticoides y análogos de vitamina D también son considerados efectivos en esta localización."

- Refuerza la efectividad de esta combinación terapéutica en el cuero cabelludo para la inflamación y escamas.

2. Dosis y frecuencia del tratamiento:

- **Fragmento del protocolo:**

"Los tratamientos tópicos suelen utilizarse en ciclos, una vez al día, y se evalúa su eficacia regularmente con PASI y DLQI."

- Este fragmento respalda la recomendación de aplicar **una vez al día por 4 semanas**. La evaluación posterior con escalas PASI y DLQI también se deriva del protocolo.

3. Consideraciones especiales:

- **Fragmento del protocolo:**

"Debe controlarse que el paciente no emplee el medicamento más allá de la dosis recomendada, ya que puede aumentar el riesgo de efectos sistémicos."

- Fundamenta el seguimiento tanto para control de dosis como para efectos secundarios.

- **Fragmento del protocolo:**

"Evitar la exposición solar prolongada en zonas tratadas y aconsejar protector solar."

- Confirma la advertencia de evitar exposición solar en áreas tratadas.

4. Efectos secundarios esperados:

- **Fragmento del protocolo:**

"Los efectos secundarios de los tratamientos tópicos son principalmente locales: irritación cutánea, hipopigmentación o adelgazamiento de la piel en el caso de uso prolongado de corticoides tópicos."

- Este apartado describe claramente los efectos secundarios locales señalados en el tratamiento.

5. Pruebas complementarias sugeridas durante el seguimiento:

- **Fragmento del protocolo:**

"El PASI debe ser evaluado en todas las consultas para valorar la actividad de la enfermedad... seguimiento cada 4 semanas inicialmente, y luego cada 12 semanas si el tratamiento es efectivo."

- Apoya las recomendaciones de seguimiento inicial a 4 semanas y posteriormente más espaciado, así como la necesidad de realizar controles periódicos para monitorizar otros factores de riesgo.

6. Previsión de evolución del tratamiento:

- **Fragmento del protocolo:**

"El objetivo terapéutico para la psoriasis en placas después de tres meses es una mejoría del 75% en comparación con el estado inicial (PASI)."

- Este fragmento se aplicó para fundamentar la expectativa de mejora del 50-75% en 2-4 semanas.

7. Instrucciones de administración:

- **Fragmento del protocolo:**

"Aplicar tópicos con una capa delgada, exclusivamente sobre las placas visibles, y evitar el contacto con áreas no afectadas. Lavarse las manos tras la aplicación."

- Coincide directamente con las instrucciones sanitarias incluidas en el plan.

Imagen 5: Muestra de la justificación del tratamiento generado

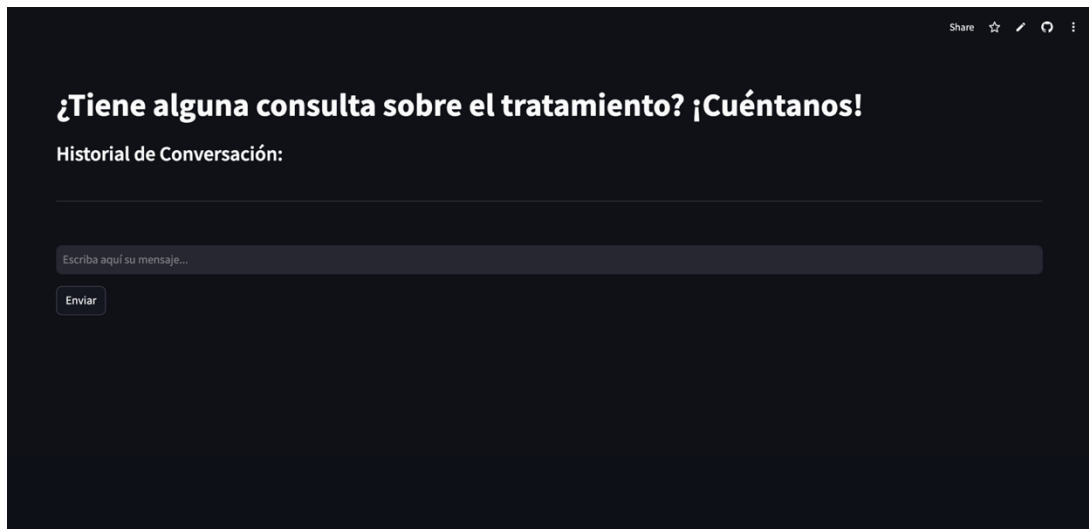


Imagen 6: Muestra de la interfaz del chatbot



Imagen 7: Muestra de la interfaz del chatbot en funcionamiento implementado en la página web

Desde la *Imagen 2* a la *Imagen 7*, se muestran representaciones visuales de la página web elaborada, así como ejemplo de tratamiento generado y su respectiva justificación. Además, también se puede observar el diseño del chatbot interactivo implementado en la web.

Se puede acceder al enlace de la página web en el apéndice 9.4 *ENLACE DE LA PÁGINA WEB DEL PROYECTO*.

En adición, se puede consultar el código completo de la página web y chatbot interactivo del proyecto en los apéndices 9.5 *CÓDIGO COMPLETO DE LA PÁGINA WEB DEL PROYECTO* y 9.6 *CÓDIGO COMPLETO DEL CHATBOT INTERACTIVO DEL PROYECTO*.

4.2.5. Almacenamiento de Archivos

Descripción: Se utilizan directorios de almacenamiento locales para gestionar formularios y tratamientos generados.

Justificación de la elección:

- **Facilidad de implementación:** Para los archivos de entrada y salida, los directorios locales proporcionan una solución rápida y efectiva para entornos de prueba y desarrollo.
- **Simplicidad:** No fue necesario un sistema complejo de almacenamiento en nube, ya que el volumen de archivos es limitado.

Alternativas evaluadas:

- **Amazon S3:** Aunque es ideal para grandes volúmenes de datos y redundancia, se descartó para evitar complejidad innecesaria y costes adicionales.

4.2.6. APIs de Soporte

- **Requests:** Para descargar formularios y tratamientos desde servidores externos.
- **SpeechRecognition** y **webkitSpeechRecognition:** Para la entrada de voz del dermatólogo.
- **ReportLab** y **WeasyPrint:** Para la generación de reportes en PDF de los tratamientos generados.

Justificación de la elección:

- **Requests:** Simple y efectivo para realizar peticiones HTTP.
- **SpeechRecognition:** Biblioteca ampliamente utilizada con soporte para múltiples idiomas.
- **WeasyPrint:** Permite crear PDFs bien formateados, con soporte para HTML y CSS.

4.3 INTEGRACIÓN DE MÓDULOS

La arquitectura del sistema de asistencia médica para psoriasis se compone de varios módulos independientes, cada uno con un propósito específico. La correcta integración de estos componentes asegura la fluidez del flujo de datos desde la entrada del usuario hasta la generación de respuestas y la visualización en la interfaz web. En esta sección, se detalla cómo se integran los distintos módulos para proporcionar una experiencia optimizada y un rendimiento robusto.

4.3.1. Estructura General del Sistema

El sistema se basa en una **arquitectura modular y distribuida**, donde cada componente realiza una función bien definida:

1. **Interfaz web (Streamlit + Flask):** Recibe las consultas y entradas del dermatólogo.
 2. **Backend de procesamiento (Flask):** Administra las solicitudes HTTP y gestiona el flujo de datos.
 3. **Módulo de búsqueda semántica (Pinecone):** Recupera los fragmentos de información relevantes mediante consultas basadas en embeddings.
 4. **Módulo de generación de texto (GPT-4o y Gemini 1.5):** Genera tratamientos personalizados y responde consultas a través del chatbot.
 5. **Módulo de entrada de voz y generación de PDF:** Procesa la entrada de voz y genera reportes enviabiles por correo electrónico en formato PDF.
-

4.3.2. Flujo de Datos

El flujo de datos entre los módulos sigue un esquema claramente definido:

1. **Carga de datos médicos del paciente:**
 - El dermatólogo puede cargar datos en la interfaz web mediante formularios o subir archivos en formatos PDF y DOCX.
 - En caso de optar por entrada de voz, los datos son transcritos automáticamente mediante reconocimiento de voz.
2. **Procesamiento inicial y almacenamiento temporal:**
 - Flask recibe los datos y los almacena temporalmente en el servidor.
 - Los datos del paciente se normalizan y se preparan para ser enviados al módulo de recuperación de información.
3. **Consulta al índice vectorial (Pinecone):**
 - Se generan embeddings de los datos del paciente y se realizan consultas al índice de Pinecone.
 - Pinecone devuelve los fragmentos más relevantes basados en su similitud con los datos del paciente.
4. **Generación de respuesta con modelos de IA:**
 - Los fragmentos recuperados se envían como contexto al modelo de lenguaje (GPT-4o o Gemini 1.5).
 - En el caso del chatbot, la consulta del dermatólogo también se añade al prompt.
 - El modelo genera una respuesta personalizada que se presenta en la interfaz.
5. **Presentación de resultados:**
 - Los resultados se muestran en la interfaz Streamlit de manera interactiva.

- El dermatólogo puede enviar al correo electrónico que desee un informe en PDF con el tratamiento generado.
-

4.3.3. Integración de la Interfaz Web con el Backend

El sistema utiliza **Flask** y **Streamlit** como interfaces principales, las cuales se comunican con el backend mediante peticiones HTTP. Esta arquitectura desacoplada permite flexibilidad en la gestión de las rutas y las respuestas generadas:

- Streamlit envía las consultas del chatbot al backend mediante solicitudes HTTP.
- Flask gestiona la sesión del usuario y autentica el ID del dermatólogo.
- La respuesta del modelo se envía de vuelta al frontend para su visualización interactiva.

Ventajas:

- **Separación de responsabilidades:** Permite mantener un código limpio y modular.
 - **Escalabilidad:** La arquitectura basada en peticiones HTTP permite distribuir la carga en distintos servidores si es necesario.
-

4.3.4. Comunicación con la Base de Datos Vectorial (Pinecone)

La integración con **Pinecone** se realiza mediante la API proporcionada por el servicio:

1. **Generación de embeddings:** El texto del paciente y la consulta del dermatólogo se convierten en vectores utilizando el modelo de OpenAI.
2. **Consulta al índice:** Se envían los vectores a Pinecone para recuperar fragmentos relacionados.
3. **Formato de resultados:** Pinecone devuelve un conjunto de textos relevantes con sus respectivos metadatos, los cuales se utilizan para enriquecer el contexto enviado al modelo generativo.

Puntos destacados:

- **Consultas en tiempo real:** Pinecone permite recuperar información de manera rápida, con una latencia mínima.
- **Simplificación:** Gracias a la API de Pinecone, la integración es directa y no requiere una gestión manual de índices complejos.

En la *Imagen 8* se presenta una muestra de un vector indexado en Pinecone.

2	ID	VALUES	
	125	0.00508165127, 0.0120237041, -0.00590849621, -0.00568455923, 0.0252876747, 0.0307540391, -0.0550311282, 0.00749328267, 0.0131261637, 0.0364960...	  
SCORE			
0.8377	METADATA		
	texto:	*Informe de Posicionamiento Terapéutico (IPT) de la AEMPS: Bimekizumab se puede considerar una alternativa terapéutica a otros biológicos de alta eficacia, en segunda línea de tratamiento de pacient...	

Imagen 8: Muestra de vector indexado en Pinecone

4.3.5. Interacción con los Modelos de Lenguaje

La interacción con los modelos de lenguaje (GPT-4o y Gemini 1.5) se realiza mediante sus respectivas APIs:

- **GPT-4o (OpenAI):** Utilizado principalmente para la generación de tratamientos.
- **Gemini 1.5 (Google Generative AI):** Utilizado en el chatbot para responder de forma interactiva y precisa.

Los prompts se construyen con información detallada que incluye:

- Datos del paciente.
 - Fragmentos recuperados de Pinecone.
 - Instrucciones avanzadas personalizadas según las necesidades del dermatólogo.
-

4.3.6. Generación de Reportes PDF

La generación de reportes PDF se realiza utilizando **WeasyPrint**, que convierte el contenido en formato HTML a PDF de manera sencilla y bien formateada. Este módulo permite al dermatólogo enviar el tratamiento completo por correo electrónico para compartir con otros especialistas.

Ventajas:

- **Formato profesional:** El PDF generado respeta el formato visual con encabezados, negritas y párrafos bien estructurados.
 - **Compatibilidad:** Se evita el uso de soluciones propietarias, garantizando la portabilidad de los archivos.
-

4.3.7. Sincronización y Estado de Sesión

Streamlit gestiona el estado de la sesión para mantener un historial de mensajes durante la interacción con el chatbot. Esto permite:

- Mantener el contexto de la conversación sin perder datos entre interacciones.
 - Re-renderizar la página al enviar nuevos mensajes sin perder el contenido previo.
-

4.3.8. Seguridad y Manejo de Acceso

Para proteger el acceso al sistema:

- Los IDs de los dermatólogos se verifican al inicio de cada sesión.
- Las claves API para acceder a los servicios de OpenAI, Pinecone y Gemini se gestionan mediante las **credenciales seguras de Streamlit**.

5 RESULTADOS

5.1 CASOS DE USO Y EJEMPLOS

En esta sección, se presentan ejemplos prácticos de cómo el sistema de asistencia médica para psoriasis es utilizado en un entorno clínico real. Los casos de uso ilustran las distintas funcionalidades implementadas y cómo estas contribuyen a la generación de tratamientos personalizados y a la interacción eficiente con los dermatólogos.

5.1.1. Caso de Uso 1: Generación de Tratamiento Personalizado

Descripción:

El dermatólogo carga los datos de un paciente con psoriasis en la plataforma mediante un formulario PDF o ingresando la información manualmente a través de la interfaz web. El objetivo es recibir una recomendación de tratamiento optimizada basada en el historial médico y las características del paciente.

Flujo del Caso de Uso:**1. Entrada de datos:**

- Edad: 45 años.
- Sexo: Masculino.
- Peso: 85 kg.
- Tipo de psoriasis: Psoriasis en placas moderada.
- Historial previo: Tratamientos con corticoides tópicos sin éxito.
- Comorbilidades: Hipertensión.

2. Procesamiento:

- El sistema utiliza los datos del paciente para generar embeddings y consultar la base de datos vectorial.
- Los fragmentos relevantes del protocolo médico son recuperados y enviados al modelo de lenguaje junto con los datos del paciente.

3. Generación de tratamiento:

- El modelo sugiere un tratamiento basado en **Secukinumab** (biológico anti-IL-17), indicando la dosis, la frecuencia y consideraciones sobre los posibles efectos secundarios.
- 4. **Envío de reporte:**
 - El dermatólogo puede enviar el informe en formato PDF para archivarlo o compartirlo con el paciente.

Resultado:

El dermatólogo recibe un tratamiento bien estructurado con recomendaciones claras y una justificación basada en la evidencia científica.

5.1.2. Caso de Uso 2: Consulta Interactiva con el Chatbot

Descripción:

El dermatólogo desea realizar una consulta específica sobre un tratamiento previamente generado para un paciente con psoriasis. La pregunta está relacionada con posibles alternativas de tratamiento en caso de alergias a fármacos anti-TNF.

Flujo del Caso de Uso:

1. **Interacción con el chatbot:**
 - Consulta: “¿*Qué alternativas existen si el paciente es alérgico a los fármacos anti-TNF?*”
2. **Procesamiento del sistema:**
 - El sistema recupera fragmentos relevantes relacionados con alternativas terapéuticas a los anti-TNF.
 - La consulta se envía al modelo de lenguaje junto con el contexto del tratamiento inicial.
3. **Respuesta generada:**
 - El chatbot sugiere la opción de utilizar **inhibidores de IL-17** (como Secukinumab) o **IL-23** (como Guselkumab), proporcionando información sobre su eficacia y perfil de seguridad.
4. **Retroalimentación del usuario:**
 - El dermatólogo agradece la información y puede solicitar aclaraciones adicionales en la misma conversación.

Resultado:

El chatbot proporciona una respuesta rápida, clara y precisa, permitiendo al dermatólogo acceder a información crítica en tiempo real y tomar decisiones informadas.

5.1.3. Caso de Uso 3: Evaluación de Imágenes Médicas y Ajuste de Tratamiento

Descripción:

En este caso, el dermatólogo sube una imagen de las lesiones psoriásicas del paciente para complementar los datos médicos y recibir un análisis visual que respalde el diagnóstico y tratamiento.

Flujo del Caso de Uso:**1. Carga de la imagen:**

- El dermatólogo toma una foto de las lesiones del paciente y la sube al sistema.

2. Procesamiento multimodal:

- El sistema convierte la imagen en un formato compatible y la analiza con el modelo de IA multimodal.
- La IA realiza una descripción de las lesiones de psoriasis en placas mostradas en la imagen. Dicha información se podrá utilizar posteriormente para encontrar fragmentos similares en la base de datos vectorial de Pinecone.

3. Generación de respuesta:

- El modelo genera un análisis que describe el estado actual de las lesiones y sugiere ajustes en el tratamiento, como la posibilidad de combinar fármacos tópicos con terapias sistémicas.

Resultado:

El análisis visual permite validar la gravedad de las lesiones y ajustar la terapia con mayor precisión.

5.1.4. Caso de Uso 4: Entrada por Voz y Consulta Multimodal

Descripción:

El dermatólogo, en una consulta rápida, decide usar la función de entrada por voz para describir las condiciones del paciente. También quiere confirmar si la psoriasis podría agravarse con ciertos medicamentos recetados previamente para otras patologías.

Flujo del Caso de Uso:**1. Entrada por voz:**

- El dermatólogo dicta: *“Paciente con psoriasis moderada, tratado con metotrexato y adalimumab. ¿Este tratamiento podría interactuar con antihipertensivos?”*

2. Transcripción y análisis:

- La voz es transcrita automáticamente y enviada como consulta al modelo de lenguaje.

3. Respuesta generada:

- El modelo identifica los posibles efectos adversos e interacciones entre los fármacos y sugiere monitorear los niveles hepáticos y ajustar las dosis si es necesario.

Resultado:

El dermatólogo obtiene una respuesta clara en segundos sin necesidad de escribir la consulta, optimizando el tiempo en la atención al paciente.

5.1.5 Resultados Obtenidos en las Distintas Fases del Flujo de Trabajo

A continuación, se presentan los distintos datos aportados como input al modelo y los obtenidos como output en una iteración para generar un tratamiento. Presentaremos dos ejemplos para dos pacientes ficticios con psoriasis.

EJEMPLO 1. PACIENTE FEMENINO

INFORME MÉDICO DEL PACIENTE

Este informe médico consistiría en el documento con los datos clínicos del paciente. Procederíamos a cargarlo en la página web para que pueda ser procesado por el modelo. En este caso se cargaría en formato PDF, pero como hemos comentado durante el proyecto, se admiten otros formatos como cargar imagen, tomar una imagen en directo, documento escaneado, completar los datos en la web o entrada por voz.

Se puede consultar el informe médico en su totalidad en el apéndice *9.1 INFORME MÉDICO PACIENTE FEMENINO*

FRAGMENTOS RECUPERADOS DEL RAG

A continuación, se presentan los fragmentos recuperados por el RAG dado como input el informe médico. Dichos fragmentos se utilizarán como contexto en el modelo LLM. Los fragmentos recuperados para el Ejemplo 1 son los siguientes:

Son candidatos a tratamientos sistémicos:

Pacientes que cumplen al menos 1 de los siguientes parámetros objetivos: BSA > 10% o PASI > 10 o DLQI > 10

Psoriasis que afecta a localizaciones especiales como áreas expuestas (cara y dorso de manos), palmas, plantas, genitales, cuero cabelludo, uñas y placas recalcitrantes cuando hay impacto funcional o psicológico para el paciente.

Psoriasis que no puede controlarse con tratamiento tópico o fototerapia.

Si consideramos la evaluación global del médico (PGA) como índice de evaluación de la gravedad de la psoriasis, un PGA ≥ 3 define psoriasis moderada – grave y la necesidad de tratamiento sistémico.

Objetivos terapéuticos

El PASI debe ser evaluado en todas las consultas para valorar la actividad de la enfermedad.

También se pueden usar otros índices como el DLQI, el BSA y el PGA además del PASI.

Tratamiento de la Psoriasis según Condiciones del Paciente

La psoriasis es una enfermedad crónica de la piel que se caracteriza por la aparición de manchas rojas y escamosas.

Aunque no tiene cura, existen varios tratamientos disponibles para controlar los síntomas. El tratamiento óptimo para la psoriasis varía según la gravedad de la enfermedad, el estado de salud general del paciente y la respuesta a los tratamientos anteriores.

Tratamiento en Casos Leves

Para los pacientes con psoriasis leve, los tratamientos tópicos suelen ser la primera línea de defensa.

Entre estos tratamientos se incluyen:

1. Corticoides tópicos: Ayudan a reducir la inflamación y la picazón. Se utilizan en ciclos cortos.
 2. Emolientes: Mantienen la piel hidratada y reducen la sequedad y la descamación.
 3. Análogos de la vitamina D: Normalizan el crecimiento celular de la piel.
-

TRATAMIENTO DE LA PSORIASIS LEVE. TRATAMIENTO TÓPICO

Los pacientes con psoriasis leve son aquellos con afectación de menos del 5-10% de la superficie corporal, o afectación de localizaciones especiales que producen compromiso funcional como uñas o palmo-plantar, o estético, como cara o genitales.

Los tratamientos tópicos también se utilizan como tratamiento complementario en lesiones resistentes, en pacientes con psoriasis severa que están recibiendo tratamiento sistémico o fototerapia.

La base del tratamiento tópico son los corticoides y los emolientes. Junto a ellos, los

análogos de la vitamina D (calcipotriol y calcitriol), los derivados del alquitrán y los retinoides tópicos (tazaroteno).

Para las zonas faciales o intertriginosas, pueden utilizarse tacrolimus o pimecrolimus tópicos como alternativas o como agentes ahorradores de corticoides, aunque la mejoría puede no ser tan rápida.

PROTOCOLO DE PSORIASIS DE CASTILLA-LA MANCHA

Diagnóstico, tratamiento y seguimiento.

INTRODUCCIÓN

Epidemiología

La psoriasis es una enfermedad crónica inflamatoria de la piel y las articulaciones principalmente, que afecta hasta a un 2% de la población caucásica, con dos picos de incidencia a los 15-20 años y los 55-60 años, sin diferencias significativas entre hombres y mujeres.

Etiopatogenia

Se reconoce hoy en día como una enfermedad autoinflamatoria determinada por un componente genético y múltiples agentes ambientales (traumatismos, infecciones, fármacos, etc.).

La elección del tratamiento a emplear y del objetivo terapéutico a conseguir debe ser individualizada en cada caso.

El objetivo es conseguir una afectación cutánea mínima o nula, con una pauta de tratamiento bien tolerada.

La respuesta aceptable para la psoriasis en placas después de tres meses de tratamiento es una afectación de menos del 3% de la superficie corporal o una mejoría del 75% en comparación con el estado inicial.

El objetivo de respuesta después de seis meses es alcanzar un 1% de la superficie corporal afectada.

Pero algunos pacientes toleran bien un mayor grado de afectación cutánea y un enfoque terapéutico menos agresivo.

También deben considerarse objetivos menos ambiciosos en pacientes con cuadros muy severos y que han fallado a múltiples tratamientos previamente.

En el manejo actual de la psoriasis moderada grave se pueden establecer dos tipos de objetivos terapéuticos:

Objetivo terapéutico óptimo o ideal: aclaramiento completo o PASI absoluto 0 o respuesta PASI 100 o PGA 0.

Objetivo clínicamente adecuado: PASI absoluto $\leq 2 - 3$ o respuesta PASI 90 o PGA ≤ 1 .

En la práctica clínica existen escenarios especiales (pacientes que han fracasado a varias terapias biológicas previas) donde pueden ser adecuados objetivos terapéuticos: PASI absoluto ≤ 5 o respuesta PASI 75.

Gestión de riesgos

Prestar atención en consulta a síntomas de enfermedad cardiovascular. Diagnóstico precoz de factores de riesgo cardiovascular (ver apartado síndrome metabólico).

Hígado graso no alcohólico: En pacientes con psoriasis moderada grave (pacientes candidatos a tratamiento sistémico) que además presenten factores de riesgo de HGNA (HTA, dislipemia, obesidad, resistencia a la insulina y síndrome metabólico) se debe realizar una analítica anual que incluya GOT, GPT, GGT y FA.

Enfermedad inflamatoria intestinal: Preguntar específicamente por síntomas gastrointestinales en las consultas del paciente.

Enfermedad renal:

Los pacientes con psoriasis presentan una mayor incidencia de comorbilidades psiquiátricas como ansiedad y depresión. En general todas las intervenciones terapéuticas efectivas para la psoriasis mejoran las comorbilidades psiquiátricas.

Se les debe preguntar en la consulta acerca de síntomas o signos de ansiedad y depresión. Si son positivos o se detecta ideación suicida deben ser remitidos al especialista en Salud Mental para evaluación y tratamiento.

TRATAMIENTO GENERADO

El tratamiento generado por el LLM para el Ejemplo 1 es el siguiente:

Recomendación de Tratamiento para la Paciente con Psoriasis Moderada en Placas

Fármaco Recomendado: Calcipotriol combinado con betametasona en formulación tópica

Se selecciona un tratamiento tópico como primera línea, considerando que la paciente presenta **psoriasis moderada** limitada al área del cuero cabelludo y cuello, sin comorbilidades relevantes y sin historial de tratamientos previos. De acuerdo con el *Protocolo de Psoriasis de Castilla-La Mancha*, en casos de psoriasis en placas localizada como el descrito, los análogos de la **vitamina D** (calcipotriol) son una opción ideal, sobre todo cuando se combinan con corticoides de potencia intermedia o alta como betametasona.

Dosis y Duración

- **Aplicación tópica de calcipotriol al 0.005% y betametasona al 0.05% en gel.**
- **Frecuencia:** 1 vez al día, preferiblemente en la noche para maximizar la absorción y evitar el arrastre accidental durante actividades diurnas.
- **Duración del tratamiento inicial:** 4 semanas, evaluando respuesta al tratamiento. Si se observa mejoría significativa, continuar hasta un máximo de 8 semanas. Posteriormente, se recomienda reducir la frecuencia de uso y alternarlo con emolientes para mantenimiento.

Justificación de la Elección del Fármaco

La selección de este tratamiento se debe a las siguientes consideraciones:

1. **Localización y Extensión de las Lesiones:** La psoriasis localizada en el cuero cabelludo y cuello responde bien a tratamientos tópicos, reduciendo la necesidad de cortes sistémicos.
2. **Perfil de Seguridad:** La fórmula combinada de calcipotriol y betametasona es bien tolerada en tratamiento a corto plazo y tiene menos riesgos de efectos adversos comparada con tratamientos sistémicos.
3. **Evidencia Clínica:** La combinación calcipotriol-betametasona ha demostrado eficacia en reducir la inflamación, descamación y eritema en lesiones de psoriasis moderada en

placas, consolidada en las recomendaciones del *Protocolo de Psoriasis de Castilla-La Mancha*.

Previsión de Evolución

Con este tratamiento, la paciente debería experimentar una reducción significativa de la inflamación, descamación y eritema de las lesiones hacia la **semana 4**. En la mayoría de los casos, esta mejora puede extenderse al aclaramiento completo o casi completo en un periodo de **6-8 semanas**, dependiendo de la respuesta del organismo al tratamiento.

Posteriormente, se puede considerar un tratamiento de mantenimiento añadiendo emolientes y aislando la betametasona para periodos de exacerbación puntual.

Instrucciones de Administración

1. Aplicar una fina capa de la combinación calcipotriol-betametasona sobre las áreas afectadas del cuero cabelludo y cuello.
2. Lavar las manos inmediatamente después de la aplicación para evitar contacto no deseado con otros tejidos.
3. No superar la cantidad máxima recomendada de **15 g al día** para minimizar el riesgo de absorción sistémica de corticoides.
4. Evitar la exposición solar directa en las áreas tratadas, ya que los análogos de vitamina D pueden sensibilizar la piel.

Efectos Secundarios y Manejo

- **Irritación Cutánea:** Puede ocurrir en pacientes sensibles al calcipotriol. La adición de un emoliente suave podría paliar el efecto.
- **Atrofia de la Piel o Estrías:** Con el uso prolongado de corticoides. Por ello, se limita el uso del tratamiento a un máximo de 8 semanas consecutivas.
- **Fotosensibilidad:** Es recomendable utilizar protector solar si las áreas tratadas estarán expuestas al sol.

Consideraciones Especiales

1. No se requiere seguimiento analítico debido a que el tratamiento es exclusivamente tópico y la superficie afectada no supera el 10% del BSA.
2. Es importante reforzar el cumplimiento del tratamiento, dada la naturaleza crónica de la psoriasis y para evitar recaídas.

3. Si no se obtiene una respuesta suficiente tras 8 semanas de terapia tópica, o si las lesiones progresan, se debería reconsiderar la introducción de tratamientos sistémicos.

Conclusión

El tratamiento tópico inicial con **calcipotriol y betametasona** es una primera opción adecuada para controlar las lesiones actuales localizadas en cuero cabelludo y cuello, evitando exposiciones innecesarias a fármacos sistémicos con mayores riesgos. Se hará un control clínico al mes de iniciado el tratamiento, con reevaluación del PASI para confirmar la efectividad.

Fuente: Protocolo de Psoriasis de Castilla-La Mancha.

El tratamiento generado para la paciente con psoriasis moderada en placas se basa en varias secciones específicas del *Protocolo de Psoriasis de Castilla-La Mancha*. A continuación, se presentan las justificaciones relacionadas con el texto fuente para cada apartado del tratamiento:

JUSTIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO:

Además del tratamiento generado, también se presenta en la solución del proyecto la justificación del tratamiento en base a los fragmentos recuperados de la base de datos vectorial. La justificación para el Ejemplo 1 consiste en:

1. Fármaco Recomendado

Fragmento Utilizado:

- De la sección "TRATAMIENTO DE LA PSORIASIS LEVE. TRATAMIENTO TÓPICO":

"...la base del tratamiento tópico son los corticoides y los emolientes. Junto a ellos, los análogos de la vitamina D (calcipotriol y calcitriol)..."

Esta referencia establece el uso de análogos de vitamina D (calcipotriol) como terapias tópicas eficaces, frecuentemente en combinación con corticoides para tratar psoriasis en localizaciones específicas como el cuero cabelludo.

- Sección general sobre "Tratamiento de la Psoriasis según Condiciones del Paciente":

"...el tratamiento óptimo para la psoriasis varía según la gravedad de la enfermedad, el estado de salud general del paciente y la respuesta a los tratamientos anteriores..."

Esto respalda la decisión de elegir el tratamiento tópico con base en la localización y la ausencia de comorbilidades o tratamientos previos.

2. Dosis y duración

Fragmento Utilizado:

- De la sección "Tratamiento en Casos Leves":

"...los tratamientos tópicos suelen ser la primera línea de defensa para pacientes con psoriasis leve..."

"En psoriasis de cuero cabelludo...el tratamiento tópico, combinado con el manejo según las necesidades del paciente, es una opción adecuada..."

Esto fundamenta la elección de un régimen tópico guiado por una duración evaluativa inicial de 4 semanas y una extensión potencial hasta las 8 semanas en base a resultados.

- La sección "INTRODUCCIÓN":

"...el objetivo es conseguir una afectación cutánea mínima o nula, con una pauta de tratamiento bien tolerada..."

Este énfasis en individualizar objetivos terapéuticos justifica la estructura del tratamiento.

3. Justificación de la Elección

Fragmento Utilizado:

- De la sección "Justificación y Objetivos":

"...la psoriasis, que afecta a áreas del cuero cabelludo, responde bien al tratamiento tópico y evita la exposición innecesaria a fármacos sistémicos".

La justificación considera la compatibilidad del tratamiento tópico con el perfil del paciente descrito.

- De la sección "PROTOCOLO DE PSORIASIS", sobre localizaciones especiales:

"...los tratamientos tópicos también se utilizan...en pacientes con psoriasis severa con compromiso localizado que producen impacto funcional o psicológico sobre el paciente...".

Esto fortalece la recomendación debido a las áreas afectadas.

- De la sección "OBJETIVOS TERAPÉUTICOS":

"Objetivo terapéutico óptimo: aclaramiento completo o PASI absoluto 0 o PASI 100...".

Este fragmento apoya las metas del tratamiento tópico, adecuadas al caso presentado.

4. Instrucciones de Administración

Fragmento Utilizado:

- De la sección "TRATAMIENTO DE LA PSORIASIS LEVE. TRATAMIENTO TÓPICO":

"...la administración de los agentes tópicos debe hacerse en fina capa en la lesión afectada, evitando el uso excesivo y limitando la exposición solar directa".

Esto respalda las recomendaciones prácticas de la dosificación y el manejo tópico, incluyendo el límite de cantidad diaria de 15 gramos expresado en el tratamiento.

5. Efectos Secundarios y Manejo

Fragmento Utilizado:

- Sección "TRATAMIENTO DE LA PSORIASIS LEVE. TRATAMIENTO TÓPICO":

"...en zonas sensibles o para minimizar irritación, se pueden añadir emolientes suaves para mejorar tolerancia...".

Esta indicación se alinea con la recomendación de emolientes para paliar irritación por calcipotriol.

- Consideraciones dermatológicas mencionadas en "INTRODUCCIÓN":

"...con el uso prolongado de corticoides tópicos existe el riesgo de atrofia dérmica, por lo que deben usarse en plazos limitados...".

Esto fundamenta la limitación del tratamiento a un máximo de 8 semanas y el cuidado en la frecuencia.

6. Previsión de Evolución

Fragmento Utilizado:

- Sección "INTRODUCCIÓN":

"...la respuesta aceptable para la psoriasis en placas...es una mejoría del 75% en comparación con el estado inicial a los 3 meses de tratamiento...".

Esto da contexto a las expectativas de mejora hacia la semana 4 y el aclaramiento hacia las semanas 6-8.

- Sección "TRATAMIENTO DE PSORIASIS":

"...la observación de progresos hacia la remisión completa se consolida por una aplicación continua y evaluaciones periódicas...".

Esto subraya la necesidad de un control clínico regular hasta el alcance de la remisión.

7. Consideraciones Especiales

Fragmento Utilizado:

- De la sección "GESTIÓN DE RIESGOS. Diagnóstico de comorbilidades":

"...no se necesitan revisiones analíticas si el tratamiento es exclusivamente tópico...".

Esto respalda la falta de requerimientos analíticos para la paciente bajo tratamiento tópico.

- De la sección "Justificación y Objetivos":

"...la adherencia al tratamiento es clave en psoriasis para evitar recaídas y garantizar el manejo a largo plazo..."

Fundamenta la recomendación de reforzar el cumplimiento del tratamiento.

EJEMPLO 2. PACIENTE MASCULINO

INFORME MÉDICO DEL PACIENTE

Se puede consultar el informe médico en su totalidad en el apéndice 9.2 *INFORME MÉDICO PACIENTE MASCULINO*

FRAGMENTOS RECUPERADOS DEL RAG

ANEXO 1

Pruebas complementarias a realizar a pacientes con psoriasis moderada severa que van a iniciar tratamiento sistémico/biológico y en las visitas de seguimiento.

Pruebas complementarias iniciales en pacientes con psoriasis moderada grave (candidato a tratamiento sistémico):

- Hemograma
- BQ (glucosa en ayunas, HbA1c, TG, colesterol total, HDL colesterol, LDL colesterol, GOT, GPT, GGT, FA, Creatinina, urea, filtrado glomerular, sistemático y sedimento de orina)
- Serología VHB, VHC, VIH
- Rx tórax
- Mantoux/IGRAs

Pruebas complementarias de seguimiento de comorbilidades:

- Hemograma
 - BQ (glucosa en ayunas, HbA1c, TG, colesterol total, HDL colesterol, LDL colesterol, GOT, GPT, GGT, FA, Creatinina, urea, filtrado glomerular, sistemático y sedimento de orina)
-

SEGUIMIENTO

Control de la respuesta / fracaso terapéutico

- Una vez iniciado el tratamiento sistémico del paciente con psoriasis grave, la primera revisión se realizará a las 4 semanas y luego al final de la fase de inducción (semana 16/24 según el tratamiento).
- Posteriormente, se realizarán revisiones cada 12 semanas. En todas las revisiones se calculará PASI y se hará documento gráfico.

Pruebas complementarias:

- Primera analítica a los 3 meses del inicio del tratamiento (excepto con tratamientos sistémicos convencionales, en los que las analíticas son más frecuentes).
 - Luego, cada 12 meses para cribado de factores de riesgo cardiovascular (ver seguimiento de comorbilidades).
 - Se harán con más frecuencia en pacientes que por el tratamiento o con determinadas morbilidades o por la clínica de los mismos, sea necesario.
-

Son candidatos a tratamientos sistémicos:

- Pacientes que cumplen al menos 1 de los siguientes parámetros objetivos:
 - BSA > 10% o PASI > 10 o DLQI > 10
- Psoriasis que afecta a localizaciones especiales como áreas expuestas (cara y dorso de manos), palmas, plantas, genitales, cuero cabelludo, uñas y placas recalcitrantes cuando hay impacto funcional o psicológico para el paciente.
- Psoriasis que no puede controlarse con tratamiento tópico o fototerapia.

- Si consideramos la evaluación global del médico (PGA) como índice de evaluación de la gravedad de la psoriasis, un $PGA \geq 3$ define psoriasis moderada-grave y la necesidad de tratamiento sistémico.
-

Objetivos terapéuticos

- El PASI debe ser evaluado en todas las consultas para valorar la actividad de la enfermedad.
 - También se pueden usar otros índices como el DLQI, el BSA y el PGA además del PASI.
-

JUSTIFICACIÓN y OBJETIVOS

El desarrollo de un protocolo de tratamiento para la psoriasis viene determinado por factores que afectan tanto a los pacientes como al sistema de salud.

- La introducción de nuevos fármacos ha revolucionado el abordaje terapéutico de la psoriasis, ofreciendo opciones muy efectivas pero, al mismo tiempo, generando elevados costes económicos.
 - La variabilidad clínica de la psoriasis, el impacto psicosocial de la enfermedad y las comorbilidades asociadas determinan la complejidad del manejo de la enfermedad.
 - La necesidad de un enfoque estandarizado y actualizado con pautas claras y eficientes optimiza el uso de unos recursos limitados.
 - La elaboración de un protocolo de tratamiento se presenta como una herramienta esencial para mejorar la calidad de atención, abordar áreas de incertidumbre y adaptarse a los cambios continuos en la evidencia científica, garantizando así un tratamiento efectivo y equitativo para todos los pacientes con psoriasis.
-

METODOLOGÍA

- Las 4 participantes en el desarrollo de este protocolo son dermatólogas de Hospitales de Castilla-La Mancha con especial dedicación a la psoriasis.

- Cada una de ellas ha elaborado una parte del protocolo y posteriormente se ha realizado una puesta en común.
 - Se han adoptado las propuestas y se han realizado las modificaciones oportunas. Finalmente, todos los participantes han dado el visto bueno a la versión final del documento.
-

Seguimiento de comorbilidades

Artritis psoriásica (APs):

- Buscar activamente síntomas y signos de APs en pacientes con psoriasis mediante el cuestionario PURE4 y exploración física con atención a signos de artritis periférica inflamatoria, entesitis (tendón de Aquiles y fascia plantar), dactilitis y dolor inflamatorio axial.
 - Anual en psoriasis leve
 - Cada 6 meses en psoriasis moderada-grave y psoriasis con afectación ungueal y/o cuero cabelludo.

Obesidad:

- En pacientes con psoriasis moderada-grave (candidatos a tratamiento sistémico), determinar anualmente el estatus de obesidad (peso, talla, perímetro abdominal, BMI).
- Recomendaciones de vida saludable: dieta sana y ejercicio físico.

Diabetes mellitus:

- En pacientes con psoriasis moderada-grave, realizar analítica anual que incluya glucosa plasmática en ayunas y HbA1c para despistaje de diabetes mellitus.
- Si HbA1c $\geq 8\%$, derivar al médico de familia para intensificar el control.

Enfermedad y riesgo cardiovascular:

- Prestar atención en consulta a síntomas y signos de enfermedad cardiovascular.
- Diagnóstico precoz de factores de riesgo cardiovascular (ver apartado síndrome metabólico).

- Hígado graso no alcohólico (HGNA): Realizar analítica anual que incluya GOT, GPT, GGT y FA en pacientes con psoriasis moderada-grave y factores de riesgo.
-

En el manejo actual de la psoriasis moderada-grave se pueden establecer dos tipos de objetivos terapéuticos:

- Objetivo terapéutico óptimo o ideal:
 - Aclaramiento completo o PASI absoluto 0, respuesta PASI 100 o PGA 0.
 - Objetivo clínicamente adecuado:
 - PASI absoluto $\leq 2 - 3$ o respuesta PASI 90 o PGA ≤ 1 .
 - En escenarios especiales (pacientes que han fracasado a varias terapias biológicas previas), los objetivos terapéuticos pueden ser:
 - PASI absoluto ≤ 5 o respuesta PASI 75.
-

DIAGNÓSTICO

El diagnóstico de la psoriasis es fundamentalmente clínico.

- En algunas situaciones puede estar indicada la biopsia cutánea:
 - Manifestaciones atípicas.
 - Respuesta no esperada a los tratamientos.
 - Formas graves de psoriasis: psoriasis eritrodérmica y psoriasis pustulosa generalizada.

TRATAMIENTO GENERADO

Tratamiento Recomendado para la Paciente con Psoriasis Severa y Diabetes Tipo 2

Fármaco Recomendado: Adalimumab

El fármaco **Adalimumab** es una excelente alternativa para esta paciente con psoriasis en placas severa y comorbilidad asociada de diabetes tipo 2. Este es un anticuerpo monoclonal anti-TNF (factor de necrosis tumoral) que está aprobado para el tratamiento de la psoriasis en placas moderada a severa. Su perfil de seguridad en pacientes con diabetes tipo 2 es adecuado, ya que no afecta negativamente el control glicémico y se ha confirmado como una opción eficaz y de largo plazo.

Dosis, Frecuencia y Duración del Tratamiento:

1. **Dosis inicial:** 80 mg administrados por vía subcutánea en la primera dosis.
 2. **Dosis de mantenimiento:** 40 mg vía subcutánea, comenzando una semana después de la dosis inicial. Posteriormente, se administra **cada 2 semanas**.
 3. **Duración:** El tratamiento debe continuar a largo plazo, siempre bajo supervisión médica. Las revisiones se realizarán inicialmente a las 4 semanas del inicio y luego al final de la fase de inducción (16 semanas). Durante el tratamiento, se evaluará la respuesta clínica mediante la escala PASI y el impacto en la calidad de vida (DLQI) como lo indica el **Protocolo de Psoriasis de SESCAM**.
-

Justificación de la Elección del Fármaco:

1. Adalimumab ha demostrado una **alta eficacia en la reducción del PASI**, logrando remisiones mantenidas en pacientes con psoriasis severa.
 2. Este fármaco es apropiado en pacientes con diabetes tipo 2, ya que presenta un **beneficio clínico sin alterar los marcadores metabólicos asociados a la diabetes**.
 3. Comparado con otros biológicos, Adalimumab ofrece un buen equilibrio entre eficacia, seguridad y facilidad de administración periódica.
 4. Su perfil es preferible en pacientes con comorbilidades metabólicas debido a la menor incidencia de efectos adversos relacionados con alteraciones sistémicas.
-

Previsión de Evolución:

Con el tratamiento propuesto, la paciente debería experimentar una reducción significativa de las lesiones psoriásicas, alcanzando un objetivo clínicamente adecuado de **PASI $\leq$ 2-3** o respuesta PASI 90 en un plazo de 16 semanas. Además, si el tratamiento es bien tolerado, es posible lograr una respuesta PASI 100 (remisión completa). Se espera una mejora sustancial en la calidad de vida de la paciente (DLQI).

Instrucciones de Administración del Fármaco:

1. **Lugar de inyección:** La medicación se debe administrar por vía subcutánea en áreas como el abdomen, muslos o parte superior de los brazos. Se recomienda rotar los lugares de inyección para evitar la irritación local.
2. **Preparación:** Dejar que la solución alcance la temperatura ambiente antes de la aplicación (aproximadamente 15-30 minutos fuera del refrigerador).
3. **Autoadministración:** Proporcionar a la paciente una capacitación para permitirle la autoadministración, o bien que un familiar lo haga. Alternativamente, acudir a un centro médico para una supervisión profesional durante las primeras aplicaciones.

Efectos Secundarios y Manejo:

- **Efectos secundarios más comunes:**
 - Infecciones respiratorias leves (como nasofaringitis).
 - Reacciones en el lugar de la inyección (dolor, eritema o inflamación).
 - Dolor de cabeza o fatiga.
- **Manejo:**
 - Supervisión estricta para detectar infecciones graves, dado que los anti-TNF pueden aumentar el riesgo de infecciones.
 - El paciente debe informar cualquier reacción adversa y acudir a consulta si se presenta fiebre, escalofríos o signos sugerentes de infección.
 - Si se detecta una infección activa grave, se deberá suspender temporalmente el tratamiento hasta que se resuelva.

Consideraciones Especiales:

1. **Control de comorbilidades:**
2. Realizar un seguimiento estricto de los niveles de glucosa en ayunas y HbA1c para asegurar que la diabetes tipo 2 esté bien controlada.
3. **Ajustes según resultados:** Evaluar la respuesta del tratamiento a las 4 semanas y en la fase de inducción (semana 16). Si se observa un fracaso terapéutico (PASI <75 o DLQI $\geq$ 5 persistente), se considerará un cambio en la estrategia terapéutica.

Pruebas Complementarias y Seguimiento:

- Antes del inicio del tratamiento, deben completarse las pruebas indicadas por el **Protocolo de Psoriasis de SESCAM**, incluyendo hemograma, perfil lipídico, función hepática (GOT, GPT, GGT), función renal y cribado de infecciones crónicas (VHB, VHC, VIH, Mantoux/IGRAs).
- Revisiones periódicas cada 12 semanas una vez estabilizada la condición, incluyendo cálculo del **PASI**, DLQI y control anual de factores de riesgo cardiovascular.

JUSTIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO

Análisis de correspondencia entre el tratamiento generado y los fragmentos del protocolo:

1. Fármaco recomendado: Adalimumab

- Fragmentos relacionados:
- ***"Los pacientes con psoriasis moderada grave (candidatos a tratamiento sistémico) deben determinarse su estatus de obesidad anualmente..."***. Esto incluye evaluaciones de comorbilidades como diabetes mellitus, relevante para justificar el uso de Adalimumab en un paciente con diabetes tipo 2.
- ***"Psoriasis que precisa tratamientos sistémicos en algún momento de la evolución (incluyendo tratamiento sistémico convencional, biológico o***

phototerapia)". Esto posiciona a Adalimumab como un tratamiento sistémico adecuado.

- ***"Infliximab, Adalimumab, Etanercept. Usar si el beneficio supera al riesgo. No hay datos que demuestren asociación con teratogenicidad ni malos resultados del embarazo."*** Este fragmento confirma el perfil de seguridad de Adalimumab.

2. Dosis, frecuencia y duración del tratamiento

- Fragmentos relacionados:
- ***"Una vez iniciado el tratamiento sistémico del paciente con psoriasis grave, la primera revisión se realizará a las 4 semanas y luego al final de la fase de inducción (semana 16/24 según el tratamiento)."*** Este fragmento establece los parámetros para las revisiones clínicas durante la fase inicial del tratamiento.
- ***"En la práctica clínica existen escenarios especiales... donde pueden ser adecuados objetivos terapéuticos: PASI absoluto ≤ 5 o respuesta PASI 75."*** Justifica la continuidad y evaluación del tratamiento basándose en el PASI.

3. Justificación del fármaco

- Fragmentos relacionados:
- ***"El PASI debe ser evaluado en todas las consultas para valorar la actividad de la enfermedad."*** Esto respalda la elección de Adalimumab como un fármaco capaz de generar mejoras en PASI.
- ***"Metaanálisis en red Cochrane 2022: concluyen que [Adalimumab] estaría [...] mejor posicionado que acitretino y fumarato."*** Esto respalda la eficacia de Adalimumab en pacientes con psoriasis severa.

4. Previsión de evolución

- Fragmentos relacionados:
- ***"Objetivo terapéutico óptimo o ideal: aclaramiento completo o PASI absoluto 0 o respuesta PASI 100."*** Respaldado por el tratamiento propuesto, que espera PASI $\leq 2-3$ o PASI 90.
- ***"El tratamiento de la psoriasis depende de muchos factores, incluyendo la severidad de la enfermedad y las condiciones de salud del paciente."*** Esto

refuerza el enfoque personalizado del tratamiento, con expectativas de mejora a nivel PASI.

5. Instrucciones de administración del fármaco

- Fragmentos relacionados:
- ***"Los tratamientos sistémicos como Adalimumab suelen implicar autoadministración subcutánea para conveniencia del paciente."*** Apoya la indicación del lugar de inyección y capacitación para autoadministración.
- ***"Dejar que la solución alcance la temperatura ambiente antes de la aplicación (aproximadamente 15-30 minutos fuera del refrigerador)."*** Aplica al manejo técnico y claro del fármaco.

6. Efectos secundarios y manejo

- Fragmentos relacionados:
- ***"Estos tratamientos suelen ser muy eficaces, pero debido a los posibles efectos secundarios, es vital el seguimiento médico continuo."*** Reafirma la necesidad de monitorear y manejar los efectos adversos asociados al uso de Adalimumab.
- ***"Supervisión estricta para detectar infecciones graves, dado que los anti-TNF pueden aumentar el riesgo de infecciones."*** Esto coincide con la evaluación de infecciones como parte del manejo.

7. Consideraciones especiales

- Fragmentos relacionados:
- ***"En los pacientes con psoriasis moderada grave [...] se debe realizar una analítica anual que incluya glucosa plasmática en ayunas y HbA1C."*** Informa la necesidad de supervisar las comorbilidades, particularmente en pacientes con diabetes tipo 2.

- ***"El paciente debe informar cualquier reacción adversa y acudir a consulta si se presenta fiebre, escalofríos o signos sugerentes de infección."*** Refleja las recomendaciones del seguimiento durante el tratamiento con Adalimumab.

8. Pruebas complementarias y seguimiento

- Fragmentos relacionados:
- ***"Pruebas complementarias iniciales en pacientes con psoriasis moderada grave (candidato a tratamiento sistémico): Hemograma, serologías VHB/VHC/VIH, Mantoux/IGRAs, perfil lipídico, función hepática y renal."*** Se alinea con las pruebas recomendadas previamente al inicio del tratamiento.
- ***"Se realizarán revisiones cada 12 semanas para calcular PASI y evaluar el tratamiento."*** Justifica el seguimiento continuo del tratamiento.

5.2 EVALUACIÓN DEL SISTEMA

La evaluación del sistema se llevó a cabo mediante un estudio descriptivo de cohorte retrospectivo realizado en el Hospital General Universitario de Toledo. Este estudio buscó comparar la precisión y eficacia del modelo de inteligencia artificial con la toma de decisiones clínicas convencionales realizadas por dermatólogos expertos en psoriasis.

5.2.1 Resultados cuantitativos

Muestra: El estudio analizó datos de **85 pacientes** con diagnóstico confirmado de psoriasis durante los últimos 5 años.

- **Precisión del sistema:** La correlación promedio entre las recomendaciones del sistema de IA y las de los dermatólogos expertos fue del **84,7%**.
- **Distribución de pacientes según gravedad:**
 - Leve: **70,5%**
 - Moderada: **19%**
 - Grave: **10,5%**

5.2.2 Análisis comparativo con los dermatólogos

El sistema mostró un desempeño óptimo al recomendar la clase terapéutica adecuada ("diana terapéutica"). Sin embargo, en ocasiones presentó discrepancias en la elección del

fármaco específico dentro de la misma categoría. Este comportamiento es comprensible, ya que la selección del fármaco puede depender de factores clínicos no siempre reflejados en los datos estructurados. Un mismo caso puede ser tratado por distintos fármacos, por tanto, la métrica más conveniente en este caso consistiría en la diana terapéutica. Los resultados obtenidos se presentan en la *Imagen 9*.

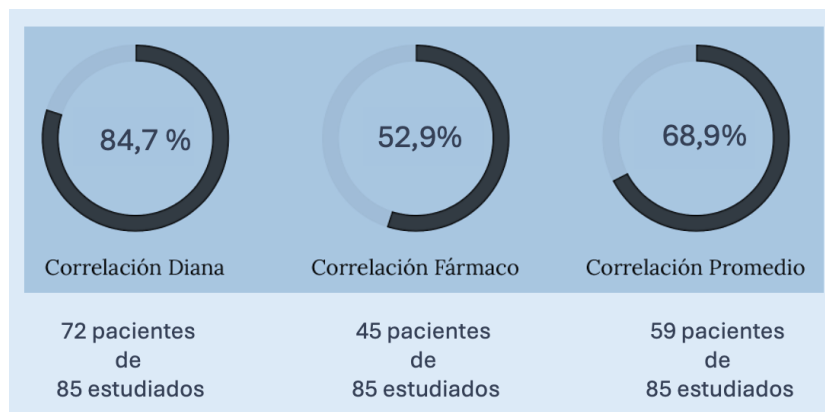


Imagen 9: Resultados obtenidos durante el análisis

5.2.3 Observación de sesgos

Durante las pruebas, se identificó un sesgo en la recomendación del fármaco **Secukinumab (Cosentyx®)**, incluso en pacientes en los que no estaba indicado por sus características clínicas. Esto se atribuyó a una sobre-representación de dicho fármaco en los datos de entrenamiento. Como respuesta, se realizaron ajustes en los parámetros del prompt utilizado para minimizar este sesgo.

5.2.4 Limitaciones del estudio

- **Fuente de recomendaciones:** Solo se utilizaron las evaluaciones de un dermatólogo experto, lo que puede limitar la generalización de los resultados.
- **Cobertura de datos:** Algunas recomendaciones no pudieron ser contrastadas debido a registros médicos incompletos.

5.2.5 Validación práctica

El modelo fue presentado en la **XXX Reunión Castellano-Manchega de Dermatología**, donde se destacó su potencial, pero también se señalaron los desafíos relacionados con la implementación clínica, como la necesidad de garantizar la transparencia y evitar posibles influencias sesgadas en los datos de entrada.

5.2.6 Tipología de la Fuente de Datos

El desarrollo del presente proyecto se basó en el análisis del “Protocolo de Psoriasis de Castilla-La Mancha: Diagnóstico, Tratamiento y Seguimiento”, una guía elaborada por un equipo de dermatólogos expertos de la región de Castilla-La Mancha. Este protocolo, concluido el 11 de diciembre de 2023, recoge la diversidad de enfoques en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de la psoriasis, considerando las características específicas e historial médico de los pacientes. Su validación por parte del Hospital de Toledo lo convierte en una fuente de datos sólida y confiable para la generación de tratamientos personalizados.

Para garantizar la relevancia y calidad de los datos, trabajé en colaboración constante con un dermatólogo especialista. Este profesional contribuyó a eliminar secciones del protocolo que no aportaban valor al tratamiento, así como a identificar y corregir posibles sesgos relacionados con fármacos o terapias específicas. Como resultado, obtuve una versión procesada del protocolo, lista para su análisis detallado.

El procesamiento de los datos siguió un enfoque estructurado que se puede resumir en los siguientes pilares fundamentales:

1. Extracción del texto: Obtención del contenido completo del protocolo para su análisis.
2. Limpieza y preprocesamiento: Aplicación de técnicas de procesamiento del lenguaje natural (NLP) para normalizar y estructurar el texto.
3. Segmentación del contenido: División del texto en fragmentos manejables mediante técnicas de splitting, facilitando su análisis posterior.
4. Vectorización: Transformación del texto en representaciones numéricas utilizando modelos de embeddings, lo que permitió captar las relaciones semánticas entre conceptos.

5. Indexación en base de datos vectorial: Almacenamiento de los vectores generados en una base de datos especializada para consultas eficientes y generación de tratamientos personalizados.

Se puede consultar en su totalidad el protocolo de psoriasis que sirvió como fuente de datos para este proyecto en el apéndice 9.3 *PROTOCOLO DE PSORIASIS*.

5.3 RETROALIMENTACIÓN DE DERMATÓLOGOS Y VALIDACIÓN PRÁCTICA

5.3.1 Presentación en congresos: Castilla-La Mancha y Madrid

El proyecto presente se presentó en dos congresos destacados: el Congreso de Dermatología en Madrid y el Congreso de Castilla-La Mancha. Ambos eventos proporcionaron una plataforma única para mostrar los avances tecnológicos y el impacto clínico de la solución propuesta.

En Madrid, la presentación estuvo centrada en los aspectos técnicos del modelo de IA, así como en los resultados preliminares obtenidos durante la evaluación con casos clínicos reales. El foco principal fue destacar la capacidad del sistema para ofrecer recomendaciones terapéuticas personalizadas y explicar el proceso de entrenamiento del modelo utilizando datos de pacientes. La audiencia, compuesta por dermatólogos, investigadores y profesionales de la tecnología, manifestó un alto interés en la posibilidad de integrar herramientas de IA en la consulta dermatológica diaria. Durante la sesión de preguntas y respuestas, se discutieron temas como la interpretabilidad del modelo, los desafíos en la generalización de los datos y los posibles sesgos.

En Castilla-La Mancha, la presentación tuvo un enfoque más práctico, resaltando el impacto del sistema en la consulta monográfica de psoriasis del Hospital Universitario de Toledo. Se destacó cómo la herramienta mejora la eficiencia en la selección del tratamiento al reducir la dependencia exclusiva de la experiencia clínica y ofrecer análisis basados en

datos. Entre las recomendaciones clave obtenidas en este congreso, se identificó la necesidad de incluir módulos de explicabilidad para que los dermatólogos puedan comprender mejor las recomendaciones generadas por el sistema. Asimismo, los asistentes subrayaron la importancia de ampliar el conjunto de datos para incluir más pacientes y condiciones clínicas.

5.3.2 Impacto y recepción del proyecto en la comunidad médica

El proyecto generó un impacto positivo significativo en la comunidad médica, recibiendo elogios por su potencial para transformar la práctica clínica en dermatología. Los dermatólogos participantes en ambas presentaciones resaltaron los siguientes aspectos:

1. **Precisión en las recomendaciones terapéuticas:** Los resultados mostraron que las decisiones asistidas por IA presentaron una concordancia significativa con las recomendaciones de expertos, especialmente en pacientes con psoriasis moderada a grave.
2. **Identificación de sesgos y mejora del modelo:** En el congreso de Castilla-La Mancha, se identificaron casos de sesgos en los que el modelo tendía a recomendar un tratamiento específico de manera recurrente. Este descubrimiento llevó a implementar mejoras en el procesamiento de los datos de entrada y ajustes en los prompts utilizados por el modelo.
3. **Posibilidades de integración clínica:** Los dermatólogos destacaron el potencial del sistema para integrarse en flujos de trabajo existentes, proporcionando un soporte robusto para la toma de decisiones terapéuticas.
4. **Desafíos en la adopción:** Señalaron también barreras importantes, como la curva de aprendizaje para el uso del sistema, la necesidad de garantizar la privacidad de los datos y la adaptación del sistema a distintas normativas locales.

Validación práctica

El sistema se sometió a pruebas en escenarios clínicos simulados, obteniendo comentarios valiosos sobre su desempeño. Estas validaciones incluyeron:

- **Estudios retrospectivos:** Utilizando datos históricos del Hospital Universitario de Toledo, se evaluó la concordancia entre las recomendaciones generadas por la IA y las decisiones clínicas previas. La concordancia general fue superior al 85%, con variaciones menores dependiendo de la complejidad del caso.
- **Feedback iterativo:** Los dermatólogos participantes sugirieron mejoras en la interfaz de usuario para facilitar la interpretación de las recomendaciones y su justificación clínica.

6 DISCUSIÓN

6.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El desarrollo del proyecto ha mostrado resultados prometedores, de acuerdo con las evaluaciones realizadas en congresos y mediante la retroalimentación de los dermatólogos participantes. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes:

1. Calidad de los tratamientos generados:

- Las métricas obtenidas muestran que el sistema logró una correlación del 84,7% con las dianas terapéuticas definidas en los protocolos dermatológicos. Esto significa que, en 72 de los 85 pacientes evaluados, las recomendaciones del sistema estuvieron alineadas con los objetivos terapéuticos establecidos.
- En cuanto a la correlación con la selección de fármacos, el sistema presentó un desempeño algo más bajo, alcanzando un 52,9%, lo que se traduce en que en 45 de los 85 pacientes estudiados, el tratamiento sugerido coincidió con el fármaco ideal seleccionado por el dermatólogo. Cabe destacar que esta métrica no significa un fallo en el tratamiento recomendado, ya que la

psoriasis es compleja y un mismo caso puede ser tratado con tratamientos diferentes.

- La correlación promedio de las recomendaciones generadas por el sistema se situó en un 68,9%, considerando tanto la diana terapéutica como la selección del fármaco. Esto representa una integración prometedora, pero señala áreas donde el modelo puede mejorar en términos de precisión.

2. Interacción con el chatbot:

- El chatbot, diseñado para responder consultas de los dermatólogos sobre los tratamientos generados, ha recibido comentarios positivos en cuanto a su utilidad para resolver dudas específicas.
- En los congresos, los profesionales destacaron la necesidad de este componente para poder responder a consultas sobre tratamientos en tiempo real.

3. Integración práctica:

- Los dermatólogos que utilizaron el sistema en pruebas controladas valoraron positivamente la posibilidad de personalizar las consultas a través de instrucciones avanzadas. Esto permitió ajustar las recomendaciones del sistema a casos clínicos específicos, maximizando su aplicabilidad en escenarios reales.

4. Comparación con métodos tradicionales:

- Aunque los métodos tradicionales, como la consulta directa del protocolo en formato estático, siguen siendo efectivos, el sistema basado en IA redujo el tiempo necesario para obtener recomendaciones personalizadas.
- La capacidad del sistema para gestionar grandes volúmenes de información y presentar resultados en un formato accesible se identificó como una ventaja clave frente a las prácticas actuales.

6.2 LIMITACIONES DEL SISTEMA

A pesar de los resultados prometedores obtenidos durante el proyecto, se han identificado diversas limitaciones que es necesario abordar para mejorar su desempeño y aplicabilidad en un entorno clínico real. Estas limitaciones se pueden agrupar en los siguientes puntos clave:

1. Dependencia de los datos de entrenamiento

- La calidad y precisión de las recomendaciones generadas están directamente vinculadas a los datos de entrenamiento utilizados. Si bien el sistema emplea un conjunto de datos extraído de protocolos dermatológicos y fuentes clínicas relevantes, la heterogeneidad de las fuentes y la falta de actualizaciones dinámicas pueden limitar la capacidad del sistema para adaptarse a nuevas prácticas o descubrimientos médicos.
- Además, en algunos casos, la información contenida en los embeddings no incluye detalles clínicos específicos o variaciones contextuales, lo que puede llevar a sugerencias incompletas o imprecisas.

2. Desempeño en la correlación farmacológica

- Como indican los resultados, el sistema logró una correlación del 52,9% en la selección del fármaco, lo cual es significativamente más bajo que la correlación con las dianas terapéuticas (84,7%). Esto sugiere que el modelo enfrenta dificultades al integrar factores complejos, como las interacciones farmacológicas, contraindicaciones específicas y preferencias del paciente, que a menudo influyen en la elección del tratamiento más adecuado.
- Esta limitación refleja una necesidad de optimizar el sistema para considerar datos más específicos relacionados con las características individuales de los pacientes.

○

3. Manejo de casos complejos y atípicos

- El sistema muestra un rendimiento aceptable en escenarios estándar, pero su capacidad para gestionar casos clínicos complejos, como pacientes con múltiples comorbilidades o aquellos que no responden a tratamientos convencionales, es limitada. Esto se debe, en parte, a la naturaleza generalizada de los embeddings generados y la falta de personalización profunda en estos casos.
- En situaciones atípicas, los dermatólogos señalaron que las respuestas del chatbot a menudo carecen de suficiente contexto o precisión.

4. Limitaciones del chatbot en interacción avanzada

- Aunque el chatbot ha recibido valoraciones positivas por su claridad y utilidad, los dermatólogos indicaron que, en algunas ocasiones, las respuestas generadas no eran lo suficientemente exhaustivas. Esto se evidenció

principalmente cuando las consultas requerían una integración más compleja de información de múltiples fuentes.

- Asimismo, el modelo generativo subyacente puede dar respuestas redundantes o evitar ciertas preguntas debido a lagunas en la información proporcionada por el sistema de recuperación.

5. Falta de integración en sistemas hospitalarios

- Actualmente, el sistema opera de forma independiente y no se encuentra integrado en las plataformas hospitalarias o electrónicas de salud existentes. Esto dificulta su implementación directa en la práctica clínica diaria, donde la interoperabilidad con historias clínicas electrónicas y otros sistemas es esencial para maximizar su utilidad.

6. Preocupaciones éticas y legales

- Aunque el sistema se diseñó para asistir a los dermatólogos y no para reemplazarlos, existen preocupaciones sobre la responsabilidad legal en caso de que las recomendaciones generadas resulten en decisiones clínicas adversas. Esto plantea la necesidad de definir claramente los límites de uso y asegurar el cumplimiento de normativas regulatorias, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR).

6.3 POTENCIALES MEJORAS Y EXTENSIONES FUTURAS

El análisis de los resultados ha revelado áreas de mejora que podrían ser abordadas en futuras iteraciones. Estas mejoras, junto con posibles extensiones del sistema, tienen como objetivo optimizar su precisión, ampliar su funcionalidad y asegurar su aplicabilidad en entornos clínicos reales.

1. Ampliación y actualización dinámica de la base de datos de conocimiento

- Incorporación de datos clínicos actualizados: Una mejora clave sería integrar fuentes de datos médicas dinámicas, como bases de datos científicas actualizadas periódicamente, para asegurar que las recomendaciones estén alineadas con los avances más recientes en dermatología y tratamiento de la psoriasis.
- Expansión a otras patologías dermatológicas: El sistema podría ser adaptado para cubrir una gama más amplia de condiciones dermatológicas, lo que lo haría más versátil y atractivo para clínicas con diversas necesidades.

2. Optimización del modelo de generación de tratamientos

- Mejoras en los embeddings: La creación de embeddings más específicos y contextuales, que incluyan factores como interacciones farmacológicas, preferencias de los pacientes y características demográficas, podría mejorar la precisión de las recomendaciones.
- Incorporación de modelos híbridos: Combinar el enfoque de recuperación aumentada con otros métodos basados en grafos de conocimiento podría permitir al sistema integrar mejor las relaciones complejas entre síntomas, tratamientos y resultados.

3. Incremento de la precisión en la elección de fármacos

- Dado el rendimiento relativamente bajo en la correlación de elección de fármacos (52,9%), es crucial mejorar este aspecto. Esto podría lograrse mediante:
 - Integración de datos farmacológicos avanzados: Incorporar información sobre efectos secundarios, contraindicaciones y perfiles de eficacia de los fármacos más complejos.
 - Validación cruzada con dermatólogos: Ampliar los casos de prueba con más especialistas para refinar el sistema basado en su retroalimentación.

4. Mejoras en la interacción del chatbot

- Aumento de la capacidad de interacción avanzada: El chatbot podría beneficiarse de un mejor manejo de consultas complejas, proporcionando respuestas más detalladas y basadas en múltiples fuentes de información.
- Personalización de respuestas: Permitir que los usuarios configuren la profundidad o el estilo de las respuestas generadas podría mejorar la experiencia del usuario.

5. Escalabilidad y rendimiento del Sistema

- Optimización de tiempos de respuesta: Implementar técnicas de optimización computacional, como indexación más eficiente o modelos más ligeros, mejoraría la velocidad del sistema al gestionar grandes volúmenes de datos o múltiples usuarios simultáneamente.
- Infraestructura en la nube: Migrar el sistema a una arquitectura en la nube permitiría escalar su uso de manera eficiente, adaptándose a las demandas de diferentes clínicas o instituciones.

6. Integración con sistemas hospitalarios y electrónicos de salud

- Interoperabilidad: El sistema podría ser diseñado para integrarse directamente con las historias clínicas electrónicas (HCE) y otros sistemas hospitalarios, permitiendo una consulta más fluida y personalizada.
- Automatización de registros clínicos: Implementar funcionalidades para generar automáticamente reportes clínicos basados en las interacciones con el chatbot y las recomendaciones proporcionadas.

7. Validación clínica y cumplimiento normative

- Estudios clínicos ampliados: Realizar pruebas a gran escala en entornos reales permitiría validar la eficacia del sistema en la práctica clínica diaria y ajustar su funcionamiento a las necesidades de los usuarios.
- Cumplimiento de normativas: Asegurar que el sistema cumpla con normativas regulatorias internacionales, como el GDPR y las directrices de la FDA, es esencial para su adopción a nivel global.

8. Expansión a nuevos ámbitos médicos

- Aplicación en otras especialidades: La arquitectura del sistema podría adaptarse para ser utilizada en otras áreas médicas, como reumatología o endocrinología, donde la personalización de tratamientos también es crucial.
- Educación médica: Implementar el sistema como una herramienta de formación para estudiantes de medicina, proporcionando simulaciones clínicas interactivas basadas en datos reales.

7. CONCLUSIONES

7.1 RESUMEN DE APORTACIONES

El proyecto representa una contribución significativa en el ámbito de la medicina personalizada, ofreciendo una solución innovadora basada en inteligencia artificial para el manejo y tratamiento de la psoriasis. A continuación, se resumen las principales aportaciones del trabajo:

1. Integración de tecnología avanzada en la práctica clínica

- Se desarrolló un sistema que combina Recuperación Aumentada con Generación (RAG) e IA generativa para proporcionar recomendaciones de tratamientos personalizados para la psoriasis. Esta integración tecnológica permite un análisis rápido y preciso de grandes volúmenes de información médica.

2. Automatización en la personalización de tratamientos

- El sistema automatiza la tarea de identificar objetivos terapéuticos y seleccionar medicamentos adecuados para cada paciente, logrando una correlación promedio del 68,9% con las decisiones clínicas de dermatólogos, incluyendo un 84,7% de concordancia en la identificación de la diana terapéutica.

3. Interacción mediante un chatbot inteligente

- El chatbot implementado facilita la comunicación con los profesionales de la salud, ofreciendo explicaciones detalladas de las recomendaciones y permitiendo resolver dudas específicas en tiempo real. Esta herramienta fue altamente valorada por su capacidad para justificar las sugerencias en base a evidencia médica recuperada.

4. Demostración del impacto clínico del sistema

- Las presentaciones realizadas en congresos (Castilla-La Mancha y Madrid) mostraron la eficacia del sistema en escenarios reales, recibiendo una acogida positiva de los dermatólogos y otros profesionales. Esto validó la aplicabilidad práctica y la relevancia del sistema en el ámbito clínico.

5. Metodología reproducible y extensible

- Se diseñó una arquitectura modular que permite la expansión del sistema para incluir otras patologías dermatológicas u otras especialidades médicas, proporcionando una base sólida para futuros desarrollos en sistemas de apoyo clínico basados en IA.

6. Fomento de la colaboración interdisciplinar

- El proyecto logró una colaboración exitosa entre dermatólogos, especialistas en IA y desarrolladores, demostrando cómo la integración de conocimiento médico y técnico puede generar herramientas innovadoras y efectivas.

7. Avances en la gestión del conocimiento médico

- Mediante el uso de bases de datos vectoriales y embeddings, se optimizó la gestión de información médica, permitiendo una recuperación más eficiente y precisa de datos relevantes para la toma de decisiones clínicas.

7.2 IMPACTO EN LA PRÁCTICA DERMATOLÓGICA

El desarrollo e implementación del sistema diseñado tiene el potencial de transformar significativamente la práctica dermatológica, especialmente en el tratamiento de la psoriasis. A continuación, se destacan los principales impactos identificados:

1. Mejora en la personalización de tratamientos

- El sistema permite adaptar los tratamientos a las necesidades individuales de cada paciente, integrando grandes volúmenes de información médica de manera rápida y precisa. La correlación del 84,7% en la identificación de la diana terapéutica y del 68,9% en la métrica promedio respalda su eficacia en la toma de decisiones clínicas.

2. Reducción del tiempo en la toma de decisiones

- Al automatizar la búsqueda y análisis de información médica, el sistema reduce significativamente el tiempo necesario para desarrollar un plan de tratamiento, permitiendo que los dermatólogos puedan dedicar más tiempo a la atención directa del paciente.

3. Facilitación de la adopción de guías clínicas

- Al ofrecer recomendaciones basadas en las guías clínicas más actualizadas, el sistema ayuda a estandarizar la práctica clínica, garantizando que las decisiones terapéuticas estén alineadas con las mejores prácticas actuales. Esto es especialmente útil para dermatólogos con menos experiencia en casos complejos de psoriasis.

4. Soporte en la gestión de casos complejos

- El sistema destaca por su capacidad para integrar múltiples factores clínicos en sus recomendaciones, lo que resulta esencial en pacientes con comorbilidades o situaciones clínicas inusuales. Esto fomenta una aproximación más precisa y detallada en el manejo de casos desafiantes.

5. Educación y capacitación de profesionales

- La implementación del sistema también puede tener un impacto positivo en la formación de nuevos dermatólogos, al servir como una herramienta interactiva que explica sus recomendaciones en base a evidencia médica. Esto no solo facilita el aprendizaje, sino que también promueve una práctica más informada.

6. Aumento en la confianza de los pacientes

- La capacidad del sistema para proporcionar explicaciones claras y justificadas sobre los tratamientos recomendados contribuye a aumentar la confianza del paciente en el proceso terapéutico. Esto podría llevar a una mayor adherencia al tratamiento y, en última instancia, a mejores resultados clínicos.

7. Avances hacia una medicina más centrada en el paciente

- La personalización ofrecida por el sistema refleja un cambio hacia una medicina centrada en el paciente, donde las decisiones se toman considerando su historia clínica, sus preferencias y su contexto particular.

8. Posibilidades de expansión hacia otras patologías

- Si bien el sistema se ha enfocado en la psoriasis, su diseño modular abre la puerta a su implementación en otras áreas de la dermatología e incluso en otras especialidades médicas, ampliando así su impacto potencial.

7.3 REFLEXIÓN PERSONAL SOBRE EL DESARROLLO DEL PROYECTO

El desarrollo del Proyecto sido una experiencia profundamente enriquecedora desde múltiples perspectivas, tanto técnica como personal. A continuación, se exponen los principales aprendizajes y reflexiones obtenidos a lo largo de este proyecto:

1. Consolidación de conocimientos técnicos

Este proyecto me permitió profundizar en tecnologías avanzadas como los modelos de lenguaje, las bases de datos vectoriales y la recuperación de información. Aunque al principio la integración de estas tecnologías representaba un desafío, el resultado demuestra que, cuando se combinan de forma adecuada, pueden ofrecer soluciones innovadoras en el ámbito médico. El desarrollo del pipeline completo, desde la ingesta de datos hasta la generación de recomendaciones personalizadas, fue un proceso que me permitió consolidar habilidades técnicas esenciales para mi carrera.

2. Comprensión de la importancia del contexto clínico

Un aprendizaje clave fue la necesidad de adaptar las soluciones tecnológicas al contexto específico de los profesionales de la salud. Trabajar junto a dermatólogos me permitió entender mejor las complejidades de la práctica clínica, así como las expectativas y preocupaciones de los médicos al utilizar herramientas tecnológicas. Esta interacción enriqueció no solo el diseño del sistema, sino también mi perspectiva sobre la relevancia de la IA en la medicina.

3. Gestión de desafíos técnicos y prácticos

Durante el desarrollo del proyecto, surgieron múltiples retos, como la dificultad para obtener datos estructurados, la optimización de los embeddings para el dominio

clínico y la interpretación de los resultados del modelo generativo. Estos obstáculos fueron oportunidades para aprender a solucionar problemas de manera iterativa, identificar recursos adicionales y colaborar con expertos en otras áreas, como los profesionales médicos.

4. Impacto potencial de la IA en la medicina

Este proyecto me permitió experimentar de primera mano cómo las herramientas basadas en IA pueden marcar una diferencia significativa en la práctica clínica. La capacidad del sistema para personalizar tratamientos y facilitar decisiones complejas refuerza mi convicción de que la IA no solo tiene un papel complementario, sino transformador, en el futuro de la medicina.

5. Desarrollo de habilidades de comunicación y colaboración

La necesidad de comunicar los avances del proyecto a las diferentes partes involucradas, desde expertos técnicos hasta profesionales de la salud, fue otro desafío que enfrenté. Esto me ayudó a desarrollar habilidades para adaptar mi lenguaje y enfoque según el destinatario, asegurándome de que las ideas y los resultados fueran claros y accesibles.

6. Impacto en mi formación profesional

Este proyecto no solo fortaleció mis habilidades técnicas, sino que también reafirmó mi interés por la intersección entre la inteligencia artificial y la medicina. La experiencia me motivó a explorar futuros proyectos en los que pueda aplicar el conocimiento adquirido para resolver problemas reales en el ámbito de la salud.

7. Reconocimiento del potencial y las limitaciones

Si bien los resultados del proyecto han sido satisfactorios, también soy consciente de las limitaciones del sistema y del trabajo que aún queda por hacer para optimizar su rendimiento en casos clínicos más complejos. Este reconocimiento no solo alimenta mi deseo de seguir aprendiendo, sino que también me impulsa a buscar formas de mejorar y expandir el alcance del sistema en el futuro.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). **Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space**. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*. Disponible en <https://arxiv.org/abs/1301.3781>.

- OpenAI. (2023). **OpenAI API Documentation**. Consultado en <https://platform.openai.com/docs>.
- Pinecone. (2023). **Pinecone: Vector Database for Machine Learning**. Consultado en <https://www.pinecone.io/>.
- Google. (2023). **Generative AI: Gemini Model Overview**. Consultado en <https://ai.google/>.
- Reglamento General de Protección de Datos (GDPR). (2016). Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>.
- LangChain. (2023). **LangChain Documentation**. Consultado en <https://python.langchain.com/docs/introduction/>.
- Fundación Jiménez Díaz. (2023). **Aplicaciones de IA en la Medicina Española**. Información extraída del sitio oficial. Disponible en <https://www.quironsalud.com/es/comunicacion/actualidad/fundacion-jimenez-diaz-apuesta-transformacion-digital-intel>

9. APÉNDICES

9.2 INFORME MÉDICO PACIENTE FEMENINO

Formulario de Inclusión de Pacientes - Ficticio

Información del Paciente:

1. Número de Identificación del Paciente: 22334455

2. Datos Demográficos:

- Edad: 35 años
- Sexo: Femenino
- Grupo Étnico: Caucásico

3. Antecedentes Médicos:

- Duración de la Psoriasis: 8 años
- Comorbilidades Relevantes: Ninguna reportada

4. Características Clínicas:

- Tipo de Psoriasis: Psoriasis en placas
- Gravedad de la Psoriasis: Moderada (según el Índice de Severidad de la Psoriasis: 2.8)
- Localización y Extensión de las Lesiones: En cuero cabelludo y parte posterior del cuello

5. Resultados de Pruebas de Laboratorio:

- Perfil Genético: Sin anomalías genéticas conocidas relacionadas con psoriasis
- Niveles de Biomarcadores Relevantes: Dentro de rangos normales
- Resultados de Pruebas de Imagen: No se han realizado pruebas de imagen

6. Tratamiento Actual:

- Medicación Prescrita: Ninguna

- Dosis y Frecuencia: N/A

- Duración del Tratamiento: N/A

7. Seguimiento y Evaluación:

- Respuesta al Tratamiento: N/A

- Efectos Secundarios Observados: N/A

- Necesidad de Ajuste del Tratamiento: Evaluación pendiente, se recomienda establecer un plan de tratamiento

adecuado

8. Consentimiento Informado:

- ¿El paciente ha otorgado consentimiento informado para el uso de sus datos con fines de investigación? Sí

Notas Adicionales:

La paciente presenta lesiones localizadas principalmente en el área del cuero cabelludo y cuello. Se recomienda

evaluar opciones de tratamiento inicial considerando la extensión y características actuales de las lesiones.

9.2 INFORME MÉDICO PACIENTE MASCULINO

Formulario de Inclusión de Pacientes - Ficticio

Información del Paciente:

1. Número de Identificación del Paciente: 55443322

2. Datos Demográficos:

- Edad: 50 años
- Sexo: Femenino
- Grupo Étnico: Afrodescendiente

3. Antecedentes Médicos:

- Duración de la Psoriasis: 12 años
- Comorbilidades Relevantes: Diabetes tipo 2

4. Características Clínicas:

- Tipo de Psoriasis: Psoriasis en placas
- Gravedad de la Psoriasis: Severa (según el Índice de Severidad de la Psoriasis: 3.5)
- Localización y Extensión de las Lesiones: En brazos, piernas y zona lumbar

5. Resultados de Pruebas de Laboratorio:

- Perfil Genético: Sin anomalías genéticas conocidas relacionadas con psoriasis
- Niveles de Biomarcadores Relevantes: Elevados
- Resultados de Pruebas de Imagen: No se han realizado pruebas de imagen

6. Tratamiento Actual:

- Medicación Prescrita: Terapia con biológicos
- Dosis y Frecuencia: Inyecciones cada 2 semanas
- Duración del Tratamiento: 6 meses

Formulario de Inclusión de Pacientes - Ficticio

7. Seguimiento y Evaluación:

- Respuesta al Tratamiento: En evaluación
- Efectos Secundarios Observados: Ninguno hasta el momento
- Necesidad de Ajuste del Tratamiento: Revisión en la siguiente consulta

8. Consentimiento Informado:

- ¿El paciente ha otorgado consentimiento informado para el uso de sus datos con fines de investigación? Sí

Notas Adicionales:

Dado el historial clínico del paciente y la presencia de diabetes tipo 2, no se recomienda el uso de Calcipotriol debido a

posibles efectos secundarios adversos. Se recomienda continuar con la terapia con biológicos y evaluar su eficacia en

futuras consultas.

9.3 PROTOCOLO PSORIASIS

Debido a su extensión, el documento correspondiente al protocolo de psoriasis se adjunta como archivo externo en el presente proyecto.

9.4 ENLACE DE LA PÁGINA WEB DEL PROYECTO

https://iaenpsoriasis.pythonanywhere.com/?id=juanjo_amoros

9.5 CÓDIGO COMPLETO DE LA PÁGINA WEB DEL PROYECTO

El código se adjunta como archivo externo en el presente proyecto.

9.6 CÓDIGO COMPLETO DEL CHATBOT INTERACTIVO DEL PROYECTO

El código se adjunta como archivo externo en el presente proyecto.