



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería de Software

**Keratreat: Sistema de apoyo a la decisión del
tratamiento para paciente con queratocono usando
BERT**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Software

AUTORES

Luis David YAURI MARTINEZ

Alisson Karina ARROYO ROMO

ASESOR

Dr. David Santos MAURICIO SÁNCHEZ

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Yauri, L. & Arroyo, A. (2024). *Keratreat: Sistema de apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono usando BERT*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Escuela Profesional de Ingeniería de Software]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Luis David Yauri Martinez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74216519
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1867-5212
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Alisson Karina Arroyo Romo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73685853
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-5535-9390
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	David Santos Mauricio Sánchez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06445495
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9262-626X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Ciro Rodriguez Rodriguez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06020241
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	José Alfredo Herrera Quispe
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40362859
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Juan Gamarra Moreno
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	20039857
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.3.22. Ingeniería de software
Grupo de investigación	Inteligencia Artificial
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Latitud: -12.053076334121952 Longitud: -77.0856410264969
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2019 - 2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de sistemas y comunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.04 Ciencias de la computación https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.02.01 Informática y Ciencias de la Información https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.02.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INFORMATICA
Escuela Profesional de Ingeniería de Software

Acta de Sustentación de Tesis

Siendo las doce (12) horas del día veintinueve (29) del mes febrero del año 2024, se reunieron en el auditorio y presidido por el Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez* (Presidente), Dr. *José Alfredo Herrera Quispe* (Miembro) y el Mg. *Juan Gamarra Moreno* (Miembro) y para la sustentación de la tesis Intitulada: **“KERATREAT: SISTEMA DE APOYO A LA DECISIÓN DEL TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON QUERATOCONO USANDO BERT”**, por el Bachiller *Luis David Yauri Martinez*, para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Software.

Acto seguido de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó al Bachiller a responder las preguntas formuladas por los Miembros del Jurado.

El Bachiller, en el curso de sus intervenciones demostró pleno dominio del tema, al responder con acierto y fluidez las preguntas formuladas por los señores miembros del Jurado.

Finalmente habiéndose efectuado la calificación correspondiente por los miembros del Jurado, el bachiller obtuvo la nota de *19 (Diecinueve)*.

A continuación, el Presidente del Jurado Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez*, declara al Bachiller Ingeniero de Software.

Siendo horas, se levantó la sesión.

Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez*
Presidente

Dr. *José Alfredo Herrera Quispe*
Miembro

Mg. *Juan Gamarra Moreno*
Miembro

Dr. *David Santos Mauricio Sanchez*
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INFORMATICA
Escuela Profesional de Ingeniería de Software

Acta de Sustentación de Tesis

Siendo las doce (12) horas del día veintinueve (29) del mes febrero del año 2024, se reunieron en el auditorio y presidido por el Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez* (Presidente), Dr. *José Alfredo Herrera Quispe* (Miembro) y el Mg. *Juan Gamarra Moreno* (Miembro) y para la sustentación de la tesis Intitulada: **"KERATREAT: SISTEMA DE APOYO A LA DECISIÓN DEL TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON QUERATOCONO USANDO BERT"**, por la Bachiller *Alisson Karina Arroyo Romo*, para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Software.

Acto seguido de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó al Bachiller a responder las preguntas formuladas por los Miembros del Jurado.

El Bachiller, en el curso de sus intervenciones demostró pleno dominio del tema, al responder con acierto y fluidez las preguntas formuladas por los señores miembros del Jurado.

Finalmente habiéndose efectuado la calificación correspondiente por los miembros del Jurado, el bachiller obtuvo la nota de *9 (Nueve)*.

A continuación, el Presidente del Jurado Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez*, declara al Bachiller Ingeniero de Software.

Siendo horas, se levantó la sesión.

Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez*
Presidente

Dr. *José Alfredo Herrera Quispe*
Miembro

Mg. *Juan Gamarra Moreno*
Miembro

Dr. *David Santos Mauricio Sánchez*
Asesor



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **DAVID SANTOS MAURICIO SÁNCHEZ** en mi condición de asesor acreditado con la **Resolución Directoral N°000006-2022-EPISW-FISI/UNMSM** de la tesis de investigación, cuyo título es **KERATREAT: SISTEMA DE APOYO A LA DECISIÓN DEL TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON QUERATOCONO USANDO BERT** presentado por los bachilleres LuisDavid **YAURI MARTINEZ** y Alisson Karina **ARROYO ROMO**, para optar el **título de Ingeniero de Software**. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **18%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

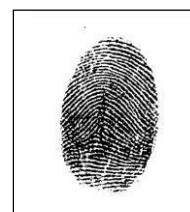
Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor _____

DNI: 06445495

Dr. David Santos Mauricio Sánchez

Asesor



Con gratitud y cariño, dedicamos este trabajo a nuestros queridos padres,
cuya dedicación y apoyo incondicional han sido el motor que nos
ha impulsado a alcanzar este logro como profesionales.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Dr. David Mauricio Sánchez, por su guía, paciencia y conocimientos que fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Su apoyo incondicional, sus valiosas sugerencias y su compromiso con nuestro crecimiento académico han sido un pilar fundamental en este proceso. Gracias a su dedicación, hemos adquirido nuevas habilidades y hemos alcanzado un nivel de comprensión que jamás habríamos imaginado. Su mentoría ha sido un regalo que atesoraremos a lo largo de nuestra vida profesional.

A la prestigiosa Universidad Nacional Mayor de San Marcos y a la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, por brindarnos la oportunidad de un ambiente académico enriquecedor y un espacio donde hemos tenido la oportunidad de crecer tanto intelectual como personalmente. Agradecemos a todos los docentes por su dedicación y compromiso con la excelencia educativa.

A nuestras familias, cuyo apoyo incondicional y ejemplo de fortaleza y perseverancia han sido fundamentales en nuestro camino, por su respaldo y aliento que han sido pilares esenciales en este logro.

A nuestros amigos, quienes han sido nuestro apoyo en los momentos de diversión y también comprensivos ante nuestras ausencias y compromisos académicos, por compartir juntos cada avance y victoria con entusiasmo.

Keratreat: Sistema de apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono usando BERT

RESUMEN

El queratocono es una enfermedad progresiva, bilateral, asimétrica y ectática que causa un adelgazamiento progresivo de la córnea y una protuberancia de la misma, lo que conduce a un astigmatismo irregular y al deterioro visual. Decidir sobre un tratamiento para el queratocono depende de diversos factores clínicos. En la literatura, existen artículos sobre la gestión de tratamientos quirúrgicos y no quirúrgicos, pero no hay un consenso sobre ello. Además, no se han encontrado softwares y mucho menos con recientes tecnologías de Procesamiento de Lenguaje Natural. En este estudio, se propone un modelo basado en BERT, artículos científicos sobre queratocono, estandarización de términos y en casos clínicos para el apoyo a la decisión del tratamiento de queratocono por CXL, ICRS y Queratoplastia. El modelo fue implementado en un sistema web denominado Keratreat usando principalmente TypeScript y Python, donde contempla 3 modelos BERT (BertBaseCased, BioBertBaseCased, BioBertPubMed) los cuales, además, fueron entrenados con 54 artículos científicos sobre queratocono y 159 registros clínicos de pacientes. Las pruebas numéricas sobre 14 casos clínicos y 84 párrafos de artículos científicos muestran que el sistema presenta un Acc de 0.9082, Recall de 0.9193 y F1-Score de 0.8983, lo cual es muy promisorio para su uso.

Keywords: Queratocono, CXL, ICRS, Queratoplastia, Procesamiento de Lenguaje Natural, BERT

Keratreat: Sistema de apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono usando BERT

ABSTRACT

Keratoconus is a progressive, bilateral, asymmetric, ectatic disease that causes progressive corneal thinning and corneal bulging, leading to irregular astigmatism and visual impairment. Deciding on a treatment for keratoconus depends on several clinical factors. In the literature, there are articles on the management of surgical and non-surgical treatments, but there is no consensus on it. Moreover, no software has been found, let alone with recent Natural Language Processing technologies. In this study, a model based on BERT, scientific articles on keratoconus, standardization of terms and on clinical cases is proposed for decision support of keratoconus treatment by CXL, ICRS and Keratoplasty. The model was implemented in a web system called Keratreat using mainly TypeScript and Python, where it contemplates 3 BERT models (BertBaseCased, BioBertBaseCased, BioBertPubMed) which, in addition, were trained with 54 scientific articles on keratoconus and 159 clinical patient records. Numerical tests on 14 clinical cases and 84 paragraphs of scientific articles show that the system has an Acc of 0.9082, Recall of 0.9193 and F1-Score of 0.8983, which is very promising for its use.

Keywords: Keratoconus, CXL, ICRS, Keratoplasty, Natural Language Processing, BERT

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS.....	vi
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tablas	xii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema	4
1.3. Importancia	4
1.4. Motivación	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Propuesta.....	6
1.7. Organización	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Queratocono	9
2.1.1. Clasificación y estadios del queratocono	9
2.2. Tratamientos para el Queratocono	10
2.2.1. CXL.....	10
2.2.2. ICRS.....	11
2.2.3. Queratoplastia	11
2.3. BERT.....	12
2.3.1. Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)	12
2.3.2. Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT)	12
2.3.3. Funcionamiento del modelo BERT en la clasificación de texto	13
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE.....	15
3.1. Metodología de la investigación	15
3.2. Planificación de la revisión.....	15

3.3. Desarrollo de la revisión	17
3.4. Resultados de la revisión	18
3.5. Análisis de la revisión	20
3.5.1. Q1: ¿Qué estudios existen para identificar un tratamiento para un paciente con queratocono?	20
3.5.2. Q2: ¿Qué estudios sobre BERT existen en el área clínica?	22
CAPÍTULO 4: MÉTODO PARA DISEÑAR UN MODELO BERT PARA EL APOYO A LA DECISIÓN DEL TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON QUERATOCONO	24
4.1. Justificación del método	24
4.2. Método para diseñar un modelo BERT para el apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono.....	25
4.2.1. P1: Construcción del Dataset	26
4.2.2. P2: Construcción de sinónimos.....	28
4.2.3. P3: Transformación de datasets	30
4.2.4. P4: Preprocesamiento de datos	34
4.2.5. P5: Generador de modelos BERT	36
4.2.6. P6: Interpretación y evaluación	36
4.3. Nuevo enfoque de apoyo a la de decisión del tratamiento de Queratocono basado en BERT.....	37
CAPÍTULO 5: DESARROLLO DEL SISTEMA DE APOYO A LA DECISIÓN DEL TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON QUERATOCONO	39
5.1. Descripción del sistema	39
5.2. Arquitectura del sistema.....	40
5.3. Estructura de datos	41
5.4. Modelado del sistema	43
5.4.1. Roles	45
5.4.2. Requerimientos funcionales.....	49
5.4.3. Requerimientos no funcionales.....	51

5.4.4. Lista de servicios.....	52
5.5. Implementación.....	55
5.5.1. Metodología de desarrollo	55
5.5.2. Lenguajes de programación	57
5.6. Requisitos para el uso del sistema	57
5.6.1. Requisitos mínimos a nivel de hardware	57
5.6.2. Requisitos mínimos a nivel de software	58
CAPÍTULO 6: ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN DEL MODELO PARA LA DECISIÓN DEL TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON QUERATOCONO	59
6.1. Diseño de validación.....	59
6.2. Ambiente de entrenamiento y validación.....	60
6.2.1. Ambiente de entrenamiento	60
6.2.2. Ambiente de validación.....	60
6.3. Instancias de pruebas	61
6.3.1. Preparación de datos	61
6.3.2. Instancias de pruebas para el entrenamiento, validación y pruebas.....	61
6.4. Métricas.....	62
6.5. Entrenamiento de los modelos de BERT	62
6.5.1. Definir configuración de experimentos	62
6.5.2. Ejecutar experimento	63
6.6. Resultados	63
6.6.1. BertBaseCased	64
6.6.2. BioBertBaseCased	65
6.6.3. BioBertPubMed	67
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	69
7.1. Conclusiones	69
7.1.1. Conclusión general.....	69
7.1.2. Conclusiones específicas	69

7.2. Limitaciones.....	70
7.3. Trabajos futuros	70
Anexo A: Artículos sobre los tratamientos CXL, ICRS y Queratoplastia	76
1. Descripción	77
2. CXL.....	77
3. ICRS.....	78
4. Queratoplastia	79
Anexo B: Manual de usuario del sistema	82
1. Descripción	83
2. Estructura General	83
3. Operatividad General	84
3.1. Vista de inicio de sesión.....	84
3.1. Vista de Funcionalidades	85
3.1.1 Decidir un tratamiento de queratocono.....	85
3.1.2. Listar pacientes	90
4. Accesos	91
Anexo C: Detalles de los resultados de los 162 experimentos	92
1. Descripción	93

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema General de la propuesta.....	7
Figura 2. Vista de perfil de un queratocono Avanzado	9
Figura 3. Ojo post operación CXL.....	10
Figura 4. Ojo con implante ICRS	11
Figura 5. Ojo sometido a queratoplastia	12
Figura 6. Clasificación de texto con BERT	13
Figura 7. Proceso de revisión de la literatura.....	18
Figura 8. Método para diseñar un modelo BERT para el apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono.....	25
Figura 9. Proceso de Transformación de datasets	31
Figura 10. Ejemplo de la transformación de un artículo.....	33
Figura 11. Proceso de Preprocesamiento de datos	35
Figura 12. Proceso del Generador de modelos BERT	36
Figura 13. Nuevo enfoque de apoyo a la de decisión del tratamiento de Queratocono basado en BERT.....	38
Figura 14. Arquitectura del sistema	41
Figura 15. Diagrama Entidad-Relación del sistema	42
Figura 16. Modelo de dato de Usuario usando SQLAlchemy	43
Figura 17. Interfaz inicial del sistema para el Oftalmólogo.....	44
Figura 18. Interfaz inicial del sistema para el Administrador.....	44
Figura 19. Interfaz de gestión de roles del sistema.....	45
Figura 20. Interfaz de gestión de usuarios del sistema	46
Figura 21. Interfaz de Resumen del Flujo de Decisión del Tratamiento del sistema.....	47
Figura 22. Interfaz de Resultado de Decisión del Tratamiento del sistema.....	48
Figura 23. Interfaz de gestión de pacientes del sistema.....	49
Figura 24. Diagrama de componentes de servicios del sistema.....	52
Figura 25. Tareas del tablero Kanban	56
Figura 26. Esquema de entrenamiento del generador de modelos.....	60
Figura 27. Resultados de dataset de pruebas de los 54 modelos generados con BertBaseCased .	64

Figura 28. Resultados de dataset de pruebas de los 54 modelos generados con BioBertBaseCased	66
Figura 29. Resultados de dataset de pruebas de los 54 modelos generados con BioBertPubMed	67
Figura 30. Componentes de la interfaz del rol Oftalmólogo	83
Figura 31. Vista de inicio de sesión	84
Figura 32. Vista principal del rol Oftalmólogo	85
Figura 33. Vista de ingreso del DNI	86
Figura 34. Vista del paso 1 de factores de riesgo del paciente.....	87
Figura 35. Vista del paso 2 de factores de riesgo del paciente.....	88
Figura 36. Vista resumen con un texto clínico.....	89
Figura 37. Vista resultado con la decisión del tratamiento	90
Figura 38. Vista con el listado de todos los pacientes.....	91

Lista de Tablas

Tabla 1. Cadenas de búsqueda utilizadas	16
Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión	17
Tabla 3. Cantidad de documentos por bases de datos bibliográficas	19
Tabla 4. Documentos seleccionados para el estudio	19
Tabla 5. Estudios para identificar un tratamiento para un paciente con queratocono.....	21
Tabla 6. Estudios de BERT en el área clínica	22
Tabla 7. Características de los datasets	26
Tabla 8. Factores de riesgo del paciente con queratocono	26
Tabla 9. Sinónimos de tratamientos	28
Tabla 10. Sinónimos de factores de riesgo y sus valores	29
Tabla 11. Ejemplo de factores de riesgo de un paciente	32
Tabla 12. Características de los datasets de párrafos	34
Tabla 13. Características de los datasets de párrafos preprocesados	35
Tabla 14. Requerimientos funcionales del sistema	49
Tabla 15. Requerimientos no funcionales del sistema	51
Tabla 16. Lista de 3 modelos pre entrenados de BERT	59
Tabla 17. Datos del escenario planteado	61
Tabla 18. División de datos del escenario planteado	62
Tabla 19. Parámetros de entrenamiento y sus modelos del escenario planteado	63
Tabla 20. Resultados de los 10 mejores modelos para BertBaseCased	65
Tabla 21. Resultados de los 5 mejores modelos para BioBertBaseCased	66
Tabla 22. Resultados de los 4 mejores modelos para BioBertPubMed	68

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El queratocono es una enfermedad progresiva, bilateral, asimétrica y ectática que causa un adelgazamiento progresivo de la córnea y una protuberancia de la misma, lo que conduce a un astigmatismo irregular y al deterioro visual (Rabinowitz, 1998; Andreanos et al., 2017). Se estima que afecta a 1 de cada 2 000 individuos, aparece entre los 15 y 25 años de edad, con incidencia que disminuye con la edad, y el 60% de los casos se da en varones (Godefrooij et al., 2017; Volatier et al., 2019). En Corea del Sur, la prevalencia de queratocono es de 15.1 casos por 100 000 personas al año (Moon et al., 2020). Hashemi et al., (2019) concluyó que la prevalencia del queratocono es de 1.38 por cada 1 000 habitantes, según los 29 artículos científicos analizados de 15 países (Canadá, Países Bajos, Israel, Irán, India, Corea del Sur, Filadelfia, Maryland, Estados Unidos, Francia, Alemania, Palestina, Arabia Saudita, Líbano y China).

Mejorar el diagnóstico del queratocono para reconocer formas más leves de la enfermedad e identificar una posible progresión ha adquirido una importancia significativa debido a la cirugía refractiva y al desarrollo de nuevas modalidades de tratamientos (Salomão et al., 2018). El enfoque del tratamiento sigue una progresión ordenada desde los anteojos hasta el trasplante de córnea (Valdés et al., 2014). Entre los tratamientos no quirúrgicos se encuentran las gafas y lentes de contacto, que son un medio eficaz para corregir el queratocono leve (Valdés et al., 2014). En el campo de la cirugía, existen varias técnicas, entre las principales destacan los segmentos de anillos corneales intraestromales (ICRS), que pueden lograr una mejora en la agudeza visual y, si es posible, un aumento en la estabilidad de la córnea (Peña et al., 2012); el crosslinking (CXL), que endurece la córnea y puede detener la progresión de la enfermedad (Asri et al., 2011); y la

queratoplastia (Keratoplasty), que generalmente se realiza para grados más avanzados de queratocono (Peña et al., 2012).

Decidir sobre un tratamiento para el queratocono depende de diversos factores clínicos como el grosor corneal, la inclinación de la córnea, frotamiento ocular, agudeza visual, error refractivo (Andreanos et al., 2017; Fernández-Vega-Cueto et al., 2017), estabilidad de la enfermedad, la agudeza visual de distancia corregida (CDVA), cambio frecuente de gafas, trastornos de tejidos conectivos, embarazo, y edad del paciente (Shetty et al., 2015). Estos factores y las alternativas disponibles de tratamiento hacen complejo decidir sobre la mejor opción de tratamiento para cada paciente.

En la literatura, se puede hallar artículos sobre la gestión de tratamientos quirúrgicos y no quirúrgicos, pero no hay un consenso sobre ello (Gomes et al., 2015; McGhee et al., 2015; Shetty et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017). Además, no se han encontrado softwares con recientes tecnologías de Procesamiento de Lenguaje Natural para apoyar a la decisión en la elección del tratamiento de queratocono para un paciente.

El procesamiento de lenguaje natural (NLP) permite interpretar el lenguaje y la semántica del habla o del texto para realizar diversas tareas inteligentes (Alam et al., 2020), como procesar (semi) automáticamente texto libre. La literatura indica que los algoritmos de NLP han sido ampliamente adoptados e implementados en el campo de la medicina (Gonzalez-Hernandez et al., 2017; Jovanović & Bagheri, 2017). Existe una tecnología reciente de NLP que ha mostrado buenos resultados para una amplia gama de tareas como clasificación de pares de oraciones, clasificación de una sola oración y respuesta a preguntas: la Representación de Codificador Bidireccional de Transformadores (BERT), que, a diferencia de los recientes modelos de representación del lenguaje (Peters et al., 2018; Radford et al., 2018), está diseñada para pre-entrenar las

representaciones bidireccionales profundas a partir de texto no etiquetado, condicionando conjuntamente tanto el contexto izquierdo como el derecho en todas las capas, brindando un modelo pre-entrenado que puede ser afinado con sólo una capa de salida adicional para crear modelos de última generación, sin modificaciones sustanciales de la arquitectura específica de la tarea, siendo así conceptualmente simple y empíricamente poderoso (Devlin et al., 2019), además, ha mostrado buenos resultados en diversos problemas, como 0.96 de precisión (Park et al., 2017), por lo que su aplicación en el tratamiento de Queratocono sería beneficiosa.

Existen diversas aplicaciones de BERT en el ámbito clínico. En Yao et al., (2019), se propone un método para clasificar registros clínicos en la Medicina Tradicional China (TCM) usando TCM-BERT, que logra una exactitud de 0.8939 ± 0.0035 . En Su et al., (2020), se plantea un algoritmo para clasificar mutaciones genéticas relacionadas con el cáncer en diferentes categorías, basadas en evidencia textual de resúmenes de literatura para identificar información genómica relevante usando BERT+abstract, que logra un recall de 0.6837. Park et al., (2020), presenta un modelo para identificar los documentos médicos relevantes relacionados con la medicina de precisión usando BERT, que logra una precisión de 0.96. Jiang et al., (2020), proponen un modelo inteligente para identificar las principales causas de fiebre de origen desconocido (FUO) usando el modelo FID (FUO intelligent diagnosis) con BERT que logra una precisión del 0.8168. Rybinski et al., (2020), investigan la efectividad de diferentes modelos de ranking para sistemas de búsqueda de ensayos clínicos, destacando el modelo BlueBERT, con una precisión de 0.604. Wang et al., (2020), desarrollan un método nuevo de clasificación de entidades para normalizar los términos de diagnóstico y procedimientos en chino, a los códigos de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) usando BERT-based ranking, que logra una exactitud de 0.921 para diagnósticos y de 0.801 para procedimientos.

Sin embargo, una búsqueda en revistas indexadas en Scopus, Web of Science (WoS) y PubMed usando la cadena “(system OR cdss) AND treatment AND (keratoconus OR ophthalmology)” muestra que no existen aplicaciones de BERT en queratocono.

1.2. Problema

Apoyar a la decisión del tratamiento de paciente con queratocono, frente a la gran cantidad de alternativas disponibles con el fin de mejorar la agudeza visual y calidad de vida, por lo que se propone la siguiente interrogante: ¿Cómo decidir el tratamiento más adecuado con un sistema de apoyo para un paciente con queratocono? En este estudio se consideran los tratamientos CXL (Mohammadpour et al., 2018), ICRS (Mohammadpour et al., 2018) y Queratoplastia (Mohammadpour et al., 2018), que son los más usados.

1.3. Importancia

La importancia de determinar el mejor tratamiento para el queratocono es dada por lo siguiente:

- Según Li et al., (2020), elegir el tratamiento adecuado para el queratocono puede ayudar a los pacientes a recuperar la visión y evitar la ceguera.
- Para Andreanos et al., (2017), hasta la fecha, no existen pautas específicas sobre el tratamiento del queratocono. Existen varias modalidades de tratamiento disponibles y la selección de la terapia óptima depende de los parámetros de la córnea del paciente, así como de la velocidad de progresión del queratocono.
- En Chan et al., (2019), se informa que los costos económicos relacionados a la prevalencia de queratocono para un paciente australiano son de aproximadamente 3 365 dólares australianos (AUD) y para la población australiana es de aproximadamente 44.7

millones de dólares australianos (AUD) por año, indicando que el diagnóstico y manejo del queratocono representan un costo significativo.

- Conforme a estudios, se estima que el queratocono afecta a 1 de cada 2 000 individuos, aparece entre los 15 y 25 años de edad, con una incidencia que disminuye con la edad, donde el 60% de los casos se da en varones (Godefrooij et al., 2017; Volatier et al., 2019). En Corea del Sur, la prevalencia de queratocono es de 15.1 casos por 100 000 personas al año (Moon et al., 2020). Hashemi et. al. (2019) concluyó que la prevalencia del queratocono es de 1.38 por cada 1 000 habitantes, según los 29 artículos científicos analizados de 15 países (Canadá, Países Bajos, Israel, Irán, India, Corea del Sur, Filadelfia, Maryland, Estados Unidos, Francia, Alemania, Palestina, Arabia Saudita, Líbano y China).
- De acuerdo con el Instituto Nacional de Oftalmología (INO) del Perú, el porcentaje anual de personas diagnosticadas con queratocono representó el 1.0% y 1.1% de los diagnósticos de morbilidad durante los años 2018 y 2019, respectivamente, INO (2018, 2019), y el 10.9% de los diagnósticos de morbilidad en el servicio de Córnea durante el año 2020, INO (2020).

1.4. Motivación

Una tecnología reciente de NLP que ha mostrado buenos resultados para diversidad de aplicaciones en el ámbito clínico es BERT, como clasificar registros clínicos en la Medicina Tradicional China (Yao et al., 2019), clasificar mutaciones genéticas relacionadas con el cáncer en diferentes categorías (Su et al., 2020), identificar los documentos médicos relevantes relacionados con la medicina de precisión (Park et al., 2020). Sin embargo, una búsqueda en revistas indexadas en Scopus, Web of Science y PubMed usando la cadena “(system OR cdss) AND treatment AND

(keratoconus OR ophthalmology)” muestra que no existen aplicaciones de BERT en queratocono. Por lo que el uso de BERT podría ser una alternativa para sugerir tratamiento al queratocono.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Desarrollar un Sistema de apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono usando BERT, artículos científicos en revistas indexadas en Scopus, Web of Science y PubMed, y casos clínicos, de tal forma que se logre determinar el mejor tratamiento para un paciente.

1.5.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de esta tesis son los siguientes:

- OE1. Diseñar un modelo de aprendizaje profundo con BERT que permita decidir el tratamiento de queratocono a partir de los datos de un paciente.
- OE2. Implementar un sistema de apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono usando BERT.
- OE3. Realizar pruebas numéricas para validar la exactitud del modelo propuesto.

1.6. Propuesta

Se propone el desarrollo de un sistema de apoyo a la decisión del tratamiento de queratocono basado en un modelo de aprendizaje profundo con BERT utilizando conocimientos de casos clínicos y artículos científicos de queratocono, el cual deberá ser capaz de decidir los tratamientos a realizar a pacientes que tengan queratocono a partir de sus datos. El esquema del sistema planteado se presenta en la Figura 1.

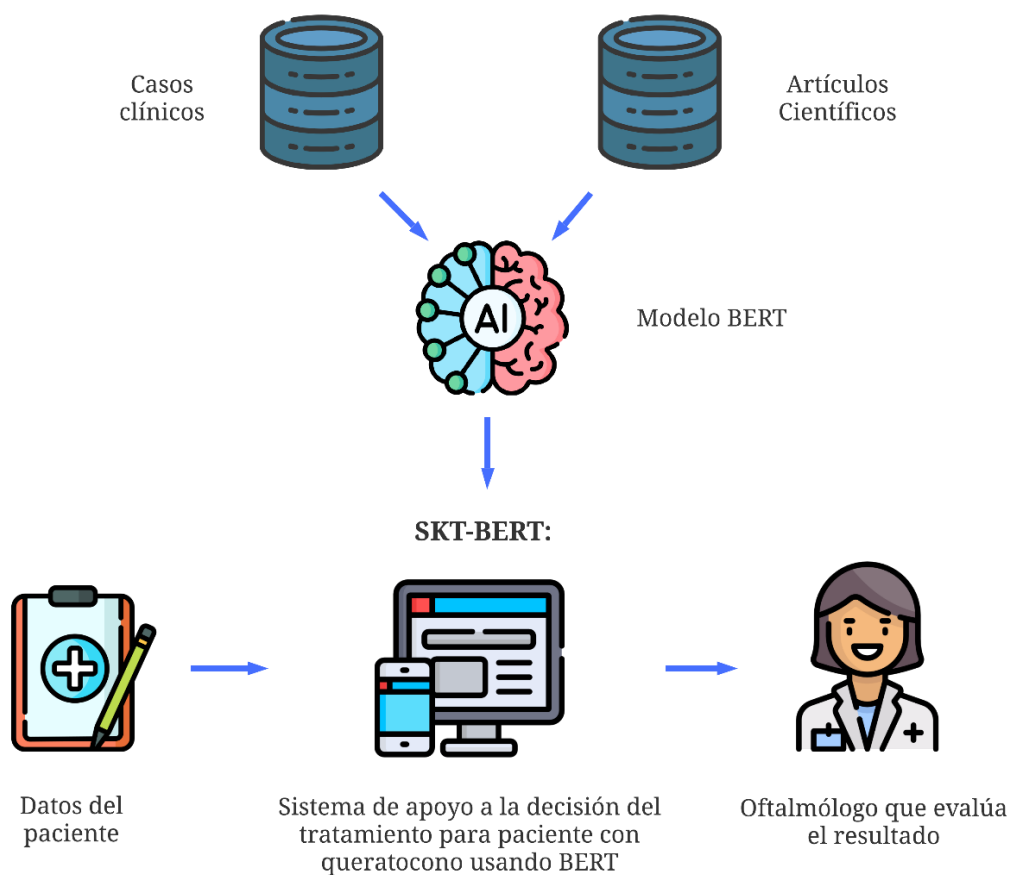


Figura 1. Esquema General de la propuesta

Fuente: Elaboración propia

1.7. Organización

La tesis está organizada en 7 capítulos que son mencionados a continuación. En el capítulo 2, se indican los conceptos del queratocono, tratamientos y el Procesamiento de Lenguaje Natural para una mejor comprensión de la tesis. En el capítulo 3, se realiza una revisión exhaustiva del estado del arte de los trabajos relacionados con aportes a la decisión clínica para identificar el tratamiento para un paciente con queratocono y otras enfermedades. En el capítulo 4, se propone un método para diseñar un modelo BERT para la decisión de un tratamiento para un paciente con queratocono. En el capítulo 5, se describe el proceso de desarrollo del sistema de apoyo a la decisión del

tratamiento para paciente con queratocono usando BERT. En el capítulo 6, se ejecuta el entrenamiento y se realiza la validación de 3 modelos pre entrenados de BERT. Y, finalmente, en el capítulo 7, se describen las conclusiones de esta tesis, así como los futuros trabajos que abren esta investigación.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta una breve explicación sobre el queratocono, tratamientos, el Procesamiento de Lenguaje Natural y BERT.

2.1. Queratocono

Es una enfermedad no inflamatoria, mayormente asimétrica y progresiva que resulta en adelgazamiento corneal, astigmatismo irregular y eventualmente pérdida severa de la visión (Hashemi et al., 2019) o un trastorno ectásico caracterizado por el adelgazamiento progresivo, la cicatrización y la protrusión anterior de la córnea, que dan lugar a astigmatismo irregular, opacidad y alteraciones de la visión (Alatawi et al., 2023). En la Figura 2 se muestra la vista de perfil de un queratocono Avanzado.



Figura 2. Vista de perfil de un queratocono Avanzado

Fuente: (Seitz et al., 2017)

2.1.1. Clasificación y estadios del queratocono

Distintos sistemas de clasificación están disponibles para clasificar el queratocono. Donde se destaca el sistema de clasificación de Amsler-Krumeich que considera la clasificación en 4 estadios según el espesor corneal, miopía, astigmatismo, cicatrización corneal y lecturas k centrales

(Mohammadpour et al., 2018); sistema de Alió-Shabayek, se basa en la clasificación de Amsler-Krumeich, y además tiene en cuenta las aberraciones corneales anteriores (aberraciones similares al coma RMS) (Alió & Shabayek, 2006) y el sistema de puntuación de gravedad del queratocono (KSS), considera la clasificación según la gravedad del queratocono de 0 (sospechoso) a 5 (grave) teniendo en cuenta dos índices topográficos corneales (error RMS de aberración corneal anterior de orden superior y queratometría central media), el patrón topográfico del queratocono y los signos clínicos de la lámpara de hendidura (Santodomingo-Rubido et al., 2022).

2.2. Tratamientos para el Queratocono

2.2.1. CXL

El entrecruzamiento del colágeno corneal (CXL, Cross-linking) es un tipo de tratamiento invasivo que modifica la estructura estromal de la córnea que se basa en la interacción entre los rayos UVA a una longitud de onda de 370 nm y la riboflavina tópica (vitamina B) durante 30 minutos que previene la progresión de la enfermedad mediante la formación de enlaces químicos entre las fibrillas de colágeno. (Mohammadpour et al., 2018). En la Figura 3 se muestra un ojo post operación CXL.



Figura 3. Ojo post operación CXL

Fuente: (Spadea & Mencucci, 2012)

2.2.2. ICRS

Los segmentos de anillos corneales intraestromales (ICRS, Intrastromal corneal ring segments) es un tipo de tratamiento de queratocono que se implantan en la córnea, profundamente en el estroma, y reduce la distorsión corneal al aplanar el área empinada y remodelarla (Mohammadpour et al., 2018). En la Figura 4 se muestra un ojo con implante ICRS.

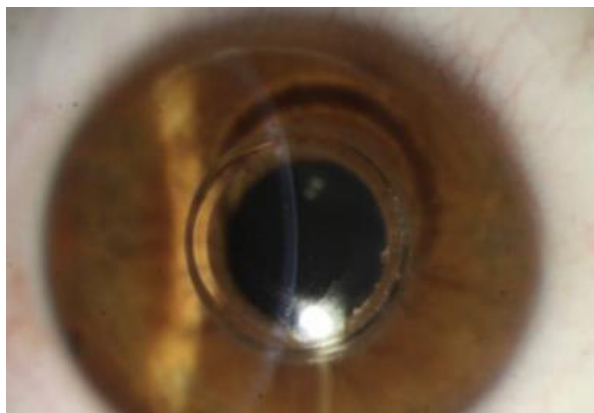


Figura 4. Ojo con implante ICRS

Fuente: (Mohammadpour et al., 2018)

2.2.3. Queratoplastia

La queratoplastia (Keratoplasty) es un tipo de tratamiento de queratocono que realiza un trasplante de córnea para queratocono avanzados y dependiendo de la extensión de la cicatrización corneal puede ser penetrante o lamelar (Mohammadpour et al., 2018). En la Figura 5 se muestra un ojo sometido a queratoplastia.

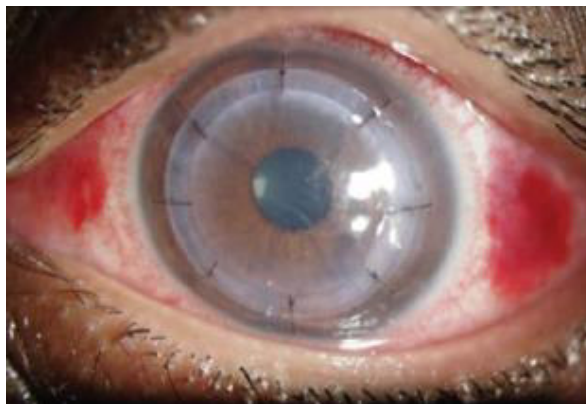


Figura 5. Ojo sometido a queratoplastia

Fuente: (Shetty et al., 2015)

2.3. BERT

2.3.1. Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)

El procesamiento del lenguaje natural (NLP, Natural language processing) investiga el uso de procesar o comprender lenguajes humanos a través de ordenadores con el fin de realizar diferentes tareas, y de la vista de ingeniería, de desarrollar aplicaciones que faciliten las interacciones entre los ordenadores y las lenguas humanas para la comprensión del lenguaje hablado, reconocimiento de voz, sistemas de diálogo, análisis léxico y sintáctico, gráficos de conocimiento, recuperación de información, traducción automática, respuesta a preguntas, análisis de sentimientos, generación y resumen de lenguaje natural (Deng et al., 2018).

2.3.2. Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT)

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) es un modelo de lenguaje de última generación desarrollado por Google basado en una red neuronal de codificador de transformer bidireccional, es decir, puede reconocer tanto las palabras que preceden como las que suceden a una palabra específica en una oración, permitiendo que el modelo alcance una

comprensión más profunda del contexto y las relaciones entre las palabras; además utiliza dos técnicas de pre-entrenamiento que mejoran el rendimiento en tareas específicas con conjuntos de datos más pequeños y etiquetados: Masked Language Modeling (MLM), implica enmascarar aleatoriamente algunas palabras en una oración y luego entrenar el modelo para predecir las palabras faltantes, y Next Sentence Prediction (NSP), implica entrenar el modelo para predecir si una oración sigue a otra en un texto dado (Devlin et al., 2019).

2.3.3. Funcionamiento del modelo BERT en la clasificación de texto

BERT se desarrolla en dos pasos: El primero es un Entrenamiento semi-supervisado en grandes cantidades de libros de texto, Wikipedia, etc y entrenado sin anotaciones; y el segundo es un Entrenamiento supervisado en una tarea específica con un conjunto de datos etiquetado. (Devlin et al., 2019).

En la figura 6, se presenta el caso de clasificación de texto. Para entrenar un modelo de este tipo, se debe realizar el proceso de fine-tuning, es decir, entrenar el clasificador con cambios mínimos en el modelo BERT, para ello, se requiere de un conjunto de datos etiquetado.

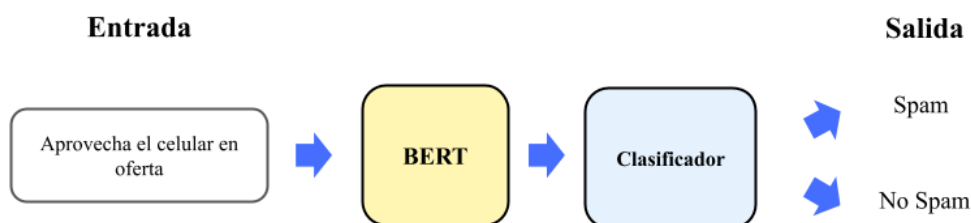


Figura 6. Clasificación de texto con BERT

Fuente: Elaboración propia

BERT es una pila de codificador de transformador entrenada que cuenta con dos tamaños BERT BASE y BERT LARGE, en este caso utilizamos a BERT BASE, un modelo pre-entrenado

(Primer paso), que cuenta con 12 capas de codificador, 768 unidades ocultas en cada capa y 12 cabezales de autoatención (Devlin et al., 2019).

En las Entradas del modelo, la primera es el token CLS que significa Clasificación, los siguientes tokens pertenecen a la secuencia de palabras que fluyen a través de cada capa de codificador que aplica autoatención y pasa a la siguiente capa, continuamente hasta la capa de salida, donde cada posición genera un vector de tamaño `hidden_size` (768), para el caso de clasificación de texto nos centramos solo en la salida de la primera posición (token [CLS]), este vector se puede usar como entrada para un clasificador de nuestra elección (Alammar, 2018).

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

En este capítulo, se presenta una revisión de la literatura acerca de los aportes a la decisión clínica para identificar el tratamiento para un paciente con queratocono y otras enfermedades debido a la escasa información de aportes usando BERT en el queratocono. Asimismo, la revisión se realiza en las bases de datos bibliográficas Scopus, Web of Science (WoS) y PubMed.

3.1. Metodología de la investigación

Para diseñar una solución para la decisión del tratamiento para paciente con queratocono usando BERT, se ha realizado una revisión sistemática, siguiendo el procedimiento usado en (Santisteban & Mauricio, 2017) que sigue una adaptación del trabajo de (Kitchenham & Charters, 2007), entre otros, demostrando una metodología sistemática y transparente, esta se desarrolla teniendo en cuenta los siguientes tres procesos:

- a) Planificación: Donde se construyen las preguntas sobre los objetivos de la investigación y el protocolo de revisión.
- b) Desarrollo: Aquí se aplica el protocolo definido y se obtienen los documentos científicos seleccionados, según los criterios de inclusión y exclusión.
- c) Resultados y Análisis: Finalmente, se presentan los resultados de la búsqueda y análisis de los documentos científicos seleccionados.

3.2. Planificación de la revisión

En este proceso, para empezar la revisión de la literatura sobre un sistema de apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono usando BERT, se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- Q1: ¿Qué estudios existen para identificar un tratamiento para un paciente con queratocono?
- Q2: ¿Qué estudios sobre BERT existen en el área clínica?

Para poder responder estas preguntas, se realiza una búsqueda de documentos científicos tomando en consideración las bases de datos bibliográficas Scopus, WoS y PubMed, con la finalidad de identificar documentos científicos seleccionados que corresponden a cadenas de palabras que fueron aplicadas como filtros al título, resumen y palabras claves, para un periodo comprendido entre los años 2015 y 2023, tal como se puede visualizar en la Tabla 1.

Tabla 1. Cadenas de búsqueda utilizadas

Origen	Cadena de búsqueda
Scopus	((system OR cdss) AND treatment AND (keratoconus OR ophthalmology)) AND BERT
Web of Science	((system OR cdss) AND treatment AND (keratoconus OR ophthalmology)) OR (BERT AND medicine)
PubMed	((system OR cdss) AND treatment AND (keratoconus OR ophthalmology)) OR (BERT AND identify)

Además, se consideraron los criterios de inclusión y exclusión que se establecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
• Documentos científicos que se encuentren entre los años 2015 al 2023 • Documentos científicos en inglés • Documentos científicos que sean de tipo artículo. • Modelos, sistemas, algoritmos, factores, técnicas y / o metodologías sobre el tema • Documentos científicos que responden directa o indirectamente a las preguntas de investigación	• Documentos científicos referentes a solo diagnóstico de queratocono • Documentos científicos que no sean artículos de revistas indexadas en Scopus o WoS o PubMed • Documentos científicos publicados antes del año 2015

3.3. Desarrollo de la revisión

En este proceso, los posibles documentos científicos potencialmente elegibles durante la búsqueda pasan por una fase de selección de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente en la Tabla 2. Fue necesario realizar una revisión del contenido para determinar su relevancia, especialmente, para verificar si estos documentos hacen referencia a aportes a la decisión clínica para identificar el tratamiento para un paciente con queratocono, sin embargo, la cantidad de artículos seleccionados en este tema de investigación fue limitada y con BERT fue escasa, por ello, se seleccionaron aportes de otras enfermedades usando BERT. Después de esto, se analizaron el resumen, la introducción y las conclusiones de los documentos científicos seleccionados con el objetivo de dar respuesta a las preguntas de investigación. En la Figura 7, se ve representado el proceso de revisión de la literatura.

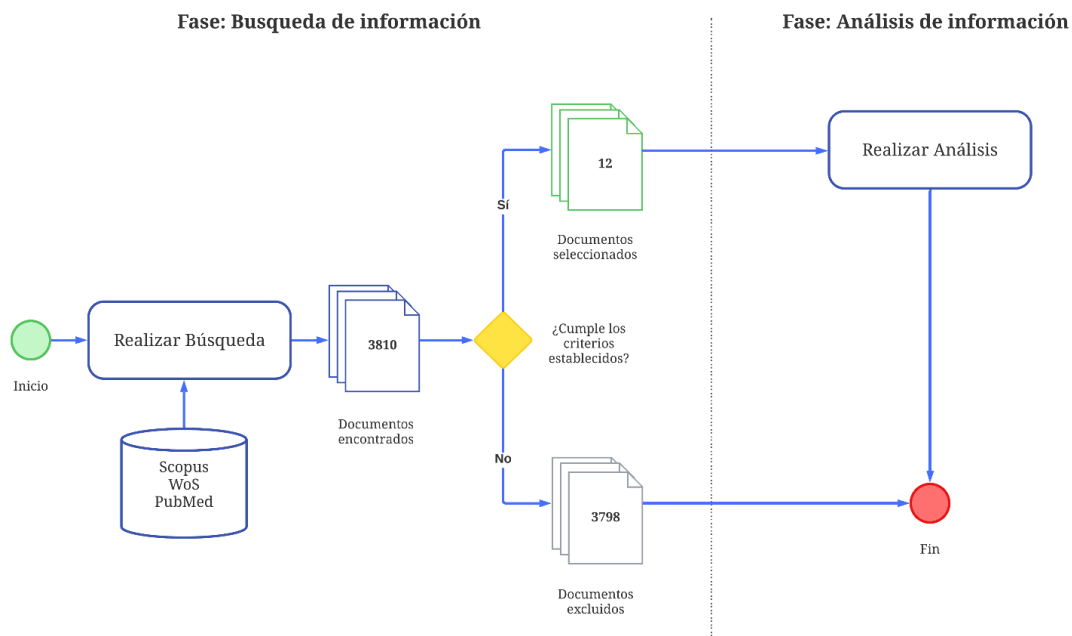


Figura 7. Proceso de revisión de la literatura

Fuente: Elaboración propia

3.4. Resultados de la revisión

En este proceso, se brindan los resultados del desarrollo y se responden a las preguntas de investigación que fueron propuestos en la planificación.

La revisión sistemática brindó como resultado a 3810 documentos científicos, y, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, salieron seleccionados solamente 12 documentos. Estos resultados se encuentran descritos por bases de datos bibliográficas en la Tabla 3.

Tabla 3. Cantidad de documentos por bases de datos bibliográficas

Fuente	Documentos científicos potencialmente elegibles	Documentos científicos seleccionados
Scopus	1589	5
WoS	628	4
PubMed	1311	3
Total	3798	12

A continuación, se muestran los documentos seleccionados para el estudio en la Tabla 4.

Tabla 4. Documentos seleccionados para el estudio

ID	Título	Autor	Revista
A1	Global Consensus on Keratoconus and Ectatic Diseases	(Gomes et al., 2015)	Cornea (Q1)
A2	Contemporary Treatment Paradigms in Keratoconus	(McGhee et al., 2015)	Cornea (Q1)
A3	Outcome of keratoconus management: Review of the Past 20 Years' contemporary treatment modalities	(Mandathara et al., 2017)	Eye & Contact Lens (Q2)
A4	Keratoconus Treatment Algorithm	(Andreanos et al., 2017)	Ophthalmology and Therapy (Q1)
A5	Current review and a simplified “five-point management algorithm” for keratoconus.	(Shetty et al., 2015)	Indian Journal of Ophthalmology (Q2)
A6	Corneal surgery in keratoconus: which type, which technique, which outcomes?	(Arnalich-Montiel et al., 2016)	Eye and Vision (Q2)
A7	Traditional Chinese medicine clinical records classification with BERT and domain specific corpora	(Yao et al., 2019)	Journal of the American Medical

			Informatics Association (Q1)
A8	Application of BERT to Enable Gene Classification Based on Clinical Evidence	(Su et al., 2020)	BioMed Research International (Q2)
A9	Automatic Identification of High Impact Relevant Articles to Support Clinical Decision Making Using Attention-Based Deep Learning	(Park et al., 2020)	Electronics (Q3)
A10	Exploring fever of unknown origin intelligent diagnosis based on clinical data: Model development and validation	(Jiang et al., 2020)	JMIR Medical Informatics (Q2)
A11	Clinical trial search: Using biomedical language understanding models for re-ranking	(Rybinski et al., 2020)	Journal of Biomedical Informatics (Q1)
A12	A study of entity-linking methods for normalizing Chinese diagnosis and procedure terms to ICD codes	(Wang et al., 2020)	Journal of Biomedical Informatics (Q1)

Además, para el estudio, se han identificado 54 artículos científicos sobre los tratamientos CXL, ICRS y Queratoplastia, que se presentan en el Anexo A.

3.5. Análisis de la revisión

3.5.1. Q1: ¿Qué estudios existen para identificar un tratamiento para un paciente con queratocono?

En la literatura, fueron encontrados 6 estudios para identificar un tratamiento para queratocono, orientados a revisiones literarias, diagramas de flujo, algoritmos y árbol de decisiones, y ninguno usa BERT. Estos aportes apoyan definitivamente en el entendimiento para el tema de investigación, los cuales se pueden visualizar en la Tabla 5.

Tabla 5. Estudios para identificar un tratamiento para un paciente con queratocono

Estudio	Descripción
(Gomes et al., 2015)	Brinda un diagrama de flujo para el tratamiento del queratocono. Esta proporciona una guía para el manejo de esta enfermedad, comenzando con una evaluación de diagnóstico y la determinación del grado de progresión. Luego, se presentan opciones de manejo no quirúrgico, como lentes de contacto y corrección óptica, seguidas por opciones quirúrgicas, como CXL, ICRS y trasplante de córnea. El diagrama de flujo también tiene en cuenta factores como la edad del paciente, la severidad de la enfermedad y las comorbilidades oculares.
(McGhee et al., 2015)	Brinda una descripción general del conocimiento actual sobre el queratocono y las opciones de manejo disponibles, describiendo un enfoque gradual y progresivo para el manejo del queratocono iniciando con gafas, lentes de contacto, tratamiento para la atopia y el frotamiento ocular, CXL, ICRS, Queratoplastia Lamelar Anterior Profunda (DALK) y PK, que tienen en cuenta factores importantes como la progresión de la enfermedad, la agudeza visual corregida mejorada (BCVA) y la agudeza visual sin corrección (BSCVA).
(Mandathara et al., 2017)	Brinda un algoritmo de tratamiento para el queratocono basado en el nivel de evidencia científica, que se basa en la calidad metodológica y la fuerza de la evidencia científica disponible para cada opción de tratamiento, donde las opciones con un nivel más alto de evidencia científica se consideran más efectivas y seguras para el manejo del queratocono. El algoritmo muestra diferentes opciones de tratamiento para el queratocono, incluyendo lentes de contacto (CL), gas permeable (GP), CXL, ICRS, lentes intraoculares (IOL), queratectomía fotorrefractiva (PRK) y queratectomía fototerapéutica (PTK). Además, se toma en cuenta como factores a la progresión y estabilidad del queratocono, niveles de evidencia científica y la intolerancia a los lentes de contacto.
(Andreanos et al., 2017)	Brinda un algoritmo de tratamiento para el queratocono que muestra las diferentes opciones de tratamiento disponibles en función del grado del queratocono, estado de la córnea y la gravedad de los síntomas. Las opciones de tratamiento incluyen lentes permeables a gases rígidos (RGP), lentes de contacto, gafas, CXL, DALK, PK, PRK y reemplazo del lente refractivo (RLE).
(Shetty et al., 2015)	Brinda un algoritmo simplificado de cinco puntos para el diagnóstico y tratamiento del queratocono como una guía para los médicos a tomar decisiones informadas sobre el tratamiento adecuado para cada paciente. Los cinco puntos incluyen: 1) evaluación de la progresión de la enfermedad, 2) determinación del mejor método de corrección visual, 3) consideración

	del cross-linking corneal como opción terapéutica, 4) consideración de los anillos intracorneales como opción terapéutica y 5) consideración de un trasplante de córnea en casos avanzados.
(Arnalich-Montiel et al., 2016)	Brinda un árbol de decisiones para el queratocono dependiendo de varios factores, como el grosor corneal, aberraciones tipo coma, disminución en la agudeza visual corregida, entre otros, sugiriendo opciones de tratamientos como gafas, CXL, ICRS, Trasplante corneal y TransPRK.

3.5.2. Q2: ¿Qué estudios sobre BERT existen en el área clínica?

En la literatura, fueron encontrados 6 estudios sobre BERT aplicado al área clínica. Estos aportes apoyan y validan que el uso de BERT obtiene buenos resultados en el ámbito clínico, lo cual se puede visualizar en la Tabla 6.

Tabla 6. Estudios de BERT en el área clínica

Estudio	Descripción	Resultados
(Yao et al., 2019)	Proponen un método para clasificar registros clínicos en la Medicina Tradicional China (TCM) usando TCM-BERT y un dataset de 7037 registros clínicos.	Exactitud = 0.8939 +/- 0.0035
(Su et al., 2020)	Proponen un algoritmo para clasificar mutaciones genéticas relacionadas con el cáncer en diferentes categorías, basadas en evidencia textual de resúmenes de literatura para identificar información genómica relevante usando BERT+abstract.	Recall = 0.6837 F-measure = 0.705.
(Park et al., 2020)	Proponen un modelo para identificar los documentos médicos relevantes relacionados con la medicina de precisión usando BERT-based y un dataset de 240 324 artículos científicos.	Precisión=0.96 Exactitud=0.95
(Jiang et al., 2020)	Proponen un modelo inteligente para identificar las principales causas de fiebre de origen desconocido (FUO) usando el modelo FID (FUO intelligent diagnosis) con BERT y un dataset de 2299 registros.	Precisión=0.8168

(Rybinski et al., 2020)	Investigan la efectividad de diferentes modelos de ranking para sistemas de búsqueda de ensayos clínicos, destacando el modelo BlueBERT.	Precisión=0.604
(Wang et al., 2020)	Desarrollan un método nuevo de clasificación de entidades para normalizar los términos de diagnóstico y procedimientos en chino, a los códigos de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) usando BERT-based ranking y un dataset de 8547 términos de diagnósticos y 8282 términos de procedimientos.	Exactitud=0.921 (Diagnósticos) Exactitud= 0.801 (Procedimientos)

Se observa que la aplicación de BERT en el área clínica puede ayudar a clasificar textos clínicos sin la necesidad de una intervención humana, además, puede brindar información útil para la toma de decisiones.

CAPÍTULO 4: MÉTODO PARA DISEÑAR UN MODELO BERT PARA EL APOYO A LA DECISIÓN DEL TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON QUERATOCONO

En este capítulo, se propone un método para diseñar un modelo BERT para el apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con Queratocono.

4.1. Justificación del método

Según la literatura, BERT es una técnica que está dando buenos resultados para el procesamiento de textos y clasificación en el área clínica (Yao et al., 2019; Su et al., 2020; Park et al., 2020; Jiang et al., 2020; Rybinski et al., 2020; Wang et al., 2020), sin embargo, no existe un método para diseñar un modelo BERT para el área de queratocono. Área en el cual existen diversas dificultades donde una simple aplicación de BERT podría no dar buenos resultados. Por ejemplo, existen palabras diferentes en los artículos científicos que tienen el mismo significado, que podría implicar un mal aprendizaje. Por otro lado, los criterios médicos para apoyar en la decisión de un tratamiento para el queratocono son diferentes y sin ningún consenso (Gomes et al., 2015; McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017; Shetty et al., 2015), por lo tanto, todo ello podría afectar negativamente en el aprendizaje de cualquier modelo. Por lo que amerita un método para crear un modelo basado en BERT que permita superar estas dificultades.

4.2. Método para diseñar un modelo BERT para el apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono

El método consta de 6 procesos: P1. Construcción de Dataset, P2. Construcción de sinónimos, P3. Transformación de datasets, P4. Preprocesamiento de datos, P5. Generador de modelos BERT y P6. Interpretación y evaluación (ver Figura 8).

El método inicia con la construcción de dataset, obteniendo dos datasets: Casos clínicos y Artículos científicos. Luego se realiza la transformación del dataset que convierte los datos a párrafos y estandariza los términos clínicos con un dataset de sinónimos generado por la Construcción de sinónimos, después continúa con el preprocesamiento de datos, que realiza técnicas de aumento de datos, posteriormente, se realiza la generación de modelos BERT hasta obtener resultados satisfactorios para finalizar con su interpretación y evaluación.

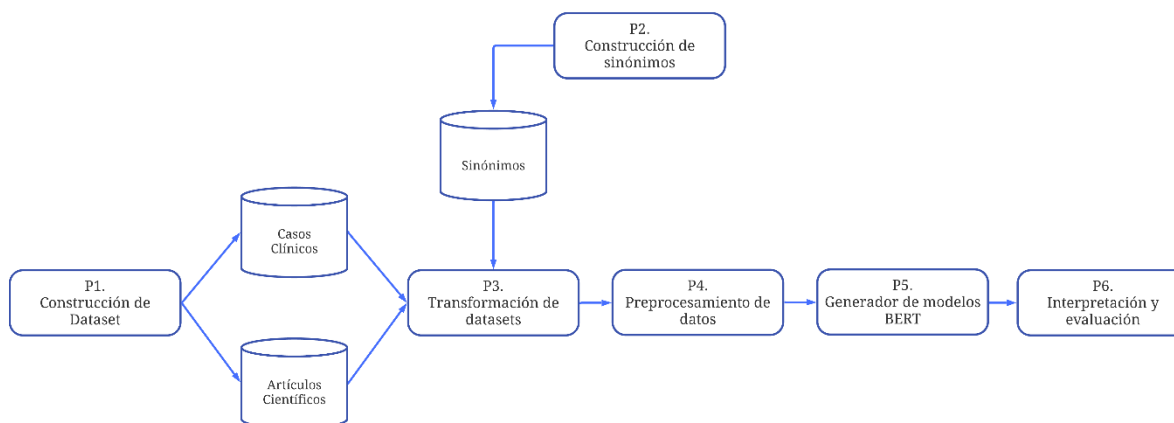


Figura 8. Método para diseñar un modelo BERT para el apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. P1: Construcción del Dataset

En este proceso, se realiza la creación del dataset de casos clínicos y artículos científicos con característica que se muestran en la Tabla 7. El dataset de datos clínicos fue proporcionado por una clínica especializada en oftalmología, ubicada en Lima, Perú, que consta de 159 registros clínicos de 86 pacientes y que contiene factores de riesgo (Gomes et al., 2015), también denominadas variables (Mandathara et al., 2017) o características (Arora et al., 2015) usadas por oftalmólogos especialistas en queratocono para definir un tratamiento, las cuales se reportan en los artículos científicos. Del total de factores de riesgo en la literatura, 17 fueron elegidos para su uso por expertos en queratocono, los cuales se muestran en la Tabla 8. El dataset de artículos científicos fue obtenido por expertos en queratocono de revistas indexadas en Scopus, WoS y PubMed, que corresponde a 54 artículos sobre el tratamiento del queratocono por CXL, ICRS y Queratoplastia (ver Anexo A), del cual se ha retirado el abstract y las bibliografías.

Tabla 7. Características de los datasets

Datasets	Tratamientos			Total	Unidad
	CXL	ICRS	Queratoplastia		
Casos Clínicos	64	48	47	159	Registros
Artículos Científicos	23	10	21	54	Artículos

Tabla 8. Factores de riesgo del paciente con queratocono

Id	Factores de riesgo	Valores	Fuente
D01	Edad	--	(McGhee et al., 2015; Andreanos et al., 2017; Shetty

			et al., 2015; Arnalich-Montiel et al., 2016)
D02	Género	Femenino o masculino	(McGhee et al., 2015; Shetty et al., 2015)
D03	Condición médica especial	Ninguna, embarazo, lactancia, antecedente de herpes ocular, enfermedad autoinmune o enfermedad de la superficie ocular	(Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017; Shetty et al., 2015)
D04	Uso de ayudas ópticas	Ninguna o lentes	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017; Shetty et al., 2015)
D05	Satisfecho con la corrección óptica actual	Sí o No	(Andreas et al., 2017)
D06	Intolerancia a lentes de contacto	Sí o No	(McGhee et al., 2015)
D07	Frote ocular frecuente	Sí o No	(Gomes et al., 2015; McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017; Shetty et al., 2015)
D08	Agudeza visual con corrección	Ninguna, 20/20, 20/25, 20/30, 20/40, 20/50, 20/60, 20/80, 20/100, 20/150, 20/200, 20/250, 20/400, 20/800, cuenta dedos, movimiento de manos, percepción de luz o no percepción de luz	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017; Arnalich-Montiel et al., 2016)
D09	Agudeza visual sin corrección	Ninguna, 20/20, 20/25, 20/30, 20/40, 20/50, 20/60, 20/80, 20/100, 20/150, 20/200, 20/250, 20/400, 20/800, cuenta dedos, movimiento de manos, percepción de luz o no percepción de luz	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017; Arnalich-Montiel et al., 2016)

D10	K2 (expresado en dioptrías)	--	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017)
D11	Kmax (expresado en dioptrías)	--	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017)
D12	Grosor corneal	--	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Shetty et al., 2015; Arnalich-Montiel et al., 2016)
D13	Queratocono progresivo	Sí o No	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017; Shetty et al., 2015)
D14	Hidrops corneal	Sí o No	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017)
D15	Cicatriz corneal	Ninguna, profunda o anterior	(McGhee et al., 2015; Mandathara et al., 2017; Andreanos et al., 2017)
D16	Cilindro	--	(McGhee et al., 2015)
D17	Ojo con queratocono	Derecho o Izquierdo	(McGhee et al., 2015; Andreanos et al., 2017)

4.2.2. P2: Construcción de sinónimos

En este proceso, se realiza un dataset de sinónimos de tratamientos (ver Tabla 9) y de factores de riesgo incluyendo sus valores (ver Tabla 10) para el queratocono, que fueron obtenidos de forma manual por oftalmólogos especialistas en queratocono.

Tabla 9. Sinónimos de tratamientos

Tratamientos	Sinónimos
CXL	corneal cross-linking, cross linking, epithelium-off corneal crosslinking, crosslinking, corneal crosslinking, corneal collagen cross-linking, transepithelial crosslinking, crosslinking epi on, crosslinking epi off,

	Conventional Epithelium-Off Corneal Crosslinking, conventional epithelium-off corneal, conventional epithelium-off, standard epi-off corneal crosslinking, cxl
ICRS	intracorneal ring segment, corneal ring, corneal ring segment, intrastromal ring segment, intrastromal segment, intacs, ferrara rings, keraring, icrs
Keratoplasty	penetrating keratoplasty, pk - pkp, pk, anterior keratoplasty, ak, keratoplasty, anterior lamellar keratoplasty, alk, deep anterior lamellar keratoplasty, dalk, pk, corneal transplantation, pkp

Tabla 10. Sinónimos de factores de riesgo y sus valores

Factores y valores	Sinónimos
left eye	left eye, OS, OI
right eye	OD
male	masculine, men
female	feminine, women
pregnancy	gestation, gravidity
lactation	nursing, breastfeeding
herpetis keratitis	history of ocular herpes, herpetic keratouveitis
autoimmune disease	rheumatoid arthritis, sjogren syndrome, systemic lupus erythematosus
dry eye	ocular surface disease, sicca keratitis
glasses	spectacles
D	diopters
special contact lenses	scleral contact lenses, rigid gas permeable contact lenses, rigid gas-permeable contact lens
satisfied with lenses	satisfied with the correction
eye rubbing	frequent eye rub
CDVA	BCDVA, bcdva, best corrected visual acuity, best corrected distance visual acuity, best-corrected distance visual acuity

UDVA	uncorrected visual acuity, uncorrected distance visual acuity, UDCVA
count fingers	finger count, counting fingers
hang motion	hand movement
no perception of light	NPL
deep corneal scar	leukoma
previous corneal scar	leukoma
k2	steep keratometry, K2
kmax	maximum keratometry, k max, K max
corneal thickness	central corneal thickness, thinnest point, thickness
cylinder	astigmatism, topographic astigmatism

4.2.3. P3: Transformación de datasets

Este proceso se realiza en dos etapas: primero, se realiza la transformación del dataset de los casos clínicos, y, segundo, la transformación del dataset de artículos científicos (ver Figura 9).

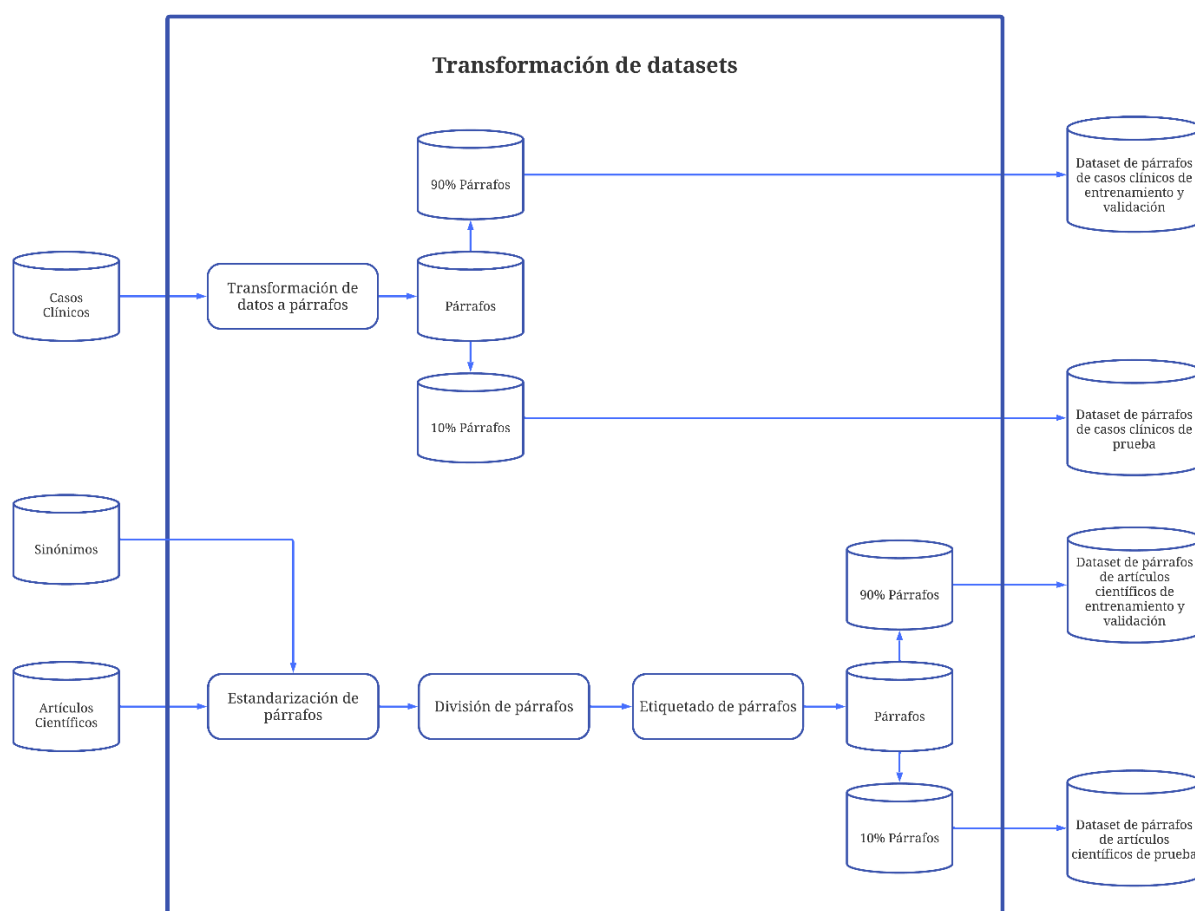


Figura 9. Proceso de Transformación de datasets

Fuente: Elaboración propia

La primera transformación se realiza siguiendo el proceso de transformación de datos a párrafos, que recibe los datos del paciente que está en español y genera un párrafo en inglés. Para ello se usa una plantilla de texto que contiene un párrafo con los códigos que corresponden a los factores de riesgo (ver Tabla 8), y que es dado de la siguiente manera:

“D01 year old D02, D03, D04 glasses, D05 satisfied with current optical correction, D06, D07 frequent eye rub, with CDVA D08, with UDVA D09, with k2 of D10D, with kmax D11D, with corneal thickness of D12 microns, D13 progressive keratoconus, D14 corneal hydropsis, D15 corneal scar, with D16 D cylinder and with keratoconus in the D17”

Para obtener el párrafo sobre los datos de los factores de riesgos de un paciente, basta reemplazar los códigos por los datos del paciente. Para los textos en español, se usa una tabla de traducción Español-Inglés de algunas palabras básicas como “ninguna” (without) y “no satisfecho” (not satisfied). Un ejemplo de este proceso se ilustra en la Tabla 11 y el párrafo que le sigue.

Tabla 11. Ejemplo de factores de riesgo de un paciente

D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17
20	Masculino	Ninguna	Ninguna	No	Sí	No	20/25	20/100	7.3	51.5	477	Si	No	No	4.2	Ojo Izquierdo

"20 year old male, without special medical condition, without glasses, not satisfied with current optical correction, with intolerance to contact lenses, not frequent eye rub, with CDVA 20/25, with UDVA 20/100, with k2 of 47.3D, with kmax 51.5D, with corneal thickness of 477 microns, with progressive keratoconus, without corneal hydropsis, without corneal scar, with 4.2D cylinder and with keratoconus in the left eye"

Seguidamente, se divide el dataset de párrafos obtenido en 90% (145) para el entrenamiento y validación, y 10% (14) para las pruebas.

La segunda transformación sigue la secuencia de actividades. Primero, la estandarización de párrafos, para ello se usa una lista de sinónimos (ver tablas 9 y 10), pues términos sinónimos en los párrafos afectan negativamente en los resultados. Seguidamente, se realiza la división de párrafos de 80 palabras de cada artículo científico, pues BERT permite 512 tokens como máximo. Finalmente, se realiza el etiquetado de cada párrafo con su tratamiento, donde se eliminan todos los párrafos sin tratamiento o que contienen más de un tratamiento. Un ejemplo de esta segunda transformación se ilustra en la Figura 10.

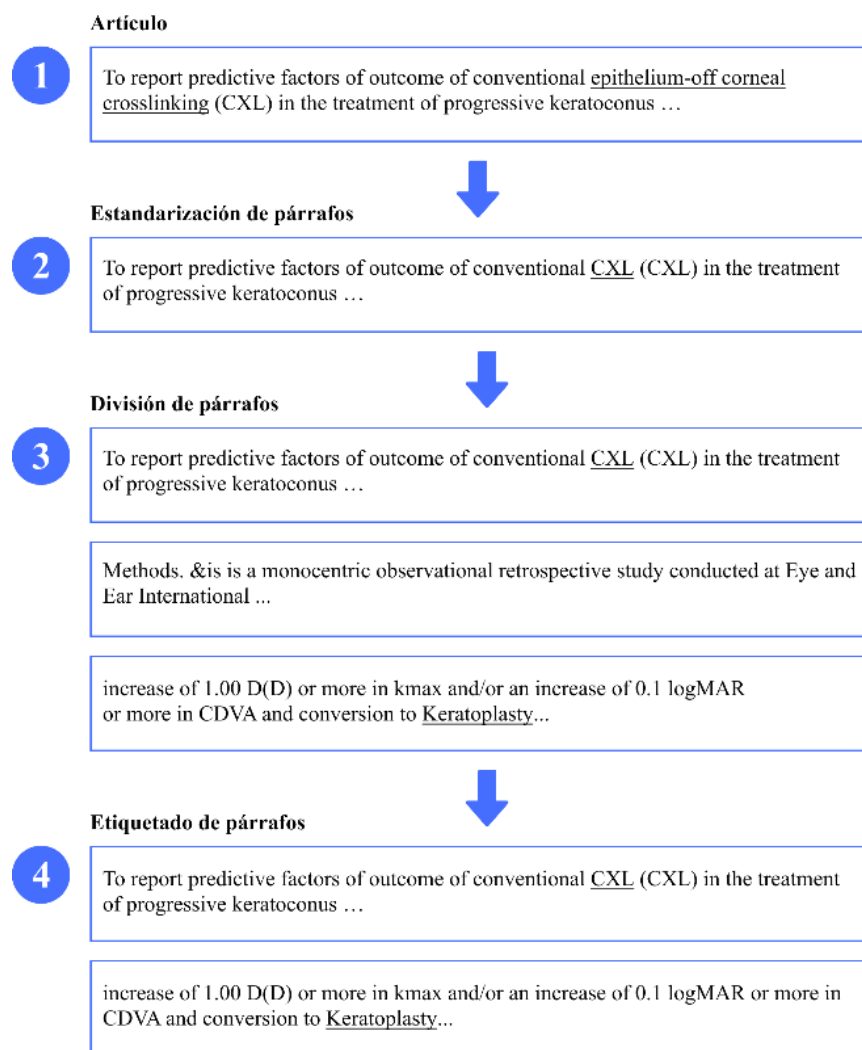


Figura 10. Ejemplo de la transformación de un artículo

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se divide el dataset de párrafos obtenido en 90% (744) para el entrenamiento y validación, y 10% (84) para las pruebas.

Luego de aplicar el proceso de transformación de datasets, se obtuvo los datasets de párrafos de casos clínicos y artículos científicos, cuyas características se describen en la Tabla 12, donde 98 párrafos constituyen el dataset de prueba, que son la suma de 14 párrafos de prueba de casos clínicos y 84 párrafos de prueba de artículos científicos.

Tabla 12. Características de los datasets de párrafos

Datasets de párrafos		Tratamientos			Total
		CXL	ICRS	Queratoplastia	
Casos Clínicos	Entrenamiento y Validación	58	44	43	145
	Pruebas	6	4	4	14
Artículos científicos	Entrenamiento y Validación	396	124	224	744
	Pruebas	45	14	25	84

4.2.4. P4: Preprocesamiento de datos

Este proceso tiene por finalidad preparar el dataset de párrafos para su uso en el entrenamiento y validación de BERT (ver Figura 11). El preprocesamiento del dataset de párrafos clínicos solo considera el balanceo de registros debido a que los datos corresponden a casos clínicos que han sido verificados, sin embargo, el número de sus párrafos es inferior en casi seis veces del número párrafos de artículos científicos, por lo que se procedió a balancear como sigue. Se replicaron algunos párrafos para obtener el mismo número de párrafos por tratamiento (58), con un total de 174 párrafos. Luego, cada tratamiento se incrementó hasta seis veces (348) haciendo un total de 1044 párrafos, con el fin de tener un número similar de párrafos de artículos científicos. El preprocesamiento del dataset de párrafos de artículos científicos sigue la secuencia de actividades: filtrado de párrafos, eliminando aquellos párrafos que no presentan ningún factor de riesgo o ningún valor para algún factor (para el dataset de estudio todos los párrafos presentaban al menos un factor o valor para algún factor, por lo que no se eliminó ningún párrafo); además, balanceo del dataset, replicando párrafos de manera que el número de párrafos por tratamiento sean iguales (396), haciendo un total de 1188 párrafos. Finalmente, el dataset de párrafos preprocesado es la

unión de los dataset de párrafos de casos clínicos y de artículos científicos preprocesados, que consta de 2232 párrafos con 744 por tratamiento cuyas características se describen en la Tabla 13, y constituye el dataset de párrafos para el entrenamiento y validación.

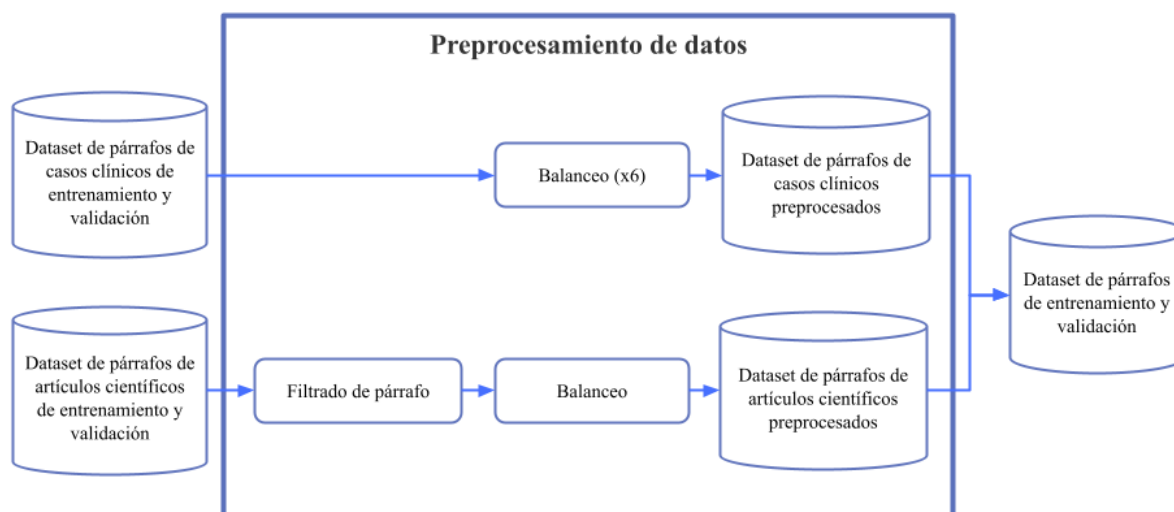


Figura 11. Proceso de Preprocesamiento de datos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Características de los datasets de párrafos preprocesados

Datasets de párrafos		Tratamientos			Total
		CXL	ICRS	Queratoplastia	
Casos Clínicos	Entrenamiento y Validación	348	348	348	1044
Artículos científicos	Entrenamiento y Validación	396	396	396	1188
Total		744	744	744	2232

4.2.5. P5: Generador de modelos BERT

En este proceso, se utiliza el dataset de párrafos de entrenamiento y validación, con el fin de clasificarlos en tres grupos: CXL, ICRS y Queratoplastia. Luego, si el modelo no es satisfactorio, se reajustan los parámetros y se vuelve a entrenar, hasta obtener modelos satisfactorios (ver Figura 12). Del total de modelos, se elige el mejor al cual se llamará KT-BERT, que proviene de KT como Keratoconus y BERT. El proceso detallado se describe en el Capítulo 6.

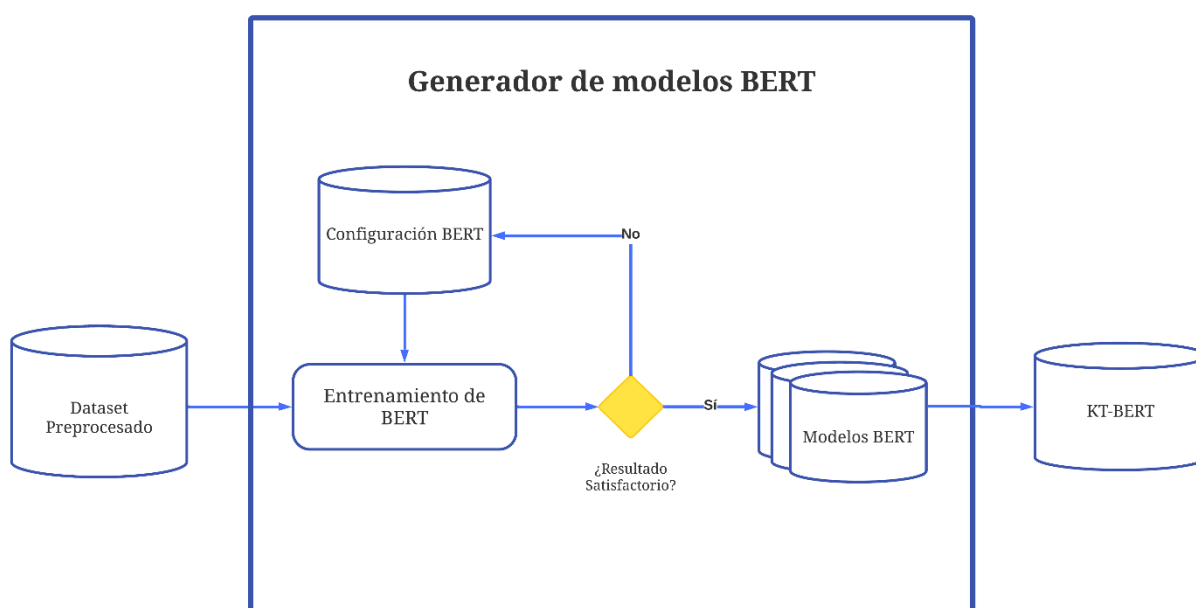


Figura 12. Proceso del Generador de modelos BERT

Fuente: Elaboración propia

4.2.6. P6: Interpretación y evaluación

Finalmente, en este proceso se evalúan los resultados de los modelos obtenidos del Generador de modelos BERT, haciendo uso de las métricas de exactitud, sensibilidad, y puntuación F1; todas estas métricas están basadas en la matriz de confusión, que se componen de Verdadero Positivo (VP), Verdadero Negativo (VN), Falso Negativo (FN) y Falso positivo (FP).

La Exactitud o Accuracy (Acc) es la proporción entre los registros clasificados correctamente entre la cantidad total de registros y se define como:

$$Acc = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$$

La Sensibilidad (Recall) es la proporción entre el número de registros de una clase clasificados correctamente entre la cantidad de registros que pertenecen a esa clase y se define como:

$$Recall = \frac{VP}{VP + FN}$$

La puntuación F1 (F1-Score) es la media armónica de Sensibilidad y la Precisión, la cual se define como:

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(Precisión \times Recall)}{(Precisión + Recall)}$$

Tasa de error (Error Rate) es la diferencia entre la unidad y la exactitud, la cual se define como:

$$Error\ Rate = 1 - Accuracy$$

4.3. Nuevo enfoque de apoyo a la de decisión del tratamiento de Queratocono basado en BERT

Este enfoque se basa en el modelo generado por la metodología propuesta. En la Figura 13, el oftalmólogo especialista en queratocono introduce los datos del paciente con queratocono (ver Tabla 8), los cuales son transformados a un párrafo a través del proceso de “transformación de datos a párrafos”, que es descrito en el punto 4.2.3. A continuación, se determina un tratamiento adecuado como CXL, ICRS o Queratoplastia para el paciente, a través del proceso

“identificador” que utiliza el modelo KT-BERT, generado en el punto 4.2.5. Finalmente, el tratamiento obtenido es mostrado al oftalmólogo, para su estudio y toma de decisión.

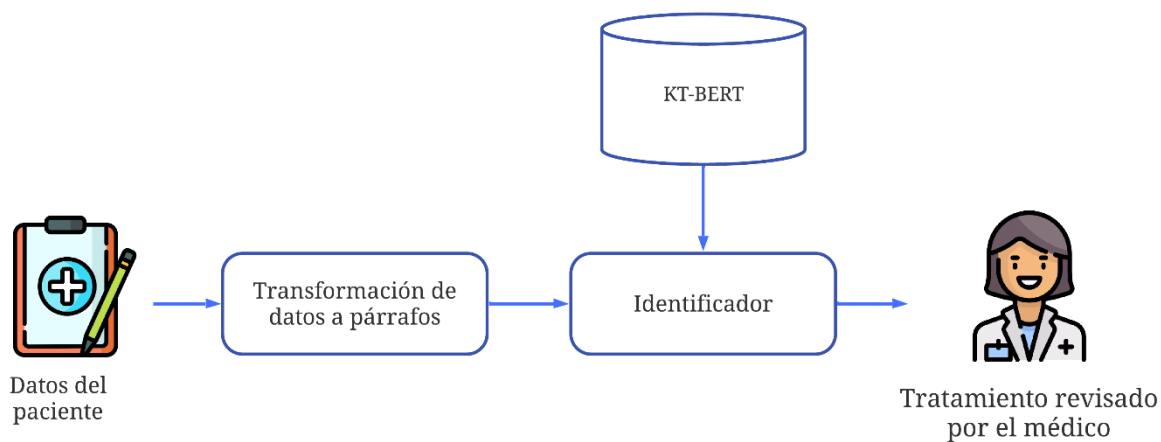


Figura 13. Nuevo enfoque de apoyo a la de decisión del tratamiento de Queratocono basado en BERT

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: DESARROLLO DEL SISTEMA DE APOYO A LA DECISIÓN DEL TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON QUERATOCONO

En el presente capítulo, se describe cómo se ha implementado el modelo de KT-BERT en un sistema web capaz de funcionar en distintos dispositivos, donde el usuario tendrá un diseño agradable y fácil de usar. A continuación, se describe su arquitectura, estructura de datos, funcionalidades, roles y su implementación con requisitos para su uso.

5.1. Descripción del sistema

Se desarrollará un sistema denominado Keratreat (proviene de la unión de kera y treat que son parte de keratoconus y treatment, respectivamente) que tendrá como objetivo principal apoyar a la decisión del tratamiento de queratocono, y como objetivo secundario su funcionamiento en cualquier dispositivo que cuente con acceso a internet. En el Anexo B, se describe el manual de usuario del sistema Keratreat.

El alcance del sistema abarca los siguientes aspectos fundamentales:

- Permitir la gestión de usuarios y roles, así como la asignación de permisos acorde a los diferentes roles.
- Cargar información del paciente a través de un formulario para la decisión del tratamiento de queratocono utilizando el modelo KT-BERT.
- Generar vistas a los administradores para la gestión de usuarios y roles.
- Generar vistas a los oftalmólogos para la gestión de pacientes y su historial de las decisiones de tratamientos generados.

5.2. Arquitectura del sistema

En esta etapa, de acuerdo con los requerimientos funcionales identificados para el sistema, se ha determinado que este será implementado en un entorno web, siguiendo una arquitectura Cliente-Servidor (ver Figura 14). Por el lado del cliente, se trabajará en el lenguaje de programación TypeScript, empleado para desarrollos de aplicaciones web modernas. Además, se trabajará con el framework de desarrollo Angular en su versión 15.1.0 para la construcción de la interfaz de usuario; y, para la apariencia y estilos, se utilizará la biblioteca de componentes de interfaz de usuario NG-ZORRO en su versión 15.1.0. Por otro lado, en el lado del servidor, se trabajará en el lenguaje de programación Python, empleado para desarrollos de aplicaciones de Inteligencia Artificial. Además, se trabajará con el framework de desarrollo FastAPI en su versión 0.97.0 para la construcción de las APIs y paquetes como Torch en su versión 2.0.1, para la conexión del modelo KT-BERT y SQLAlchemy ORM (Object-relational mapping) en su versión 2.0.16, y así conseguir la interacción con la base de datos relacional MySQL.

Esta arquitectura está compuesta por la capa cliente y la capa del servidor, donde la capa cliente es responsable de solicitar recursos al servidor, mientras que la capa del servidor es responsable de procesar estas solicitudes y brindar las respuestas necesarias. Para la arquitectura por el lado del cliente, con el uso del framework Angular, se utiliza el patrón de diseño Basado en componentes (Component-Based), que consiste en diseñar y desarrollar en componentes reutilizables, donde estos tienen incluidos en cada uno su propio modelo, vista y controlador; y por el lado del servidor, con el uso del framework FastAPI, se utiliza el patrón Modelo-Controlador (M-C), el Modelo se emplea para los datos y la lógica de negocio, incluyendo el uso de SQLAlchemy ORM que permite una abstracción de alto nivel con Objetos de python para facilitar

la escritura y mantenimiento con la base de datos MySQL, y el Controlador se encarga del procesamiento de las solicitudes y generación de respuestas.

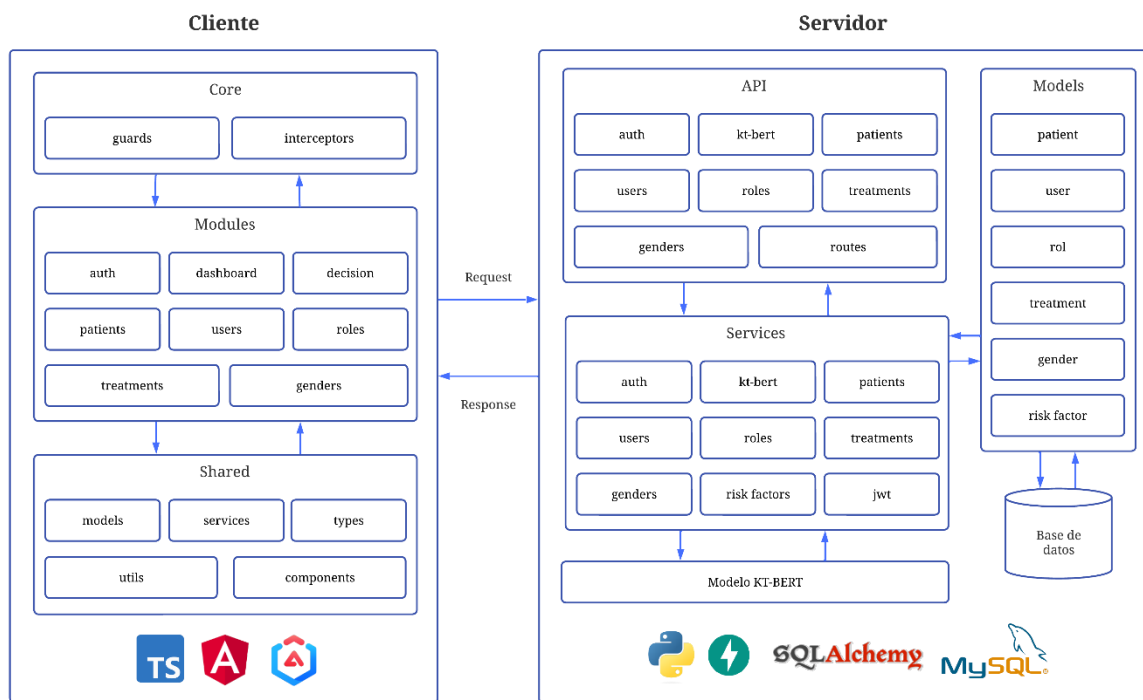


Figura 14. Arquitectura del sistema

Fuente: Elaboración propia

5.3. Estructura de datos

En esta etapa, se utiliza una base de datos relacional con MySQL (ver Figura 15) que consta de 6 tablas: Users, Patients, Roles, Genders, Treatments y RiskFactors. Así mismo, se utiliza el paquete SQLAlchemy ORM que permite interactuar con la base de datos usando el lenguaje de programación Python. Además, se puede usar modelos de datos en forma de clases (ver Figura 16) y objetos en lugar de tablas y filas de base de datos, simplificando la manipulación y gestión de datos como crear, leer, actualizar y eliminar, utilizando solo métodos y atributos de los objetos.

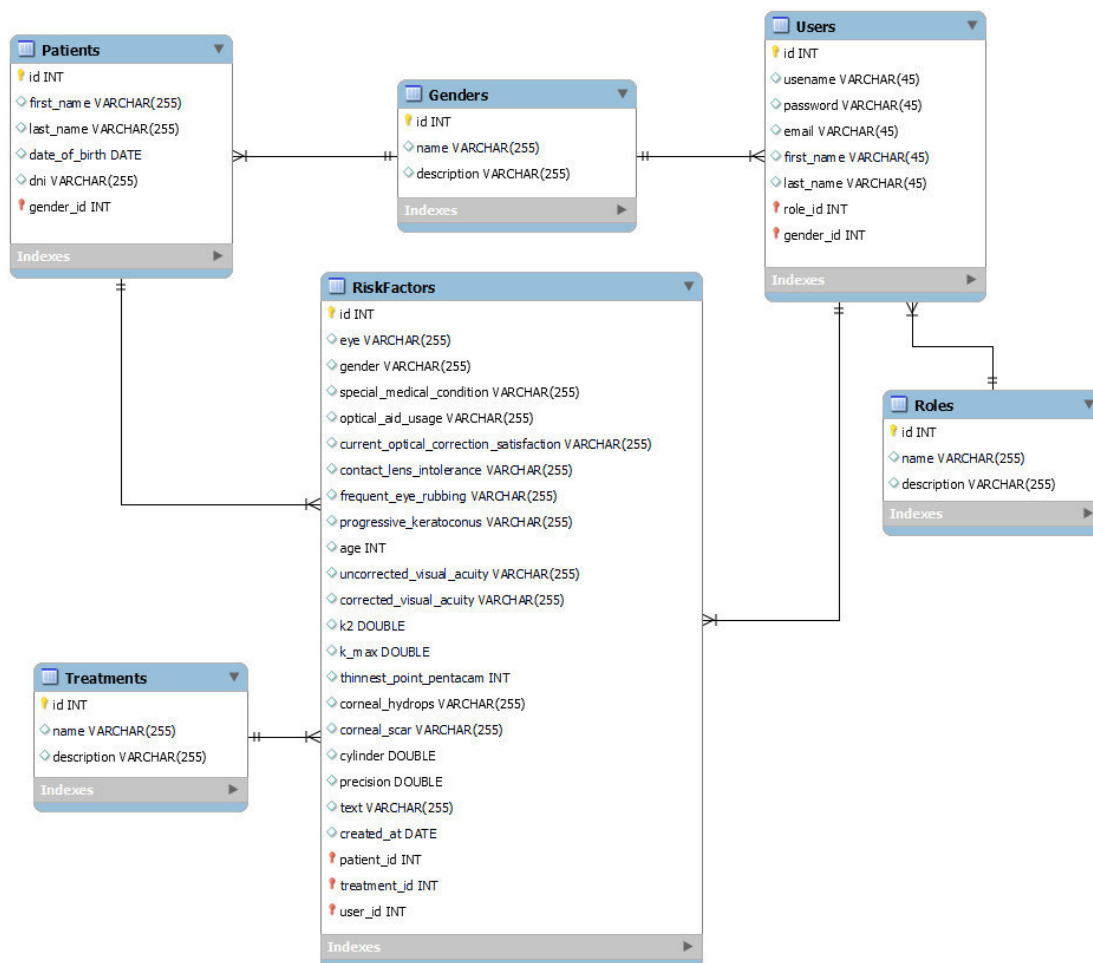


Figura 15. Diagrama Entidad-Relación del sistema

Fuente: Elaboración propia

```

from sqlalchemy import Integer, Column, String, Date, ForeignKey
from sqlalchemy.orm import relationship
from app.database.connection import Base

class User(Base):
    __tablename__ = 'Users'

    id = Column(Integer(), primary_key=True, index=True)
    username = Column(String(255), nullable=True, unique=True)
    password = Column(String(255))
    email = Column(String(255), nullable=True, unique=True)
    first_name = Column(String(255))
    last_name = Column(String(255))
    gender_id = Column(Integer(), ForeignKey('Genders.id'))
    gender = relationship("Gender", back_populates="users")
    role_id = Column(Integer(), ForeignKey('Roles.id'))
    role = relationship("Role", back_populates="users")
    risk_factors = relationship("RiskFactor", back_populates="user")

```

Figura 16. Modelo de dato de Usuario usando SQLAlchemy

Fuente: Elaboración propia

5.4. Modelado del sistema

En esta etapa, se describen los roles del sistema, las funcionalidades utilizando las interfaces de usuarios y la lista de servicios que se han desarrollado. En las figuras 17 y 18, se muestran las interfaces iniciales del sistema para el rol Oftalmólogo y Administrador, respectivamente.

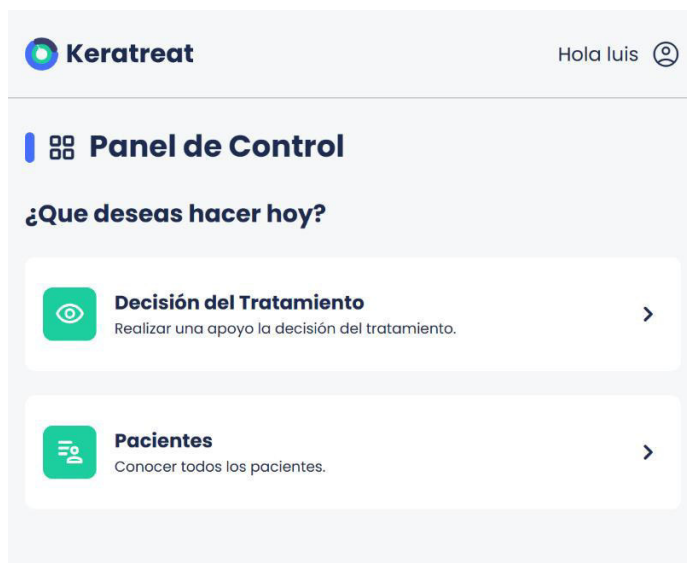


Figura 17. Interfaz inicial del sistema para el Oftalmólogo

Fuente: Elaboración propia

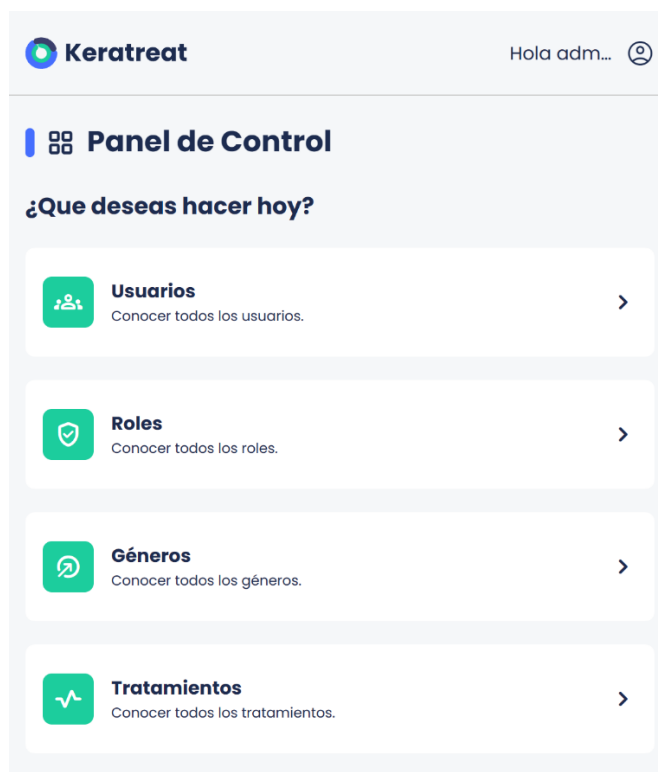


Figura 18. Interfaz inicial del sistema para el Administrador

Fuente: Elaboración propia

5.4.1. Roles

Los roles permiten dar permisos a ciertas funcionalidades que puede tener un usuario, el sistema tendrá dos tipos de roles (ver Figura 19): Administrador y Oftalmólogo.

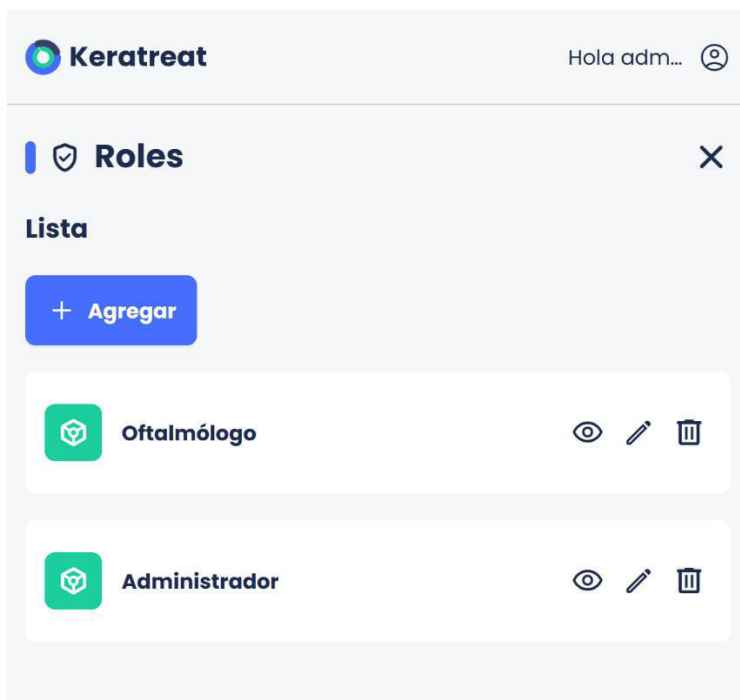


Figura 19. Interfaz de gestión de roles del sistema

Fuente: Elaboración propia

Administrador

Rol responsable de la gestión de roles y usuarios, con las siguientes funciones:

- Crear, visualizar, actualizar y eliminar roles y usuarios (ver figuras 19 y 20)
- Asignar roles a los usuarios

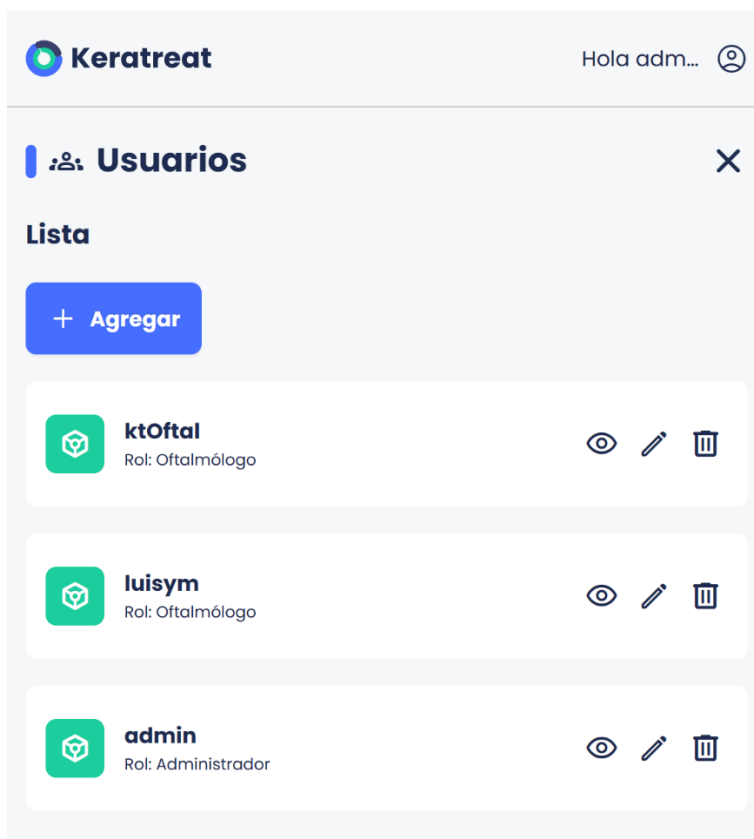


Figura 20. Interfaz de gestión de usuarios del sistema

Fuente: Elaboración propia

Oftalmólogo

Rol responsable de ejecutar el proceso para la decisión del tratamiento de queratocono, y gestión del paciente, con las siguientes funciones:

- Ejecutar el flujo para la decisión del tratamiento de queratocono a través del formulario de factores de riesgo del paciente (ver Figura 21)
- Revisar el resultado obtenido por el modelo KT-BERT (ver Figura 22)
- Crear, visualizar, actualizar y eliminar a pacientes (ver Figura 23)

 **Keratreat**

Hola luisy... 

 **Decisión del Tratamiento** 

Resumen

 Verifique los datos en el mensaje que será enviado

27 year old male,without special medical condition, without glasses, not satisfied with current optical correction, without intolerance to contact lenses, not frequent eye rub, with CDVA 20/20, with UDVA 20/25, with k2 of 44.1D, with kmax 49.2D, with corneal thickness of 460 microns, with progressive keratoconus, without corneal hydropsis,without corneal scar, with1.9D cylinder and with keratoconus in the right eye

Anterior **Decidir**

Figura 21. Interfaz de Resumen del Flujo de Decisión del Tratamiento del sistema

Fuente: Elaboración propia

 **Keratreat**

Hola luisy... 

 **Decisión del Tratamiento** 

Resultado

Al paciente **Urtecho, Brandon**, se le recomienda el tratamiento:

CXL con una precisión de **0.999**.

En base al mensaje enviado:

27 year old male, without special medical condition, without glasses, not satisfied with current optical correction, without intolerance to contact lenses, not frequent eye rub, with CDVA 20/20, with UDVA 20/25, with k2 of 44.1D, with kmax 49.2D, with corneal thickness of 460 microns, with progressive keratoconus, without corneal hydrops, without corneal scar, with 1.9D cylinder and with keratoconus in the right eye

Salir

Figura 22. Interfaz de Resultado de Decisión del Tratamiento del sistema

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Interfaz de gestión de pacientes del sistema

Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales son características esenciales que debe ofrecer el sistema de acuerdo con la estrategia establecida en los casos de uso. A continuación, se presenta la lista de requerimientos funcionales definidos (ver Tabla 14).

Tabla 14. Requerimientos funcionales del sistema

Código	Nombre	Descripción
RF001	Rellenar el formulario con los factores de riesgo del paciente	El usuario con el rol Oftalmólogo podrá rellenar un formulario con los factores de riesgo del paciente con base en la información que recopila a su alcance.

RF002	Mostrar el resultado de tratamiento de queratocono basados en los factores de riesgo del paciente	El usuario con el rol Oftalmólogo podrá enviar el formulario del paciente, el sistema lo procesa, y mostrará el resultado: CXL, ICRS, o Queratoplastia, con su valor de predicción.
RF003	Listar pacientes	El usuario con rol Oftalmólogo podrá visualizar una lista de todos los pacientes registrados en el sistema.
RF004	Ver información de un paciente	El usuario con el rol Oftalmólogo podrá visualizar la información de un paciente con los siguientes datos: Apellido, Nombre, Género, Fecha de Nacimiento y n.º de DNI.
RF005	Ver historial de resultados de tratamientos predecidos de un paciente	El usuario con el rol Oftalmólogo podrá visualizar el historial de resultados de tratamientos predecidos de un paciente con los siguientes datos: Fecha de Realización, Tratamiento, Precisión y Texto Clínico.
RF006	Crear pacientes	El usuario con el rol Oftalmólogo podrá crear un paciente con los siguientes datos: Apellido, Nombre, Género, Fecha de Nacimiento y n.º de DNI.
RF007	Actualizar pacientes	El usuario con el rol Oftalmólogo podrá modificar en un paciente solo el Apellido y el Nombre.
RF008	Eliminar pacientes	El usuario con el rol Oftalmólogo podrá eliminar un paciente.
RF009	Listar usuarios	El usuario con rol Administrador podrá visualizar una lista de todos los usuarios registrados en el sistema.
RF010	Ver información de un usuario	El usuario con el rol Administrador podrá visualizar la información de un usuario con los siguientes datos: Apellido, Nombre, Género, Rol, Correo Electrónico y Nombre de usuario.
RF011	Crear usuarios	El usuario con el rol Administrador podrá crear un usuario con los siguientes datos: Apellido, Nombre, Género, Rol, Correo electrónico, Nombre de usuario y Contraseña. Asimismo, el usuario creado podrá acceder al sistema.
RF012	Asignar roles a los usuarios	El usuario con el rol Administrador podrá asignar a un usuario los siguientes roles: Administrador u Oftalmólogo.

RF013	Actualizar usuarios	El usuario con el rol Administrador podrá modificar en un usuario solo el Apellido, Nombre, Correo Electrónico, Nombre de usuario y Contraseña.
RF014	Eliminar usuarios	El usuario con el rol Administrador podrá eliminar un usuario.
RF015	Listar roles	El usuario con rol Administrador podrá visualizar una lista de todos los roles registrados en el sistema. Donde solo se mantendrá dos roles: Administrador u Oftalmólogo.
RF016	Ver información de un rol	El usuario con el rol Administrador podrá visualizar la información de un usuario con los siguientes datos: Nombre y Descripción.
RF017	Crear roles	El usuario con el rol Administrador podrá crear un rol con los siguientes datos: Nombre y Descripción.
RF018	Actualizar roles	El usuario con el rol Administrador podrá modificar en un rol solo el Nombre.
RF019	Eliminar roles	El usuario con el rol Administrador podrá eliminar un rol.

5.4.3. Requerimientos no funcionales

Los requerimientos no funcionales son aspectos que definen las restricciones, características y atributos de calidad del diseño y la operación del sistema. A continuación, se presenta la lista de requerimientos no funcionales definidos (ver Tabla 15).

Tabla 15. Requerimientos no funcionales del sistema

Código	Nombre	Descripción
RNF001	Usabilidad	El sistema deberá ser intuitivo y fácil de usar para una persona con o sin conocimientos informáticos.
RNF002	Eficiencia	El sistema deberá responder rápidamente a la predicción del tratamiento de queratocono en menos de

		40 segundos, con el uso de recursos de hardware y software necesarios.
RNF003	Seguridad	El sistema deberá garantizar la protección de los datos confidenciales, con implementación de medidas de seguridad.
RNF004	Disponibilidad	El sistema deberá estar disponible para su uso durante la mayor parte del tiempo, minimizando las interrupciones no planificadas.
RNF005	Portabilidad	El sistema deberá ser compatible y funcionar correctamente en diferentes sistemas operativos y dispositivos.
RNF006	Procesamiento asíncrono	El sistema deberá realizar el entrenamiento y despliegue del modelo una sola vez, fuera del sistema y asíncrono.

5.4.4. Lista de servicios

A continuación, se representa los componentes de tipo servicios (ver Figura 24) que fueron desarrollados del lado del servidor del sistema, los cuales contienen toda la lógica del negocio.

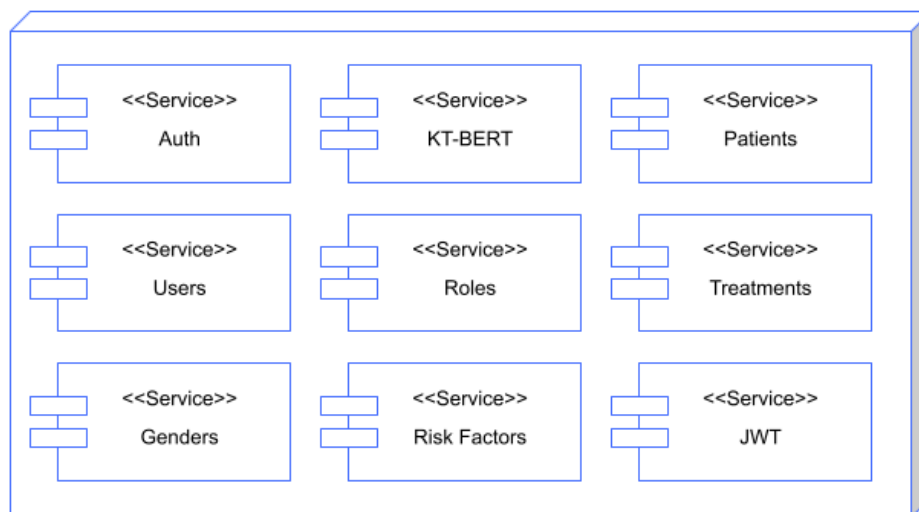


Figura 24. Diagrama de componentes de servicios del sistema

Fuente: Elaboración propia

- Auth: Se encarga de gestionar la autenticación de los usuarios. Contempla el siguiente método:
 - Método POST login: Permite obtener un token para el ingreso al sistema.
- KT-BERT: Se encarga de gestionar el uso del modelo KT-BERT. Contempla el método descrito a continuación:
 - Método POST start_bert: Permite obtener el valor de predicción de un tratamiento de queratocono con el modelo KT-BERT.
- Patients: Se encarga de gestionar a los pacientes. Permite crear, editar, eliminar y leer los datos de cada uno de estos, además de proporcionar el listado respectivo. Contempla los siguientes métodos:
 - Método GET get_all_patients: Permite obtener un listado de los pacientes.
 - Método GET get_patient: Permite obtener información de un paciente.
 - Método POST create_patient: Permite crear un paciente.
 - Método PUT update_patient: Permite actualizar un paciente.
 - Método DELETE delete_patient: Permite eliminar un paciente.
- Users: Este servicio se encarga de gestionar los usuarios. Permite crear, editar, eliminar y leer los datos de cada uno de estos, incluso de proporcionar un listado. Contempla los siguientes métodos:
 - Método GET get_all_users: Permite obtener un listado de los usuarios.
 - Método GET get_user: Permite obtener información de un usuario.
 - Método POST create_user: Permite crear un usuario.
 - Método PUT update_user: Permite actualizar un usuario.
 - Método DELETE delete_user: Permite eliminar un usuario.

- Roles: Este servicio se encarga de gestionar los roles. Permite crear, editar, eliminar y leer los datos de cada rol, además de proporcionar un listado de estos. Contempla los siguientes métodos:
 - Método GET `get_all_roles`: Permite obtener un listado de los roles.
 - Método GET `get_role`: Permite obtener información de un rol.
 - Método POST `create_role`: Permite crear un rol.
 - Método PUT `update_role`: Permite actualizar un rol.
 - Método DELETE `delete_role`: Permite eliminar un rol.
- Treatments: Este servicio se encarga de gestionar los tratamientos. Permite crear, editar, eliminar y leer los datos de cada tratamiento, y proporcionar un listado de los tratamientos. Contempla los siguientes métodos:
 - Método GET `get_all_treatments`: Permite obtener un listado de los tratamientos.
 - Método GET `get_treatment`: Permite obtener información de un tratamiento.
 - Método POST `create_treatment`: Permite crear un tratamiento.
 - Método PUT `update_treatment`: Permite actualizar un tratamiento.
 - Método DELETE `delete_treatment`: Permite eliminar un tratamiento.
- Genders: Este servicio se encarga de gestionar los géneros. Permite crear, editar, eliminar y leer los datos de cada género, además de proporcionar un listado de los géneros. Contempla los siguientes métodos:
 - Método GET `get_all_genders`: Permite obtener un listado de los géneros.
 - Método GET `get_gender`: Permite obtener información de un género.
 - Método POST `create_gender`: Permite crear un género.
 - Método PUT `update_gender`: Permite actualizar un género.

- Método DELETE delete_gender: Permite eliminar un género.
- Risk Factors: Este servicio se encarga de gestionar los factores de riesgo. Proporciona un listado de los factores de riesgo y otro filtrado por un paciente. Contempla los siguientes métodos:
 - Método GET get_all_risk_factors: Permite obtener un listado de los factores de riesgo.
 - Método GET get_all_risk_factors_patient: Permite obtener un listado de los factores de riesgo en específico de un paciente.
- JWT: Este servicio se encarga de gestionar los tokens de acceso. Contempla los siguientes métodos:
 - Método POST create_access_token: Permite crear un token de acceso.
 - Método GET encode_jwt: Permite codificar un token de acceso.
 - Método GET decode_jwt: Permite decodificar un token de acceso.

5.5. Implementación

En esta etapa, se menciona la metodología y los lenguajes de programación utilizados en la construcción del sistema.

5.5.1. Metodología de desarrollo

Para el desarrollo de este sistema se utilizó la metodología ágil Kanban. La metodología Kanban es una herramienta popular en el mundo del desarrollo de software que se enfoca en la entrega continua de trabajo y la maximización de la eficiencia, utilizando un tablero visual para controlar las tareas a través de una división por etapas hasta que se termine, lo cual permite identificar cuellos de botella y áreas de mejora, de esa manera, ayuda a mejorar la calidad y la velocidad de entrega del trabajo (Zayat & Senvar, 2020).

Seleccionada la metodología Kanban para el sistema, lo primero que se lleva a cabo es la redacción de las historias de usuario con su descripción, estas se reflejan en el Product Backlog. Luego se analizan y determinan las interacciones y sus historias de usuario que las contemplan. Para visualizar estas historias, se utilizó la herramienta Trello, la cual permite la implementación gratuita de la metodología Kanban.

Para el sistema, fueron necesarias 6 iteraciones para completar todas las tareas de manera satisfactoria. Cada iteración tuvo una duración de 2 semanas. Se puede visualizar el detalle de la metodología del proyecto en la Figura 25.

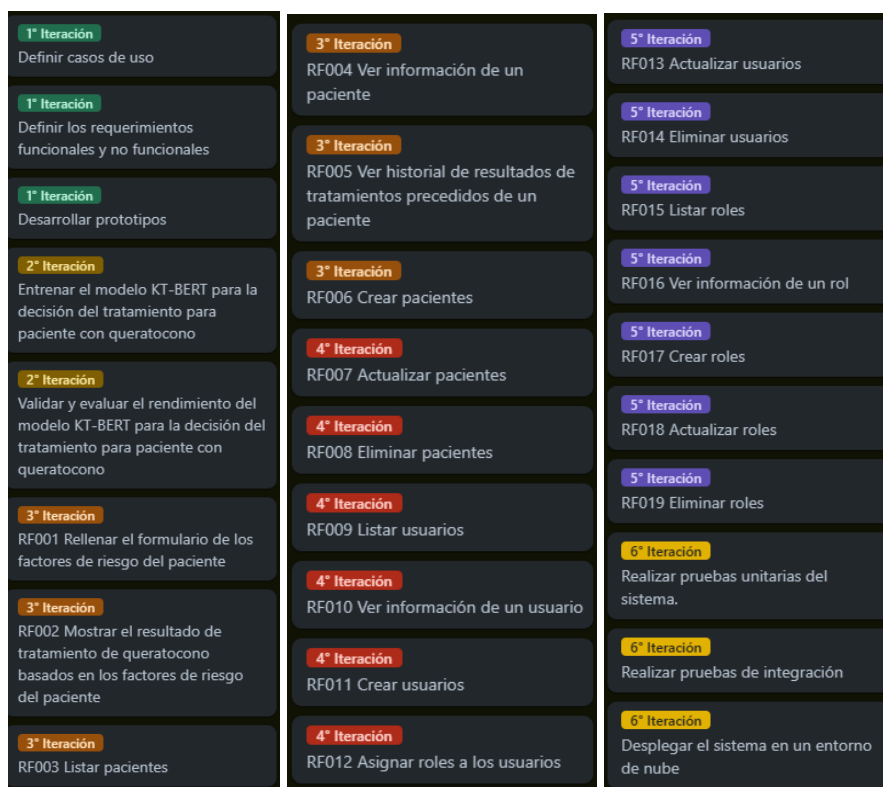


Figura 25. Tareas del tablero Kanban

Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Lenguajes de programación

5.5.2.1. Python

Python es un lenguaje de programación interpretado universal de alto nivel y se distingue porque ofrece una sintaxis clara y concisa que facilita la escritura de código del sistema. Además, este se ha utilizado durante el desarrollo del lado del servidor e investigaciones de procesamiento de Lenguaje Natural.

5.5.2.2. TypeScript

TypeScript es un lenguaje de programación con tipado estático opcional que permite detectar errores en tiempo de compilación y mejorar la capacidad de mantenimiento, así como la escalabilidad del sistema. Además, este se ha utilizado durante el desarrollo del lado del cliente.

5.6. Requisitos para el uso del sistema

En esta etapa, se mencionan los requisitos mínimos a nivel de Hardware y Software, que permiten el correcto funcionamiento del sistema.

5.6.1. Requisitos mínimos a nivel de hardware

Para el despliegue del sistema, debido al uso de un modelo de aprendizaje profundo, se consideran como mínimos los siguientes componentes:

- Capacidad de memoria RAM: 16 GB
- Procesador: Intel Core i5 12400 2.50 GHz
- Capacidad Disco Duro: 500 GB
- Tarjeta de video: Nvidia RTX 3060 8GB

5.6.2. Requisitos mínimos a nivel de software

Para la implementación del sistema, por el lado del Frontend, se utilizó el lenguaje de programación TypeScript, como framework de desarrollo a Angular en su versión 15.1.0, asimismo, para la apariencia y estilos a NG-ZORRO en su versión 15.1.0. Por el lado del Backend, se utilizó el lenguaje de programación Python, como framework de desarrollo a FastAPI en su versión 0.97.0 y los siguientes paquetes con su versión:

- SQLAlchemy==2.0.16
- torch==2.0.1
- fastapi==0.97.0
- uvicorn==0.22.0
- pydantic==1.10.9
- transformers==4.30.2
- tokenizers==0.13.3
- pandas==2.0.3
- numpy==1.25.0
- bcrypt==4.0.1
- mysql-connector-python==8.0.33

CAPÍTULO 6: ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN

DEL MODELO PARA LA DECISIÓN DEL

TRATAMIENTO PARA PACIENTE CON

QUERATOCONO

En el presente capítulo, se muestra la validación de los 3 modelos pre entrenados de BERT, mediante la dataset de instancias de casos clínicos y artículos científicos.

6.1. Diseño de validación

La validación considera un escenario que contiene sinónimos estandarizados de tratamientos y factores de riesgo de un paciente, basándose en 3 modelos pre entrenados de BERT descritos en la Tabla 16, a los cuales se le realizó el proceso de fine-tuning para la tarea de clasificación de tratamientos de queratocono: CXL, ICRS y Queratoplastia, modificando las últimas capas y agregando un modelo secuencial compuesto por una capa Lineal de entrada, una capa Relu y una capa lineal de salida de 3 nodos.

Tabla 16. Lista de 3 modelos pre entrenados de BERT

Modelo	Dataset entrenado
BertBaseCased	BooksCorpus + Wikipedia en inglés
BioBertBaseCased	PubMed + PMC
BioBertPubMed	PubMed

Además, para el entrenamiento de los modelos, se contempla un conjunto de experimentos, que parten del escenario mencionado y se ejecutan de manera secuencial siguiendo el esquema de la

Figura 26. Estos experimentos consideran los ajustes de parámetros y el entrenamiento secuencial de cada uno de los 3 modelos pre entrenados de BERT.

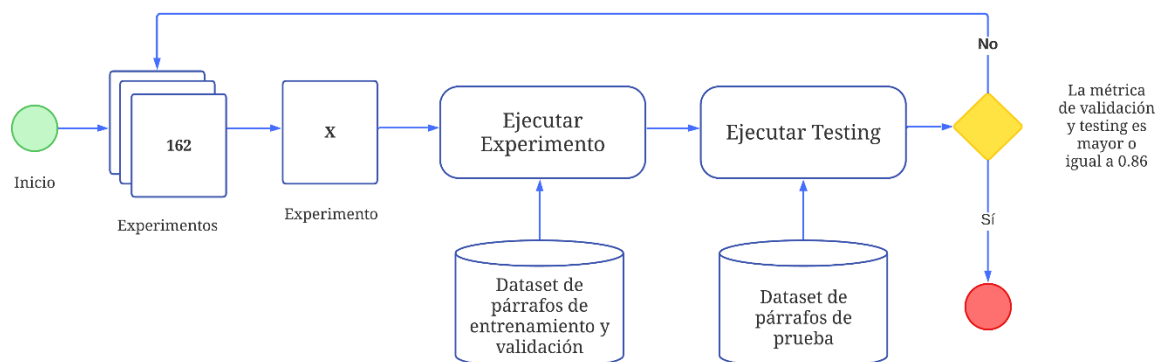


Figura 26. Esquema de entrenamiento del generador de modelos

Fuente: Elaboración propia

6.2. Ambiente de entrenamiento y validación

6.2.1. Ambiente de entrenamiento

- Capacidad de memoria RAM: 51 GB
- Procesador: Intel Xeon 2.3 GHz
- Capacidad Disco Duro: 165 GB
- Tarjeta de video: Nvidia Tesla A100 40GB
- Python 3.11.2

6.2.2. Ambiente de validación

- Capacidad de memoria RAM: 16 GB
- Procesador: Intel Core i5 12400 2.50 GHz
- Capacidad Disco Duro: 500 GB
- Tarjeta de video: Nvidia RTX 3060 8GB

- Python 3.11.2

6.3. Instancias de pruebas

Se tiene un total de 2330 instancias de pruebas obtenidas como se describe en los puntos 4.2.3 y 4.2.4, basados en 159 registros clínicos de 86 pacientes y 54 artículos sobre el tratamiento del queratocono por CXL, ICRS y Queratoplastia descritos en la Tabla 12.

6.3.1. Preparación de datos

La Tabla 17 muestra la cantidad de datos para el entrenamiento, validación y pruebas del escenario planteado, donde se puede observar que las instancias de prueba corresponden a las instancias originales previas al proceso de preprocesamiento de datos.

Tabla 17. Datos del escenario planteado

Dataset	Entrenamiento y validación	Pruebas
Casos Clínicos	1044	14
Artículos Científicos	1188	84
Total	2232	98

6.3.2. Instancias de pruebas para el entrenamiento, validación y pruebas

La Tabla 18 muestra la cantidad de instancias para el entrenamiento, validación y prueba, considerando los tratamientos de CXL, ICRS y Queratoplastia.

Tabla 18. División de datos del escenario planteado

Dataset	Entrenamiento y validación			Pruebas		
	CXL	ICRS	Queratoplastia	CXL	ICRS	Queratoplastia
Casos Clínicos	348	348	348	6	4	4
Artículos Científicos	396	396	396	45	14	25
Total	744	744	744	51	18	29

6.4. Métricas

Para medir el rendimiento de la clasificación de tratamientos de queratocono, se usan las métricas de rendimiento de exactitud, sensibilidad y puntuación F1, cuyas fórmulas se encuentran en la sección 4.2.6.

6.5. Entrenamiento de los modelos de BERT

Se presentan los experimentos para la validación de los 3 modelos pre entrenados de BERT (ver Tabla 16) en el escenario planteado.

6.5.1. Definir configuración de experimentos

Se define el conjunto de experimentos con el fin de obtener los modelos con el mejor rendimiento, teniendo en cuenta la configuración dinámica de estos con Test size, Learning rate y Epochs; y configuración estática de Batch size para los modelos mencionados en la Tabla 16. Los experimentos y sus parámetros se pueden ver en la Tabla 19. El número total de experimentos obtenidos es de 162, donde 54 modelos se obtienen por cada uno de los 3 modelos mencionados.

Tabla 19. Parámetros de entrenamiento y sus modelos del escenario planteado

Modelos	Test size	Learning rate	Epochs	Batch size	Total de Modelos
BertBaseCased	0.1, 0.2, 0.3	5e-5, 3e-5, 2e-5	5, 6, 7, 8, 9, 10	16	54
BioBertBaseCased	0.1, 0.2, 0.3	5e-5, 3e-5, 2e-5	5, 6, 7, 8, 9, 10	16	54
BioBertPubMed	0.1, 0.2, 0.3	5e-5, 3e-5, 2e-5	5, 6, 7, 8, 9, 10	16	54

6.5.2. Ejecutar experimento

Los experimentos se ejecutan de acuerdo con la configuración de los experimentos dados en el punto anterior y según el planteamiento de la Figura 21, considerando el uso de la herramienta Google Colaboratory con su plan Colab Pro + para el aprovechamiento de su ejecución en segundo plano debido a la alta cantidad de modelos a generar.

6.6. Resultados

De acuerdo con lo definido previamente, en el escenario presentado, se entrenaron modelos con instancias de pruebas basados en 159 registros clínicos y 54 artículos estandarizados con sinónimos sobre el tratamiento del queratocono por CXL, ICRS y Queratoplastia. Y, debido a la gran cantidad de experimentos (162), solamente se mostrarán los mejores resultados por modelo base mencionados en la tabla 16. Para visualizar la información del total de los resultados, se puede ver el Anexo C. Así mismo, la elección de los mejores modelos representados en las tablas 20, 21 y 22 son expresados con la condición de Acc de validación y testing mayor e igual a 0.86.

6.6.1. BertBaseCased

De acuerdo con los 54 experimentos generados, se obtiene sus métricas (ver Figura 27), donde se consigue 10 experimentos que cumplen las métricas establecidas, y el mejor resultado con la dataset de pruebas se obtuvo con el experimento 3 con los parámetros 0.1 Test size, 5e-05 Learning rate y 7 Epochs, el cual obtuvo un Acc de 0.9082, Recall de 0.9193, F1-Score de 0.8983 y Error Rate de 0.0918 (ver Tabla 20).

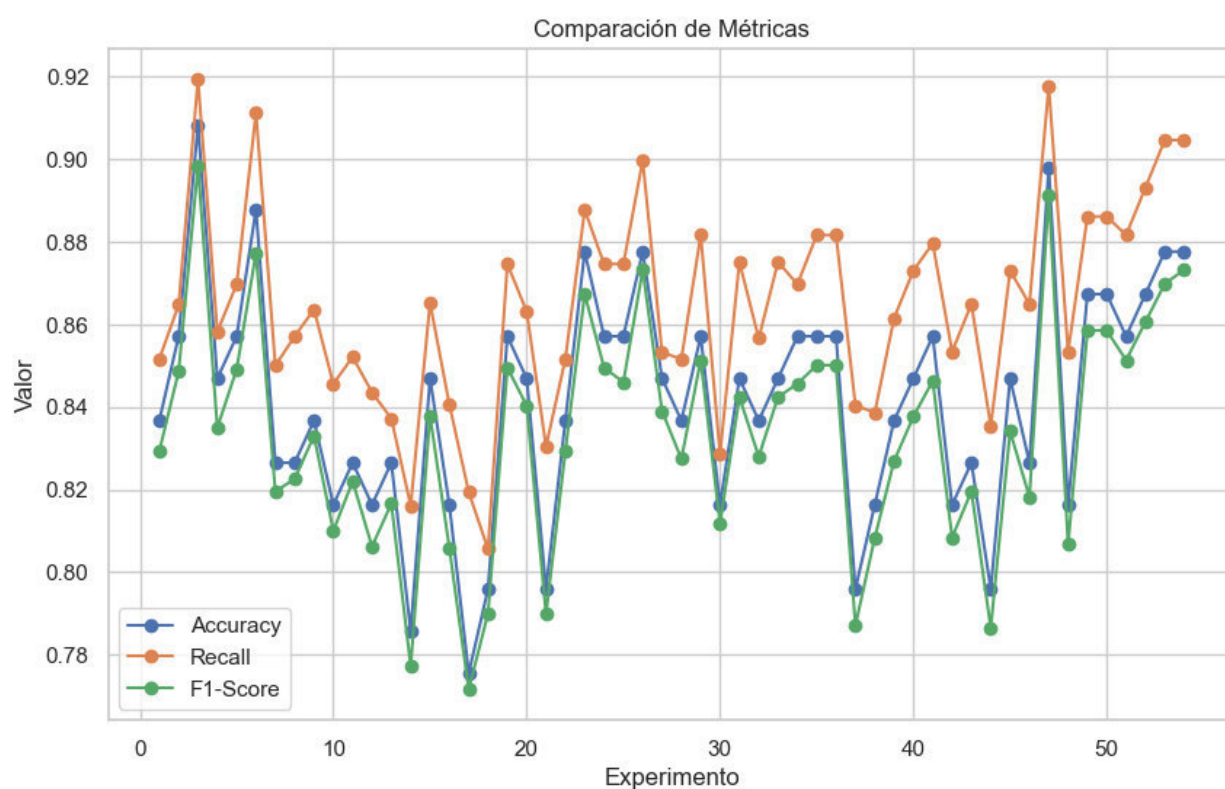


Figura 27. Resultados de dataset de pruebas de los 54 modelos generados con BertBaseCased

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Resultados de los 10 mejores modelos para BertBaseCased

Experimento	Test size	Learning rate	Epochs	Acc	Recall	F1-Score	Error Rate
3	0.1	5e-05	7	0.9082	0.9193	0.8983	0.0918
6	0.1	5e-05	10	0.8878	0.9112	0.8773	0.1122
23	0.2	5e-05	9	0.8776	0.8877	0.8673	0.1224
26	0.2	3e-05	6	0.8776	0.8997	0.8732	0.1224
47	0.3	3e-05	9	0.898	0.9177	0.8914	0.102
49	0.3	2e-05	5	0.8673	0.8861	0.8585	0.1327
50	0.3	2e-05	6	0.8673	0.8861	0.8585	0.1327
52	0.3	2e-05	8	0.8673	0.8931	0.8606	0.1327
53	0.3	2e-05	9	0.8776	0.9046	0.8698	0.1224
54	0.3	2e-05	10	0.8776	0.9046	0.8732	0.1224

6.6.2. BioBertBaseCased

De acuerdo con los 54 experimentos generados, se obtiene sus métricas (ver Figura 28), donde se consigue 5 experimentos que cumplen las métricas establecidas, y el mejor resultado con la dataset de pruebas se obtuvo con el experimento 103 con los parámetros 0.3 Test size, 2e-05 Learning rate y 5 Epochs, el cual obtuvo un Acc de 0.8776, Recall de 0.8926, F1-Score de 0.8682 y Error Rate de 0.1224 (ver Tabla 21).

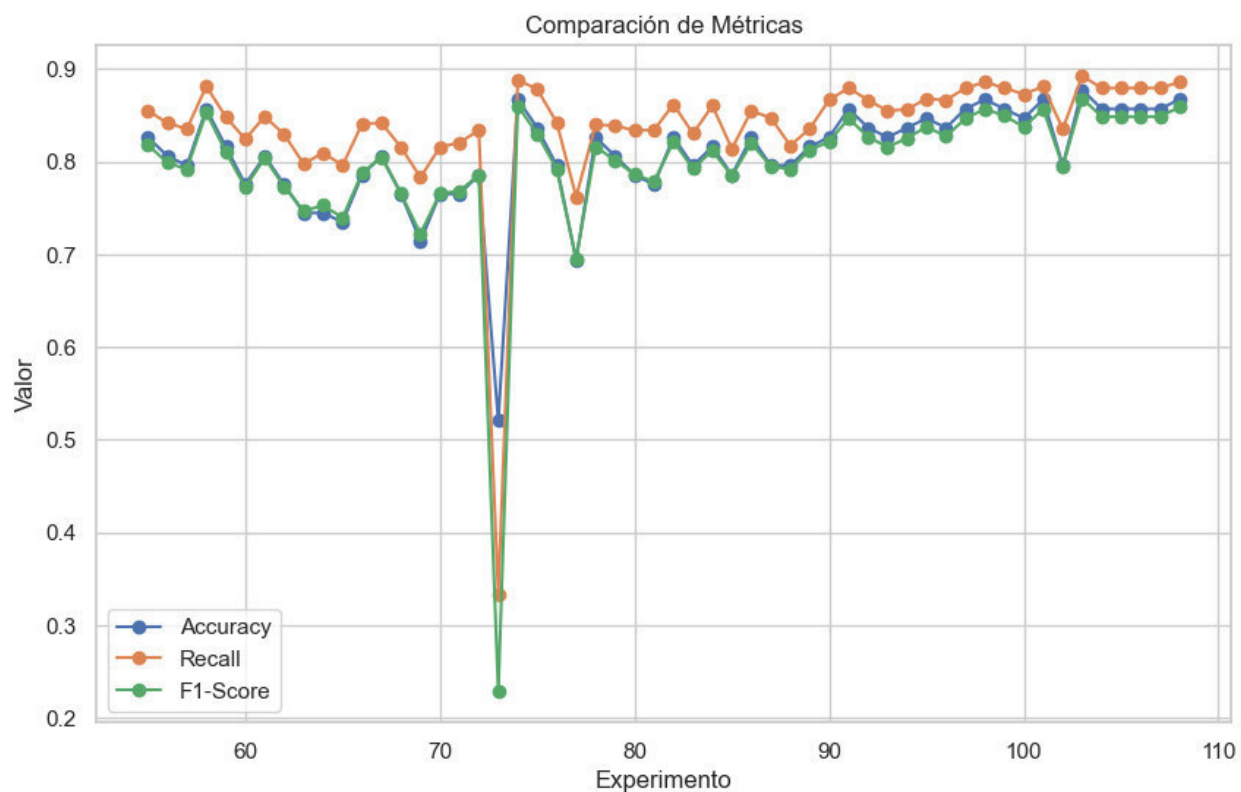


Figura 28. Resultados de dataset de pruebas de los 54 modelos generados con BioBertBaseCased

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Resultados de los 5 mejores modelos para BioBertBaseCased

Experimento	Test size	Learning rate	Epochs	Acc	Recall	F1-Score	Error Rate
74	0.2	5e-05	6	0.8673	0.8882	0.8604	0.1327
98	0.3	3e-05	6	0.8673	0.8861	0.857	0.1327
101	0.3	3e-05	9	0.8673	0.8812	0.8569	0.1327
103	0.3	2e-05	5	0.8776	0.8926	0.8682	0.1224
108	0.3	2e-05	10	0.8673	0.8861	0.859	0.1327

6.6.3. BioBertPubMed

De acuerdo con los 54 experimentos generados, se obtiene sus métricas (ver Figura 29), donde se consigue 4 experimentos que cumplen las métricas establecidas, y el mejor resultado con la dataset de pruebas se obtuvo con el experimento 146 con los parámetros 0.3 Test size, 5e-05 Learning rate y 6 Epochs, el cual obtuvo un Acc de 0.8878, Recall de 0.9041, F1-Score de 0.8807 y Error Rate de 0.1122 (ver Tabla 22).

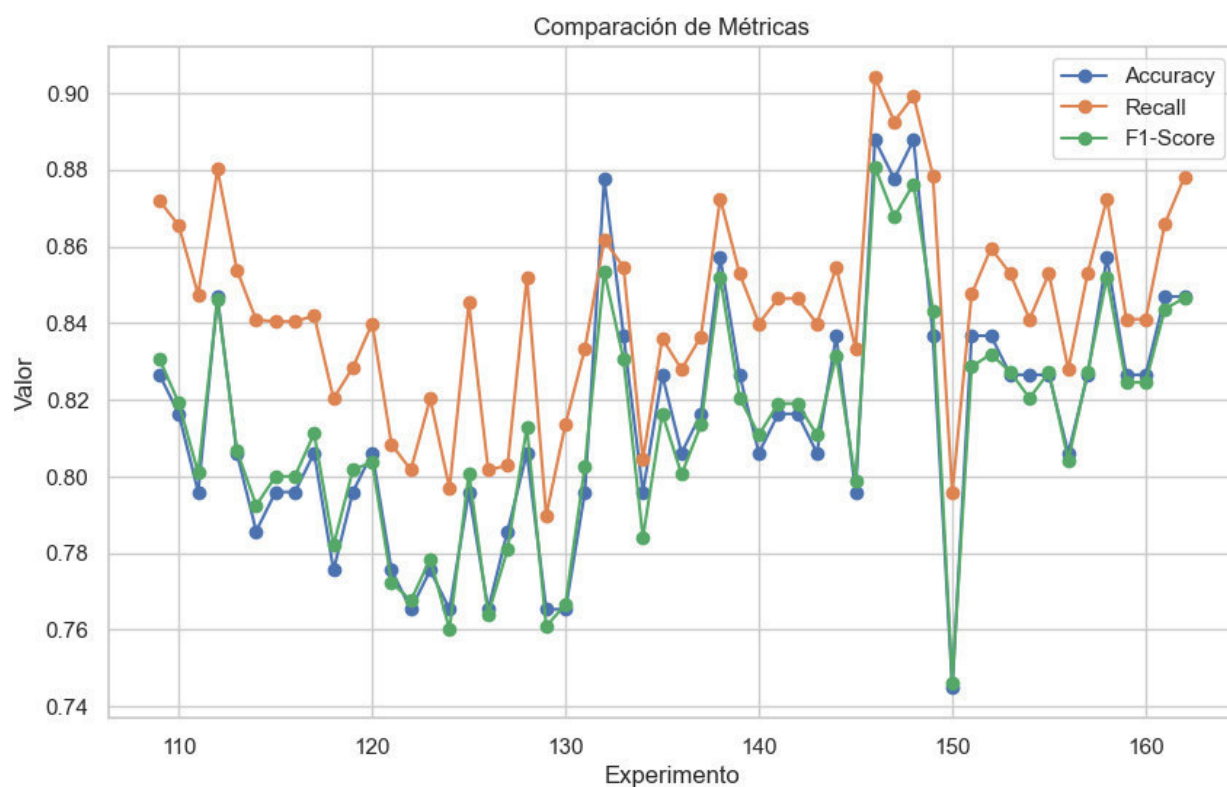


Figura 29. Resultados de dataset de pruebas de los 54 modelos generados con BioBertPubMed

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Resultados de los 4 mejores modelos para BioBertPubMed

Experimento	Test size	Learning rate	Epochs	Acc	Recall	F1-Score	Error Rate
132	0.2	5e-05	10	0.8776	0.8617	0.8534	0.1224
146	0.3	5e-05	6	0.8878	0.9041	0.8807	0.1122
147	0.3	5e-05	7	0.8776	0.8926	0.8677	0.1224
148	0.3	5e-05	8	0.8878	0.8992	0.8763	0.1122

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y TRABAJOS

FUTUROS

7.1. Conclusiones

7.1.1. Conclusión general

Se diseñó un modelo BERT e implementó un sistema para el apoyo a la decisión del tratamiento que, a diferencia de otros estudios donde proponen revisiones literarias, diagramas de flujo, algoritmos y árbol de decisiones, este trabajo es diferente debido a que se utilizó aprendizaje profundo aplicado al Procesamiento de Lenguaje Natural, conocimientos de casos clínicos y artículos científicos de queratocono.

7.1.2. Conclusiones específicas

7.1.2.1. Conclusión 1 (Objetivo específico 1)

Se diseñó un modelo KT-BERT que permite decidir el tratamiento de queratocono a partir de los datos de un paciente, que supera las dificultades que presenta este problema, como son fuente aprendizaje muy limitada (54 artículos científicos) y términos diferentes para expresar los mismos conceptos, por lo que el uso solamente del método BERT es insuficiente. Para superar estas dificultades, el modelo propuesto agrega sinónimos de términos de los artículos científicos y casos clínicos.

7.1.2.2. Conclusión 2 (Objetivo específico 2)

Se implementó el sistema Keratreat y se ejecutó en una aplicación web con los lenguajes de programación Python y TypeScript, utilizando los frameworks Angular y FastAPI. Así mismo, también se desarrolló el modelo KT-BERT basándose en los modelos BertBaseCased,

BioBertBaseCased y BioBertPubMed, donde se seleccionó al mejor modelo utilizando paquetes como torch, transformers y numpy.

7.1.2.3. Conclusión 3 (Objetivo específico 3)

Se realizaron pruebas numéricas con el dataset de pruebas a los modelos generados para el apoyo a la decisión del tratamiento para paciente con queratocono. Se obtuvieron 3 mejores modelos, el primero es de BertBaseCased detallado en el punto 6.6.1, el segundo es de BioBertBaseCased detallado en el punto 6.6.2, y el tercero es de BioBertPubMed detallado en el punto 6.6.3. De estos, se escoge el mejor a BertBaseCased, obteniendo nuestro modelo KT-BERT con un Acc de 0.9082, Recall de 0.9193, F1-Score de 0.8983 y Error Rate de 0.0918. Es decir, el modelo propuesto presenta resultados promisorios para su uso.

7.2. Limitaciones

Los resultados del presente estudio están limitados a los casos clínicos y artículos científicos considerados.

7.3. Trabajos futuros

Implementar un robot para obtener de forma automática artículos científicos sobre el tratamiento del Queratocono de manera que el sistema se retroalimenta, del mismo modo, realizar una validación clínica oficial para que el sistema propuesto pueda ser usado en clínicas y hospitales del país.

Referencias

- Alam, M., Samad, M. D., Vidyaratne, L., Glandon, A., & Iftekharuddin, K. M. (2020). Survey on Deep Neural Networks in Speech and Vision Systems. *Neurocomputing*.
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.053>
- Alammar, J. (3 de diciembre de 2018). The Illustrated BERT, ELMo, and co. (How NLP Cracked Transfer Learning) [Blog post]. <https://jalammar.github.io/illustrated-bert/>
- Alatawi S. K. (2023). Quality of life of a sample of people with keratoconus in KSA. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 18(5), 1157–1169.
<https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2023.03.008>
- Alió, J. L., & Shabayek, M. H. (2006). Corneal higher order aberrations: a method to grade keratoconus. *Journal of refractive surgery (Thorofare, N.J. : 1995)*, 22(6), 539–545.
<https://doi.org/10.3928/1081-597X-20060601-05>
- Andreanos, K. D., Hashemi, K., Petrelli, M., Droutsas, K., Georgalas, I., & Kymionis, G. D. (2017). Keratoconus Treatment Algorithm. *Ophthalmology and Therapy*, 6(2), 245–262.
<https://doi.org/10.1007/s40123-017-0099-1>
- Arnalich-Montiel, F., Alió del Barrio, J. L., & Alió, J. L. (2016). Corneal surgery in keratoconus: which type, which technique, which outcomes? *Eye and Vision*, 3(1).
<https://doi.org/10.1186/s40662-016-0033-y>
- Asri, D., Touboul, D., Fournié, P., Malet, F., Garra, C., Gallois, A., Malecaze, F., & Colin, J. (2011). Corneal collagen crosslinking in progressive keratoconus: multicenter results from the French National Reference Center for Keratoconus. *Journal of cataract and refractive surgery*, 37(12), 2137–2143 <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.08.026>
- Chan, E., Baird, P. N., Vogrin, S., Sundararajan, V., Daniell, M. D., & Sahebjada, S. (2019). Economic impact of keratoconus using a health expenditure questionnaire: a patient perspective. *Clinical & Experimental Ophthalmology*. <https://doi.org/10.1111/ceo.13704>
- Deng, L., & Liu, Y. (2018). Deep Learning in Natural Language Processing. Singapur: Springer.
- Fernández-Vega-Cueto, L., Romano, V., Zaldivar, R., Gordillo, C. H., Aiello, F., Madrid-Costa, D., & Alfonso, J. F. (2017). Surgical Options for the Refractive Correction of Keratoconus: Myth or Reality. *Journal of Ophthalmology*, 2017, 1–18.
<https://doi.org/10.1155/2017/7589816>

- Gobierno del Perú. INO (2018). Memoria Institucional 2018. Recuperado de:
https://www.ino.gob.pe/wp-content/uploads/2021/09/mem_anual2018.pdf
- Gobierno del Perú. INO (2019). Memoria Institucional 2019. Recuperado de:
https://www.ino.gob.pe/wp-content/uploads/2021/09/mem_anual2019.pdf
- Gobierno del Perú. INO (2020). Memoria Institucional 2020. Recuperado de:
https://www.ino.gob.pe/wp-content/uploads/2021/10/mem_anual2020.pdf
- Gomes, José A. P. MD, PhD; Tan, Donald MD, PhD; Rapuano, Christopher J. MD; Belin, Michael W. MD; Ambrósio, Renato Jr MD, PhD; Guell, José L. MD; Malecaze, François MD, PhD; Nishida, Kohji MD; Sangwan, Virender S. MD the Group of Panelists for the Global Delphi Panel of Keratoconus and Ectatic Diseases. Global Consensus on Keratoconus and Ectatic Diseases. *Cornea* 34(4):p 359-369, April 2015.
<https://doi.org/10.1097/ico.0000000000000408>
- Gonzalez-Hernandez, G., Sarker, A., O'Connor, K., & Savova, G. (2017). Capturing the Patient's Perspective: a Review of Advances in Natural Language Processing of Health-Related Text. *Yearbook of Medical Informatics*, 26(01), 214–227. <https://doi.org/10.15265/iy-2017-029>
- Hashemi, Hassan MD; Heydarian, Samira PhD; Hooshmand, Elham MSc; Saatchi, Mohammad PhD; Yekta, Abbasali PhD; Aghamirsalim, Mohamadreza MD; Valadkhan, Mehrnaz M.Sc; Mortazavi, Mehdi MD; Hashemi, Alireza MD; Khabazkhoob, Mehdi PhD. The Prevalence and Risk Factors for Keratoconus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cornea* 39(2):p 263-270, February 2020. <https://doi.org/10.1097/ico.00000000000002150>
- Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova. 2019. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. In *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers)*, pages 4171–4186, Minneapolis, Minnesota. Association for Computational Linguistics.
<https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>
- Jiang, H., Li, Y., Zeng, X., Xu, N., Zhao, C., Zhang, J., & Zhu, W. (2020). Exploring Fever of Unknown Origin Intelligent Diagnosis Based on Clinical Data: Model Development and Validation. *JMIR medical informatics*, 8(11), e24375. <https://doi.org/10.2196/24375>

- Jovanović, J., & Bagheri, E. (2017). Semantic annotation in biomedicine: the current landscape. *Journal of Biomedical Semantics*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s13326-017-0153-x>
- Kitchenham, B.A.; and Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering version 2.3. Retrieved January 9, 2014, from http://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf
- Li Biao, Wu Yuan-Yuan, Yi Shao (2020). Updates on managements for keratoconus [圆锥角膜的治疗进展]. *International Journal of Ophthalmology* 2020;20(3): 464-467, <https://doi.org/10.3980/j.issn.1672-5123.2020.3.12>
- Mandathara, P. S., Stapleton, F. J., & Willcox, M. D. P. (2017). Outcome of Keratoconus Management. *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice*, 43(3), 141–154. <https://doi.org/10.1097/icl.0000000000000270>
- Matthew E. Peters, Mark Neumann, Mohit Iyyer, Matt Gardner, Christopher Clark, Kenton Lee, and Luke Zettlemoyer. 2018. Deep Contextualized Word Representations. In *Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long Papers)*, pages 2227–2237, New Orleans, Louisiana. Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/N18-1202>
- McGhee, C. N. J., Kim, B. Z., & Wilson, P. J. (2015). Contemporary Treatment Paradigms in Keratoconus. *Cornea*, 34, S16–S23. <https://doi.org/10.1097/ico.0000000000000504>
- Mohammadpour, M., Heidari, Z., & Hashemi, H. (2018). Updates on Managements for Keratoconus. *Journal of Current Ophthalmology*, 30(2), 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.joco.2017.11.002>
- Moon, J. Y., Lee, J., Park, Y. H., Park, E.-C., & Lee, S. H. (2020). Incidence of Keratoconus and Its Association with Systemic Comorbid Conditions: A Nationwide Cohort Study from South Korea. *Journal of Ophthalmology*, 2020, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2020/3493614>
- Park, B., Afzal, M., Hussain, J., Abbas, A., & Lee, S. (2020). Automatic Identification of High Impact Relevant Articles to Support Clinical Decision Making Using Attention-Based Deep Learning. *Electronics*, 9(9), 1364. <https://doi.org/10.3390/electronics9091364>
- Peña-García, P., Vega-Estrada, A., Barraquer, R. I., Burguera-Giménez, N., & Alio, J. L. (2012). Intracorneal Ring Segment in Keratoconus: A Model to Predict Visual Changes Induced

- by the Surgery. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 53(13), 8447.
<https://doi.org/10.1167/iovs.12-10639>
- Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial. Madrid: Alienta Editorial.
- Rybinski, M., Xu, J., & Karimi, S. (2020). Clinical Trial Search: Using Biomedical Language Understanding Models for Re-Ranking. *Journal of Biomedical Informatics*, 103530.
<https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103530>
- Salomão, M., Hoffling-Lima, A. L., Lopes, B., Belin, M. W., Sena, N., Dawson, D. G., & Ambrósio, R. (2018). Recent developments in keratoconus diagnosis. *Expert Review of Ophthalmology*, 13(6), 329–341. <https://doi.org/10.1080/17469899.2018.1555036>
- Santisteban, J., & Mauricio, D. (2017). Systematic literature review of critical success factors of Information Technology startups. *Academy of Entrepreneurship Journal*, 1–23.
<https://siis.unmsm.edu.pe/en/publications/systematic-literature-review-of-critical-successfactors-of-infor-2>
- Santodomingo-Rubido, J., Carracedo, G., Suzaki, A., Villa-Collar, C., Vincent, S. J., & Wolffsohn, J. S. (2022). Keratoconus: An updated review. *Contact lens & anterior eye : the journal of the British Contact Lens Association*, 45(3), 101559.
<https://doi.org/10.1016/j.clae.2021.101559>
- Seitz, B., Langenbucher, A., Hager, T., Janunts, E., El-Husseiny, M., & Szentmáry, N. (2017). Penetrating Keratoplasty for Keratoconus - Excimer Versus Femtosecond Laser Trephination. *The open ophthalmology journal*, 11, 225–240.
<https://doi.org/10.2174/1874364101711010225>
- Shetty R, Kaweri L, Pahuja N, Nagaraja H, Wadia K, Jayadev C, Nuijts R, Arora V. Current review and a simplified "five-point management algorithm" for keratoconus. *Indian J Ophthalmol*. 2015 Jan;63(1):46-53. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.151468>
- Spadea, L., & Mencucci. (2012). Transepithelial corneal collagen cross-linking in ultrathin keratoconic corneas. *Clinical Ophthalmology*, 1785. doi:10.2147/opth.s37335
- Su, Y., Xiang, H., Xie, H., Yu, Y., Dong, S., Yang, Z., & Zhao, N. (2020). Application of BERT to Enable Gene Classification Based on Clinical Evidence. *BioMed Research International*, 2020, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2020/5491963>
- Valdés-Mas, M. A., Martín-Guerrero, J. D., Rupérez, M. J., Pastor, F., Dualde, C., Monserrat, C., & Peris-Martínez, C. (2014). A new approach based on Machine Learning for predicting

- corneal curvature (K1) and astigmatism in patients with keratoconus after intracorneal ring implantation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 116(1), 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2014.04.003>
- Volatier, T. L. A., Figueiredo, F. C., & Connon, C. J. (2019). Keratoconus at a molecular level: a review. *The Anatomical Record*. <https://doi.org/10.1002/ar.24090>
- Wang, Q., Ji, Z., Wang, J., Wu, S., Lin, W., Li, W., Ke, L., Xiao, G., Jiang, Q., Xu, H., & Zhou, Y. (2020). A study of entity-linking methods for normalizing Chinese diagnosis and procedure terms to ICD codes. *Journal of biomedical informatics*, 105, 103418. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103418>
- Yao, L., Jin, Z., Mao, C., Zhang, Y., & Luo, Y. (2019). Traditional Chinese medicine clinical records classification with BERT and domain specific corpora. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 26(12), 1632–1636. <https://10.1093/jamia/ocz164>
- Zayat, W., & Senvar, O. (2020). Framework Study for Agile Software Development Via Scrum and Kanban. *International Journal of Innovation and Technology Management*. <https://10.1142/s0219877020300025>

Anexo A: Artículos sobre los tratamientos CXL, ICRS y Queratoplastia

1. Descripción

Se da a conocer el listado de los artículos científicos de CXL, ICRS y Queratoplastia utilizados para el estudio y en el punto 4.2.1.

2. CXL

1. Femtosecond-assisted intrastromal corneal ring implantation for keratoconus treatment: a comparison with crosslinking combination
2. Two-Year Accelerated Corneal Cross-Linking Outcome in Patients with Progressive Keratoconus
3. Comparison of the Conventional Dresden Protocol and Accelerated Protocol With Higher Ultraviolet Intensity in Corneal Collagen Cross-Linking for Keratoconus
4. Corneal crosslinking without epithelial removal
5. The 7-Year Outcomes of Epithelium-Off Corneal Cross-linking in Progressive Keratoconus
6. Transepithelial corneal crosslinking for keratoconus
7. Efficacy and safety of transepithelial corneal collagen crosslinking surgery versus standard corneal collagen crosslinking surgery for keratoconus: a meta-analysis of randomized controlled trials
8. Comparison of transepithelial corneal collagen crosslinking with epithelium-off crosslinking in progressive keratoconus
9. Transepithelial corneal collagen cross-linking in ultrathin keratoconic corneas
10. Epithelium-Off Corneal Collagen Cross-linking Versus Transepithelial Cross-linking for Pediatric Keratoconus

11. Transepithelial corneal collagen crosslinking for progressive keratoconus: 24-month clinical results
12. Transepithelial Versus Epithelium-off Corneal Cross-linking for the Treatment of Progressive Keratoconus: A Randomized Controlled Trial
13. Corneal Cross-Linking in Pediatric Patients With Progressive Keratoconus
14. Standard and accelerated corneal cross-linking long-term results: A randomized clinical trial
15. Corneal collagen crosslinking with riboflavin and ultraviolet-A light in progressive keratoconus: Ten-year results
16. Collagen cross-linking: a new treatment paradigm in corneal disease – a review_
17. Current concepts in crosslinking thin corneas
18. Two-Year Corneal Cross-Linking Results in Patients Younger Than 18 Years With Documented Progressive Keratoconus
19. Updates on corneal collagen cross-linking: Indications, techniques and clinical outcomes
20. Corneal collagen cross-linking in keratoconus: A systematic review and meta-analysis
21. Corneal cross-linking
22. Collagen Cross Linking For Keratoconus
23. Safety, Efficacy, and Predictive Factors of Conventional Epithelium-Off Corneal Crosslinking in the Treatment of Progressive Keratoconus

3. ICRS

1. Decision making nomogram for intrastromal corneal ring segments in keratoconus
2. Intrastromal corneal ring segment implantation in paracentral keratoconus with perpendicular topographic astigmatism and comatic axis

3. Intrastromal Corneal Ring Segment Implantation in 409 Paracentral Keratoconic Eyes
4. Long-term outcome of intrastromal corneal ring segments in keratoconus: Five-year follow up
5. Predictors of Successful Outcome following Intrastromal Corneal Ring Segments Implantation
6. Comparison of 2 intrastromal corneal ring segment models in the management of keratoconus
7. Intrastromal Corneal Ring Segments: How Successful is the Surgical Treatment of Keratoconus?
8. Outcomes of intrastromal corneal ring segments for treatment of keratoconus: Five-year follow-up analysis
9. Intrastromal corneal ring segments delay corneal grafting in patients with keratoconus
10. Recent advances in the treatment of corneal ectasia with intrastromal corneal ring segments

4. Queratoplastia

1. Outcomes of Same-Size Host and Donor Trephine in Deep Anterior Lamellar Keratoplasty for Keratoconus
2. Corneal Transplant Surgery for Keratoconus and the Effect of Surgeon Experience on Deep Anterior Lamellar Keratoplasty Outcomes
3. Comparison of femtosecond laser-assisted deep anterior lamellar keratoplasty and penetrating keratoplasty for keratoconus
4. Long-Term Clinical Outcomes of Deep Anterior Lamellar Keratoplasty in Patients With Keratoconus

5. Femtosecond laser-assisted deep anterior lamellar keratoplasty with big-bubble technique for keratoconus
6. Trends in penetrating and anterior lamellar corneal grafting techniques for keratoconus: a national registry study
7. Scleral Lenses Reduce the Need for Corneal Transplants in Severe Keratoconus
8. Corneal clarity measurements in patients with keratoconus undergoing either penetrating or deep anterior lamellar keratoplasty
9. Deep Anterior Lamellar Keratoplasty for Keratoconus: Multisurgeon Results
10. Effect of Keratoconus Severity on Clinical Outcomes After Deep Anterior Lamellar Keratoplasty
11. Comparison between manual trephination versus femtosecond laser-assisted deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus
12. Comparison of outcomes and complications of deep anterior lamellar keratoplasty and penetrating keratoplasty performed in a large group of patients with keratoconus
13. Long-term outcomes of penetrating keratoplasty in keratoconus: analysis of the factors associated with final visual acuities
14. Penetrating keratoplasty for keratoconus with and without resolved corneal hydrops: long-term results.
15. Trends in Corneal Transplantation in Keratoconus
16. Penetrating Keratoplasty for Keratoconus: Visual Outcome and Success
17. Corneal transplant for keratoconus: Results in early and late disease
18. Outcomes of Penetrating Keratoplasty in Keratoconus

19. Penetrating Keratoplasty for Keratoconus – Excimer Versus Femtosecond Laser
Trepination
20. Characteristics and risk factors of recurrent keratoconus over the long term after
penetrating keratoplasty
21. Visual Performance in Eyes Undergoing Femtosecond Laser-Assisted Keratoplasty for
Advanced Keratoconus

Anexo B: Manual de usuario del sistema

1. Descripción

El sistema de apoyo a la decisión del tratamiento de queratocono, el cual se basa en BERT utilizando conocimientos de casos clínicos y artículos científicos de queratocono, permite determinar el mejor tratamiento para un paciente, donde se da a conocer la estructura y operatividad general del sistema con sus accesos para su uso.

2. Estructura General

Se muestra la estructura de la interfaz gráfica del sistema para el rol Oftalmólogo (ver Figura 30), a fin de facilitar el uso de este. Esta interfaz gráfica se compone de las siguientes partes:

- Encabezado
- Área de Funcionalidades

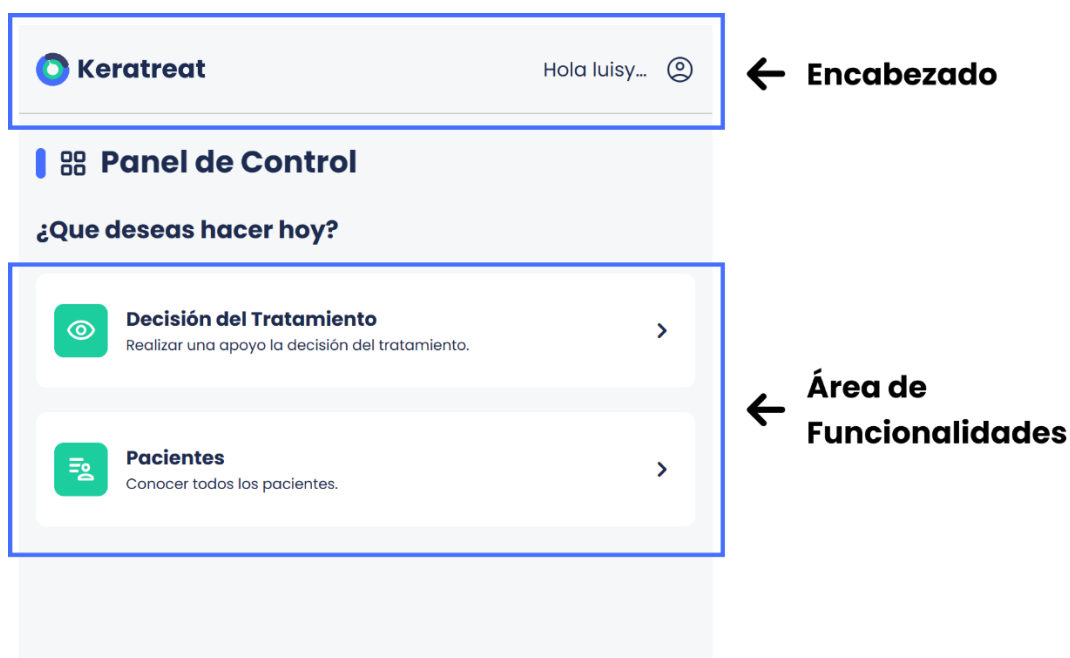


Figura 30. Componentes de la interfaz del rol Oftalmólogo

Fuente: Elaboración propia

3. Operatividad General

Se describen los pasos para el uso del sistema, así como el acceso y ejecución de las funciones para el rol Oftalmólogo.

3.1. Vista de inicio de sesión

Vista de acceso al sistema (ver Figura 31) donde se debe seguir los siguientes pasos:

1. Ingresar nombre de usuario
2. Ingresar contraseña
3. Pulsar el botón “Ingresar”

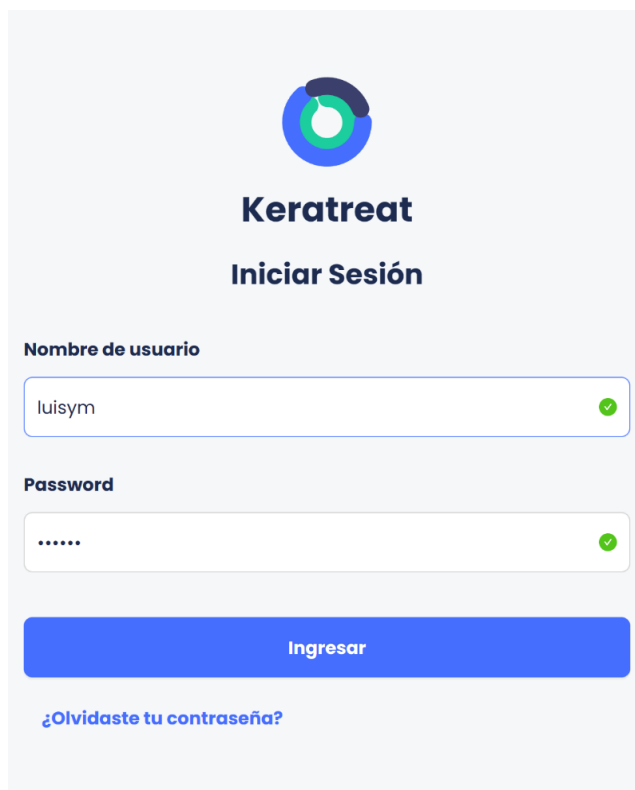


Figura 31. Vista de inicio de sesión

Fuente: Elaboración propia

3.1. Vista de Funcionalidades

Vista principal del rol Oftalmólogo (ver Figura 32) que contiene las siguientes funcionalidades:

- Decidir un tratamiento de queratocono
- Listar pacientes

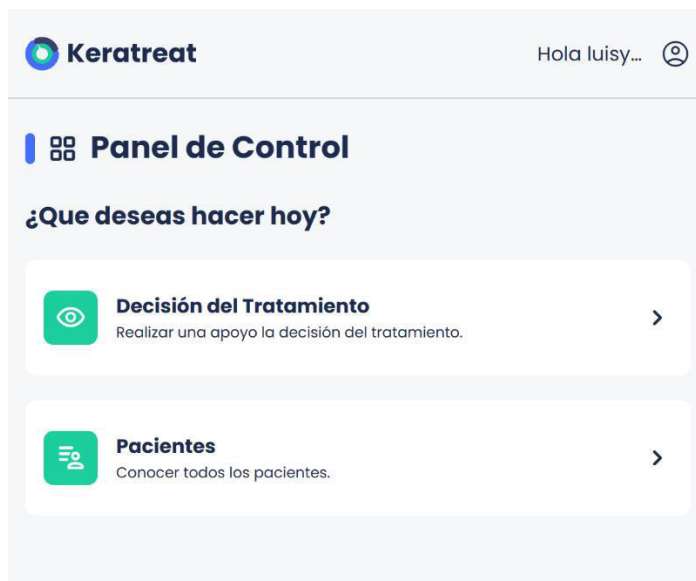


Figura 32. Vista principal del rol Oftalmólogo

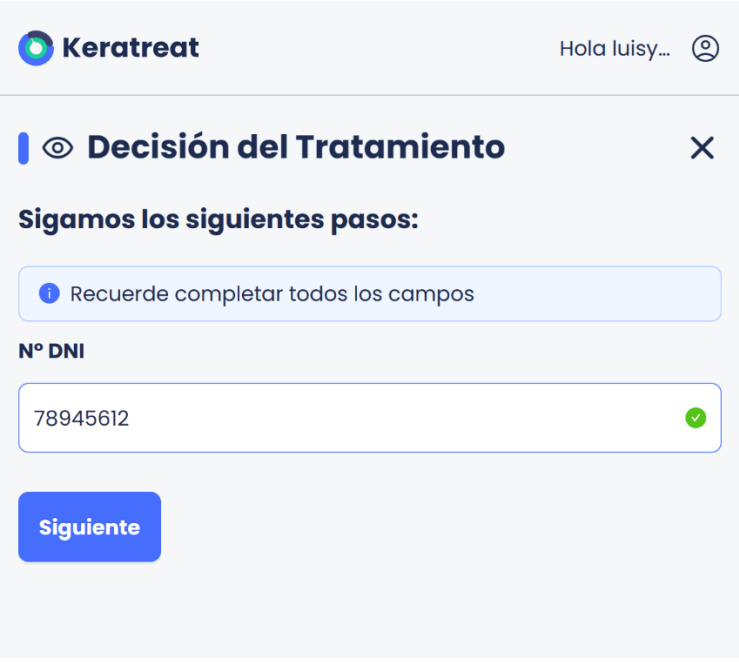
Fuente: Elaboración propia

3.1.1 Decidir un tratamiento de queratocono

Esta funcionalidad permite rellenar un formulario con los factores de riesgo del paciente y obtener un tratamiento adecuado de queratocono. Para realizar la funcionalidad, se debe seguir los siguientes pasos:

1. Ingresar a la opción de “Decisión de tratamiento” de la vista principal del rol Oftalmólogo (ver Figura 32).

2. Luego se tiene una vista para escribir un número de DNI existente de un paciente registrado en el sistema (ver Figura 33).
3. En seguida, se pulsa el botón “Siguiente”.
4. A continuación, se aprecia una vista para completar los datos restantes con los factores de riesgo del paciente, en este caso se tiene dos pasos (ver figuras 34 y 35).
5. Seguidamente, se presiona el botón “Siguiente”.
6. Entonces se tiene un resumen con un texto clínico formado por los factores de riesgo seleccionados (ver Figura 36).
7. Posteriormente, se pulsa el botón “Decidir”.
8. Finalmente, se tiene la vista del resultado con la decisión del tratamiento para paciente con queratocono (ver Figura 37).



The screenshot shows the Keratreat mobile application interface. At the top, the Keratreat logo is on the left and the user greeting 'Hola luisy...' with a profile icon is on the right. Below this is a modal titled 'Decisión del Tratamiento' with a close button (X). Inside the modal, there is a section 'Sigamos los siguientes pasos:' followed by a light blue box containing an information icon and the text 'Recuerde completar todos los campos'. Below this is a label 'N° DNI' and a text input field containing '78945612' with a green checkmark icon on the right. At the bottom of the modal is a blue button labeled 'Siguiente'.

Figura 33. Vista de ingreso del DNI

Fuente: Elaboración propia

 Hola luisy... 

 **Decisión del Tratamiento** 

Sigamos los siguientes pasos:

 Recuerde completar todos los campos

Primer apellido

Primer nombre

Edad

Género

Ojo

Condición médica especial

Uso de ayudas ópticas

Satisfecho con la corrección óptica actual

Intolerancia a lentes de contacto

Frote ocular frecuente

Figura 34. Vista del paso 1 de factores de riesgo del paciente

Fuente: Elaboración propia

 **Keratreat**

Hola luisy... 

 **Decisión del Tratamiento** 

Sigamos los siguientes pasos:

 Recuerde completar todos los campos

Agudeza visual sin corrección

Cuenta dedos  

Agudeza visual con corrección

Cuenta dedos  

K2

105.1 

K MAX

126.3 

Cilindro

16 

Thinnest point pentacam

739 

Queratocono progresivo

Sí  

Hidrops corneal

No  

Cicatriz corneal

Profunda  

Anterior

Siguiente

Figura 35. Vista del paso 2 de factores de riesgo del paciente

Fuente: Elaboración propia

 **Keratreat**

Hola luisy... 

 **Decisión del Tratamiento** 

Resumen

 Verifique los datos en el mensaje que será enviado

27 year old male,without special medical condition, with glasses, not satisfied with current optical correction, with intolerance to contact lenses, yes frequent eye rub, with CDVA Finger counting, with UDVA Finger counting, with k2 of 105.1D, with kmax 126.3D, with corneal thickness of 739 microns, with progressive keratoconus, without corneal hydropsis,deep corneal scar, with16D cylinder and with keratoconus in the right eye

Anterior **Decidir**

Figura 36. Vista resumen con un texto clínico

Fuente: Elaboración propia



Figura 37. Vista resultado con la decisión del tratamiento

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Listar pacientes

Esta funcionalidad permite obtener un listado de todos los pacientes registrados en el sistema. Para realizar la funcionalidad, se debe seguir los siguientes pasos:

1. Ingresar a la opción de “Pacientes” de la vista principal del rol Oftalmólogo (ver Figura 32).
2. Finalmente, se tiene la vista con el listado de todos los pacientes (ver Figura 38).

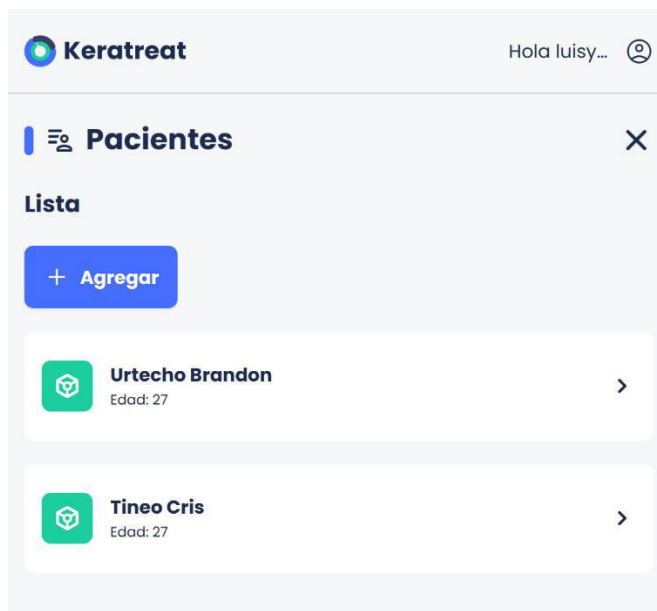


Figura 38. Vista con el listado de todos los pacientes

Fuente: Elaboración propia

4. Accesos

Para acceder al sistema, se debe seguir el siguiente enlace: <https://www.keratreat.site>.

Para ingresar como rol Oftalmólogo, se debe ingresar las siguientes credenciales:

- Nombre de usuario: ktOftal
- Contraseña: \$ktOftal2023

Para ingresar como rol Administrador, se debe ingresar las siguientes credenciales:

- Nombre de usuario: admin
- Contraseña: \$admin2023

Anexo C: Detalles de los resultados de los 162 experimentos

1. Descripción

Se da a conocer el listado de los resultados de los 162 experimentos a través de un enlace drive debido al gran tamaño de la tabla obtenida, además, solo será accedido a modo lectura y por usuarios del grupo UNMSM.

Enlace Drive: [Resultado de Experimentos](#)