



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Centro de Ciencias Básicas

Departamento de sistemas de Información

Maestría en Informática y Tecnologías Computacionales

Clasificador Bayesiano para predecir la evolución de una fractura
transtrocantérica tratada mediante osteosíntesis.

Tesis que presenta León Yannik López Rojas para optar por el grado de:
Maestría en Informática y Tecnologías Computacionales.

TUTORAS

Dra. María Dolores Torres Soto

Dra. Aurora Torres Soto

MIEMBRO DEL COMITÉ

MC. Jorge Eduardo Macías Luévano

Aguascalientes, Aguascalientes. Junio 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL

M. en C. Jorge Martín Alférez Chávez
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS BASICASS

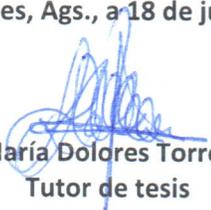
PRESENTE

Por medio del presente como **TUTOR** designado del estudiante **LEÓN YANNIK LÓPEZ ROJAS** con ID 249108 quien realizó el trabajo de tesis titulada, **CLASIFICADOR BAYESIANO PARA PREDECIR LA EVOLUCIÓN DE UNA FRACTURA TRANSTROCANTÉRICA TRATADA MEDIANTE OSTEOSÍNTESIS**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que **LEÓN YANNIK LÓPEZ ROJAS** pueda proceder a imprimir así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 18 de junio de 2020.


Dra. María Dolores Torres Soto
Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CAPÍTULO V. EL VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL

M. en C. Jorge Martín Alférez Chávez
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS BASICASS

PRESENTE

Por medio del presente como **CO-TUTOR** designado del estudiante **LEÓN YANNIK LÓPEZ ROJAS** con ID 249108 quien realizó el trabajo de tesis titulada, **CLASIFICADOR BAYESIANO PARA PREDECIR LA EVOLUCIÓN DE UNA FRACTURA TRANSTROCANTÉRICA TRATADA MEDIANTE OSTEOSÍNTESIS**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que **LEÓN YANNIK LÓPEZ ROJAS** pueda proceder a imprimir así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 18 de junio de 2020.


Dra. Aurora Torres Soto
Co-tutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

M. en C. Jorge Martín Alférez Chávez
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS BASICASS

PRESENTE

Por medio del presente como **MIEMBRO DEL COMITÉ** designado del estudiante **LEÓN YANNIK LÓPEZ ROJAS** con ID 249108 quien realizó el trabajo de tesis titulada, **CLASIFICADOR BAYESIANO PARA PREDECIR LA EVOLUCIÓN DE UNA FRACTURA TRANSTROCANTÉRICA TRATADA MEDIANTE OSTEOSÍNTESIS**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que **LEÓN YANNIK LÓPEZ ROJAS** pueda proceder a imprimir así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 18 de junio de 2020.



M.I.T.C. Jorge Eduardo Macías Luévano
Miembro del comité

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado



DICTAMEN DE LIBERACION ACADEMICA PARA INICIAR LOS TRAMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación dd/mm/aa: 24/9/18

NOMBRE: León Yannik López Rojas ID:
PROGRAMA: Maestría en Informática y tecnologías computacionales LGAC (del posgrado): Gestión de sistemas y tecnologías de información para mejorar competitividad, innovación y cambio organizacional.
TIPO DE TRABAJO: (X) Tesis () Trabajo práctico
TITULO: CLASIFICADOR BAYESIANO PARA PREDECIR LA EVOLUCIÓN DE UNA FRACTURA TRANSTROCANTÉRICA TRATADA MEDIANTE OSTEOSÍNTESIS.
IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): Se provee de una herramienta para el beneficio de la población geriátrica en el área de la Salud

INDICAR SI/NO SEGÚN CORRESPONDA:

Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:

- SI El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI Cumpe con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)

El egresado cumple con lo siguiente:

- SI Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
SI Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI Coincide con el título y objetivo registrado
SI Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI Tiene el CVU del Conacyt actualizado
N/A Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)

En caso de Tesis por artículos científicos publicados

- N/A Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N/A El estudiante es el primer autor
N/A El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N/A En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N/A Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N/A La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado

Si X

No

FIRMAS

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

DR. CESAR EDUARDO VELAZQUEZ AMADOR

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

M.I.T.C. JORGE EDUARDO MACIAS LUEVANO

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

DRA. HAYDEE MARTINEZ RUVALCABA

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

M.C. JORGE MARTIN ALFEREZ CHAVEZ

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes, por preocuparse por la educación y las nuevas tecnologías, por aceptarme en el curso de la maestría y por ser una de las universidades de vanguardia.

A la Dra. María Dolores Torres Soto y la Dra. Aurora Torres Soto, por su paciencia y ayuda. Por las ganas de sacar adelante a los alumnos. Por rescatarme.

Al MC. Jorge Eduardo Macías Luévano, por la oportunidad, y por la inspiración. Por creer en mí.

A mi familia por ser mi fortaleza y razón de progresar.

Dedicatorias

Este trabajo se lo dedico a la comunidad.

El resultado se lo dedico a mis padres: León y Nelly; y abuelos: Sergio y Celia, en honor a su esfuerzo por formarme.

El esfuerzo se lo dedico a mi esposa: Viridiana; y a mis hijos: Sarah Janine y Fernando André, espero los aliente a dar lo mejor de sí.

Índice General

ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	7
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 PROBLEMA.....	12
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	12
1.3 OBJETIVO.....	14
1.3.1 <i>Objetivos particulares</i>	14
1.4 HIPÓTESIS.....	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 BIOMECÁNICA DE LA CADERA	16
2.2 ANATOMÍA ÓSEA	19
2.3 ANATOMÍA CAPSULAR.....	21
2.4 FRACTURA	22
2.5 MECANISMO DE LESIÓN	23
2.6 OSTEOSÍNTESIS	24
2.7 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	27
2.7.1 <i>Aprendizaje automático</i>	28
2.7.2 <i>Clasificadores</i>	30

2.7.3 Teorema de Bayes.....	31
2.7.4 Clasificador Bayesiano.....	33
2.7.5 Clasificador Bayesiano Ingenuo	34
2.8 IOS.....	35
2.9 SWIFT.....	36
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	39
3.1 SEGUIMIENTO A 6 MESES DE PACIENTES CON FRACTURA.....	40
3.2 PREPROCESAMIENTO.....	41
3.3 SELECCIÓN DEL CLASIFICADOR.....	47
3.4 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA	48
3.5 CREACIÓN DEL ALGORITMO	57
3.6 PRUEBAS	57
3.7 VALIDACIÓN.....	57
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	58
4.1 Creación de la aplicación.....	58
4.2 ALGORITMO.....	61
4.3 CALIFICACIÓN DEL ALGORITMO	68
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO	71
5.1 CONCLUSIONES	71
5.2 TRABAJO A FUTURO.....	72
REFERENCIAS	73

Índice de figuras

ILUSTRACIÓN 1 CONGRUENCIA ENTRE LA CABEZA FEMORAL Y EL ACETÁBULO. TOMADA DE (WWW.ARTROSCOPIADECADERAMONTERREY.COM, 2020).....	17
ILUSTRACIÓN 2 CORTICAL INTERNA DE LA CABEZA DEL FÉMUR, REPRESENTADA POR LA LETRA C. TOMA DE: (PLISCHUK).....	18
ILUSTRACIÓN 3 SECCIÓN DE LA ARTICULACIÓN COXOFEMORAL (SHULTE, SHUENCKE, & SHUMACHER, 2005).....	20
ILUSTRACIÓN 4 FRACTURAS TRANSTROCANTÉRICAS DE CADERA. A= FRACTURA CON TRAZO OBLICUO ESTÁNDAR (TIPO I DE EVANS); B= FRACTURA CON TRAZO OBLICUO INVERSO (TIPO II DE EVANS). (EVANS, 1949).....	23
ILUSTRACIÓN 5 A= TORNILLO DESLIZANTE DE CADERA; B) PLACA MEDOFF; C= PLACA RAB (JACOBS R, 1980).....	25
ILUSTRACIÓN 6 PATRONES DE DESLIZAMIENTO DEL TORNILLO CÉRVICO-CEFÁLICO. A= EN PATRONES DE FRACTURA ESTABLES EL DESLIZAMIENTO DEL TORNILLO PRODUCE COMPRESIÓN EN EL FOCO DE FRACTURA; B= EN PATRONES INESTABLES EL DESLIZAMIENTO EXCESIVO CONLLEVA DESPLAZAMIENTO LATERAL. (RHA, KIM, YOON, PARK, & LEE, 2010)	26
ILUSTRACIÓN 7 METODOLOGÍA	39
ILUSTRACIÓN 8 UI LABEL	50
ILUSTRACIÓN 9 UI LABEL ACOMPAÑADA DE DOS UI BUTTONS.....	51
ILUSTRACIÓN 10 UI SWITCH PARA SELECCIONAR UNA DE 3 OPCIONES	52
ILUSTRACIÓN 11 UI TABLEVIEW CON LAS OPCIONES	53
ILUSTRACIÓN 12 UI SELECTOR	54
ILUSTRACIÓN 13 INTERFAZ DE USUARIO SELECCIONADA	55
ILUSTRACIÓN 14 INTERFAZ PARA MOSTRAR EL RESULTADO	56
ILUSTRACIÓN 15 INTERFAZ SELECCIONADA	59
ILUSTRACIÓN 16 REPRESENTACIÓN DEL RESULTADO.....	60
ILUSTRACIÓN 17 MENSAJE DE ERROR SI LOS DATOS DE INGRESO SON INCOMPLETOS.....	60
ILUSTRACIÓN 18 PRIMERA FUNCIÓN DEL ALGORITMO CLASIFICADOR	62
ILUSTRACIÓN 19 SEGUNDA FUNCIÓN DEL ALGORITMO CLASIFICADOR	66
ILUSTRACIÓN 20 TERCERA FUNCIÓN DEL ALGORITMO CLASIFICADOR	67
ILUSTRACIÓN 21 CUARTA Y ÚLTIMA FUNCIÓN DEL ALGORITMO CLASIFICADOR	67

Índice de tablas

TABLA 1 EXTRACTO DE LA TABLA CON LA BASE DE DATOS RECOPIADA, LA TABLA COMPLETA SE ANEXA AL FINAL DEL DOCUMENTO	46
TABLA 2 PROBABILIDADES DE GENERO POR CADA RESULTADO	63
TABLA 3 PROBABILIDADES DE EDAD POR CADA RESULTADO	63
TABLA 4 PROBABILIDADES DE TABAQUISMO POR CADA RESULTADO	63
TABLA 5 PROBABILIDADES DE EVANS POR CADA RESULTADO	64
TABLA 6 PROBABILIDADES DE ÍNDICE DE MASA CORPORAL POR CADA RESULTADO	64
TABLA 7 PROBABILIDADES DE ENFERMEDADES CRÓNICO DEGENERATIVAS POR CADA RESULTADO	64
TABLA 8 PROBABILIDADES DE TIEMPO TRANSCURRIDO POR CADA RESULTADO	64
TABLA 9 PROBABILIDADES DE PUNTA APEX POR CADA RESULTADO.....	65
TABLA 10 PROBABILIDADES DE PUNTA APEX MODIFICADO POR CADA RESULTADO.....	65
TABLA 11 PROBABILIDADES DE ÍNDICE PARKER POR CADA RESULTADO.....	65
TABLA 12 PROBABILIDADES DE ÑÍNDICE FOGAGNOLO POR CADA RESULTADO.....	65
TABLA 13 PROBABILIDADES DE CADA RESULTADO.....	65
TABLA 14 COMPARATIVA ENTRE RESULTADOS REALES CON LOS ARROJADOS CON EL ALGORITMO.....	70

Resumen

La frecuencia de fracturas transtrocantericas ha aumentado en la actualidad. Existen mediciones radiograficas posquirurgicas con las que se puede predecir en cierto grado la falla de la osteosintesis, este grado de incertidumbre es un problema. Podrian tomarse en cuenta ademàs de estas mediciones otros factores y una especie de aprendizaje automatico para mejorar la prediccion de esta falla de la osteosintesis.

El objetivo es crear un clasificador que sea capaz de predecir con alta certeza, si una fractura de tipo transtrocanterica intervenida quirurgicamente mediante osteosintesis, sanarà o fallarà despues de la intervencion.

De un grupo de cincuenta pacientes del Centro Hospital Miguel Hidalgo entre los 60 y los 100 años de edad afectados por una fractura transtrocanterica, se obtuvieron los factores propios que se relacionan con las mediciones radiograficas, a través de un estudio retrospectivo y descriptivo con seguimiento mínimo de 6 meses de 2014 a 2019.

De esta base de datos se realizò una limpieza para obtener las variables que se tomarían en cuenta para alimentar el clasificador.

Se seleccionò el Clasificador Bayesiano Ingenuo por su robustez y se creò un algoritmo en el lenguaje Swift dentro de una aplicacion para la plataforma iOS, que pudiera usarse para

introducir una nueva serie de factores propios y mediciones de un nuevo paciente y obtener la predicción de la falla o correcta osteosíntesis de su fractura transtrocanterica, mediante el clasificador bayesiano.

Fue posible crear la aplicación con el algoritmo clasificador y se diseñó una interfaz sencilla y clara de usar, que permite a un usuario introducir la lista de factores y mediciones radiográficas posquirúrgicas, calcular y obtener el resultado de la predicción en un formato booleano, es decir, la osteosíntesis fallará o no fallará.

Se concluye, que es posible crear un clasificador bayesiano ingenuo con la base de datos obtenida, y programar el algoritmo de este clasificador dentro de una aplicación móvil. El que esté en una aplicación móvil facilita su utilización, y el que este algoritmo pueda funcionar es prospecto para una mejora en la confiabilidad de dichas predicciones.

Como trabajo futuro, se planea la continuación del estudio, con la validación del grado de certeza del algoritmo, mediante médicos expertos introduciendo nuevos casos.

Abstract

The frequency of intertrochanteric fractures has increased today. There are post-surgical radiographic measurements with which the failure of osteosynthesis can be predicted to some degree, this degree of uncertainty is a problem. In addition to these measurements, other factors and some type of machine learning could be taken into consideration to improve the prediction of this fracture osteosynthesis failure.

The objective is to create a classifier that is capable of reliably predict if an intertrochanteric fracture, surgically intervened will correctly heal or fail, a correct osteosynthesis or failure after a surgical intervention of a transtrochanteric fracture.

From a group of patients at the Miguel Hidalgo Hospital Center between 60 and 100 years of age affected by an intertrochanteric fracture, the proper factors related to radiographic measurements were obtained through a retrospective and descriptive study with minimal follow-up of 6 months from 2014 to 2019.

A cleaning of the data was performed to this database in order to obtain the variables that would be taken into consideration to feed the classifier.

The Naive Bayesian Classifier was selected for its robustness and an algorithm was created in the swift language within an application for the iOS platform, which could be used to

introduce a new series of factors and measurements of a new patient, and obtain the prediction of failure or correct osteosynthesis of his intertrochanteric fracture, using this Bayesian classifier.

(Dhanwal, Dennison, Harvey, & Cooper, 2011)

It was possible to create the application with the classifier algorithm and a simple and clear interface was designed, which allows a user to enter the factor and post-surgical radiographic measurements strip, calculate and obtain the prediction result in a Boolean format, this is, the osteosynthesis fails or do not fails.

It is concluded, that it is possible to conform a naive Bayesian classifier with the obtained database, and program the algorithm of this classifier within a mobile application. Being in a mobile application makes it easier to use, and the fact that this algorithm can work is a prospect for an improvement in the reliability of these predictions.

As a future project, the continuation of the study is planned, with the algorithm's degree of certainty validation, trough medical experts introducing new cases.

Capítulo 1. Introducción

En este trabajo, se realizó una agrupación de factores característicos propios de un paciente geriátrico junto con las mediciones radiográficas posquirúrgicas de pacientes con fracturas de cadera. La fractura de cadera es responsable en gran medida de la limitación funcional de los adultos mayores en la población mexicana. (Negrete-Corona, Alvarado-soriano, & Reyes-Santiago, 2014) La manera de tratar esta patología es quirúrgica. Las fracturas en la región del transtrocanter, se manejan mediante osteosíntesis. (Aguilar, 2019)

Esta agrupación de factores y sus mediciones radiográficas se clasificaron junto con la evolución del paciente para encontrar una predicción confiable del comportamiento de la osteosíntesis. Encontrar esta predicción es importante para saber qué medidas adicionales de cuidado, se necesitan para los pacientes, a fin de evitar un desenlace que termine en la muerte. En México, el 50% de los pacientes que sufren una fractura transtrocantérica, muere dentro de los primeros 6 meses posteriores a la intervención quirúrgica. (Negrete-Corona, Alvarado-soriano, & Reyes-Santiago, 2014)

Para encontrar esta predicción confiable, se propone el diseño, desarrollo e implementación de una aplicación móvil que contenga un algoritmo de un clasificador bayesiano ingenuo con una interfaz sencilla y amigable, capaz de admitir la entrada de una serie de mediciones y parámetros de un paciente nuevo arrojando la predicción del resultado de la falla o correcta osteosíntesis de su fractura transtrocantérica.

El algoritmo con el que se trabajó, fue el clasificador ingenuo de Bayes. Con la estadística presentada, se encontró que el algoritmo tiene una certeza o acertividad del 92% y una confiabilidad del 100% con los datos de control, cabe destacar que debido a que la cantidad de datos son limitados, se propone para trabajo futuro, continuar con más pruebas y validaciones para robustecer la confianza en la aplicación y en la certeza del algoritmo que se programó en este proyecto.

A continuación, se describe brevemente el contenido de este documento de tesis:

En el capítulo dos, se presenta el marco teórico. Comenzando por la sección 2.1, se describe la biomecánica de la cadera, se explica cómo la bipedestación es posible gracias a las cargas que soporta la articulación coxofemoral.

En las secciones 2.2 y 2.3 se describe la anatomía tanto ósea como capsular, el fémur se une a la cadera mediante una articulación ligamentosa que pone en contacto la cabeza del fémur con el acetábulo de la cadera, y la fuerza que se ejerce en el cuello del fémur, es soportada gracias a los trocánteres, tanto el mayor que se encuentra en la parte superior exterior, como el menor, que se encuentra en la parte inferior interior.

La fractura y el mecanismo de lesión se explican en las secciones 2.4 y 2.5. Con la edad, el movimiento o desplazamiento de una persona, se va limitando y su velocidad decreciendo, lo que causa que las caídas sean hacia un lado, en lugar de hacia enfrente, esto a su vez,

causa que la cadera sea la que reciba los impactos sumándosele la debilitación de los huesos.

Es posible tratar la fractura tradicionalmente, es decir inmovilizando las partes afectadas, pero resulta poco recomendado, debido a la poca probabilidad de una curación total o satisfactoria. En sección 2.6 se muestra que lo ideal es tratar la fractura mediante osteosíntesis, que consiste en auxiliar la fijación del hueso a través de elementos mecánicos, tales como placas, clavos y tornillos u otros dispositivos médicos.

Para poder predecir de manera confiable el comportamiento de la fractura tratada mediante osteosíntesis, se recurrió a una rama de la inteligencia artificial, que se llama aprendizaje automático, se detalla cómo es que se puede utilizar esta rama de la informática para aplicaciones médicas en las subsecciones de la sección 2.7, se da una explicación de los clasificadores, que sirven para tomar datos históricos y poder utilizarlos mediante algoritmos, tales como el basado en el teorema de Bayes para predecir comportamientos futuros. Debido a la naturaleza de los datos, se eligió el Clasificador Ingenuo de Bayes, que toma como supuesto que las variables son independientes, para que el procesamiento computacional resulte más económico.

En las secciones 2.8 y 2.9 se delinea el tipo de tecnologías que se utilizaron para crear el algoritmo y utilizarlo para hacer predicciones recibiendo datos nuevos. Los resultados de presentan en el capítulo y las conclusiones y discusión se podrán encontrar en la sección.

En el capítulo 3 se describe la metodología que se utilizó, la obtención de los datos mediante el seguimiento a 6 meses a pacientes del hospital, el preprocesamiento de dichos datos, y la generación del algoritmo y su programación en una aplicación móvil. Terminando con los resultados y las conclusiones en los capítulos 4 y 5 respectivamente.

1.1 Problema

Para la población de pacientes geriátricos, no existe una manera precisa de predecir el comportamiento y desenlace de un tratamiento quirúrgico, mediante osteosíntesis para tratar una fractura transtrocanterica, que confiablemente indique si el diagnóstico al final será satisfactorio o fallará.

1.2 Justificación

La población geriátrica en el mundo presenta una frecuencia grande de fracturas de fémur de tipo proximal, casi la mitad de estas fracturas, son las fracturas transtrocantericas. (Dhanwal, Dennison, Harvey, & Cooper, 2011)

Se estima que la frecuencia y prevalencia de las fracturas transtrocantericas va en importante aumento, en algunas poblaciones se estima que desde el año 1990 al 2040, se duplicará la cantidad de incidencias. Este crecimiento está condicionado por el aumento

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

incremento de población de adultos mayores. El costo anual invertido para el manejo de esta patología se espera que se duplique de igual manera. (Dhanwal, Dennison, Harvey, & Cooper, 2011)

Este tipo de fracturas se somete a una intervención quirúrgica por lo general con un sistema de tornillo deslizante, y se busca pronosticar o predecir el fallo de la osteosíntesis de la fractura con las mediciones radiográficas posquirúrgicas. Lamentablemente, tales predicciones no son totalmente confiables por el momento y se busca incluir más factores que ayuden a esta predicción. (Aguilar, 2019)

En caso de tener un resultado no satisfactorio de un tratamiento mediante osteosíntesis en la fractura transtrocanterica, se presentan varios escenarios; Fracaso de osteosíntesis por cut-out, que es la migración del tornillo y penetración de la cabeza femoral, que conllevaría a una intervención posterior necesaria (Aguilar, 2019); Pseudoartrosis que es que el organismo no fusione los huesos separados, en cuyo caso también se necesitaría una intervención posterior necesaria (Aguilar, 2019); Otras complicaciones médicas más frecuentes, tales como el miocardio, neumonía, y las infecciones tanto en el tracto urinario como en el área de la herida quirúrgica. (Aguilar, 2019)

Cualquiera de los escenarios anteriores, incrementa considerablemente la morbilidad, o tasa de mortalidad, de ahí la importancia de obtener con prontitud un diagnóstico o predicción

adecuada del desenlace del tratamiento mediante la osteosíntesis de cualquier paciente.
(Aguilar, 2019)

No solo se habla del impedimento de la movilidad del individuo, sino de la vida misma. En México, una fractura importante en adultos mayores acarrea problemas tales como neumonía, problemas cardiovasculares y sepsis. (Negrete-Corona, Alvarado-soriano, & Reyes-Santiago, 2014)

1.3 Objetivo

Diseñar, desarrollar e implementar un clasificador bayesiano, para la predicción del diagnóstico del tratamiento mediante osteosíntesis de las fracturas transtrocantericas presentes en la población de adultos mayores en Aguascalientes.

1.3.1 Objetivos particulares

- Obtener una base de datos con los factores propios que caracterizan a los pacientes junto con las mediciones radiográficas posquirúrgicas y la evolución de los pacientes tratados con apoyo del Centro Hospitalario Miguel Hidalgo.
- Seleccionar un paradigma de clasificación robusto. Con el que se pueda predecir el desenlace de una intervención quirúrgica de una fractura transtrocanterica.

- Diseñar una herramienta móvil que facilite la predicción del diagnóstico a un médico.

1.4 Hipótesis

- Es posible clasificar un conjunto de factores relacionados a las características y comportamientos de un paciente, sus mediciones radiográficas posquirúrgicas y características de lesión y evolución de la osteosíntesis, para formar una predicción aceptable que determine si se debe intervenir en términos médicos para incrementar las posibilidades de un desenlace favorable para un paciente que sufra de este tipo de fracturas.
- La predicción de la falla o correcta curación de una fractura transtrocanterica tratada quirúrgicamente mediante osteosíntesis, puede programarse con un algoritmo en un lenguaje de programación dentro de una herramienta móvil, que pueda estar a la mano de un médico.
- La herramienta móvil o aplicación facilita el ingreso de información y la lectura de los resultados al médico con claridad y rapidez para que el experto médico haga las consideraciones pertinentes.
-

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Biomecánica de la cadera

Una de las principales características del ser humano es la bipedestación obligatoria, que es el andar con las dos extremidades inferiores siempre, esto facilita usar las extremidades superiores para realizar un rango grande de otras actividades. (Aguilar, 2019)

La movilidad y el soporte del cuerpo en la bipedestación obligatoria, recae en la articulación coxofemoral, la cadera. Su principal función es la transmisión del peso corporal desde el esqueleto axial a las extremidades inferiores. El centro de gravedad del cuerpo está localizado en un punto medio entre la cadera, y ambos extremos soportan por igual el peso superior. En cuanto al apoyo en monopedestación, es decir, en el momento que una extremidad soporta el peso total mientras la otra se desplaza, el centro de gravedad se desplaza del centro de la cadera a un extremo de esta y su articulación con la pierna o hueso femoral. Para contrarrestar el cambio de centro de gravedad y mantener el equilibrio, los abductores se contraen para mantener la pelvis en posición nivelada, esto produce una fuerza de compresión a través de la cadera de cuatro veces el peso del cuerpo, aproximadamente. (Bowman Jr, Fox, & Sekiya, 2010)

Casi todo el movimiento entre la cabeza femoral y acetábulo consiste en rotaciones, sin que se produzcan traslaciones detectables, debido a la elevada congruencia entre ambas

superficies articulares. Como se muestra en la Ilustración 1 a que se refiere la congruencia entre las superficies articulares, la superficie convexa del fémur embona con la superficie convexa del acetábulo. El rango de movilidad medio es de 120° de flexión, 10° de extensión, 45° de abducción, 25° de aducción, 15° de rotación interna y 35° de rotación externa.

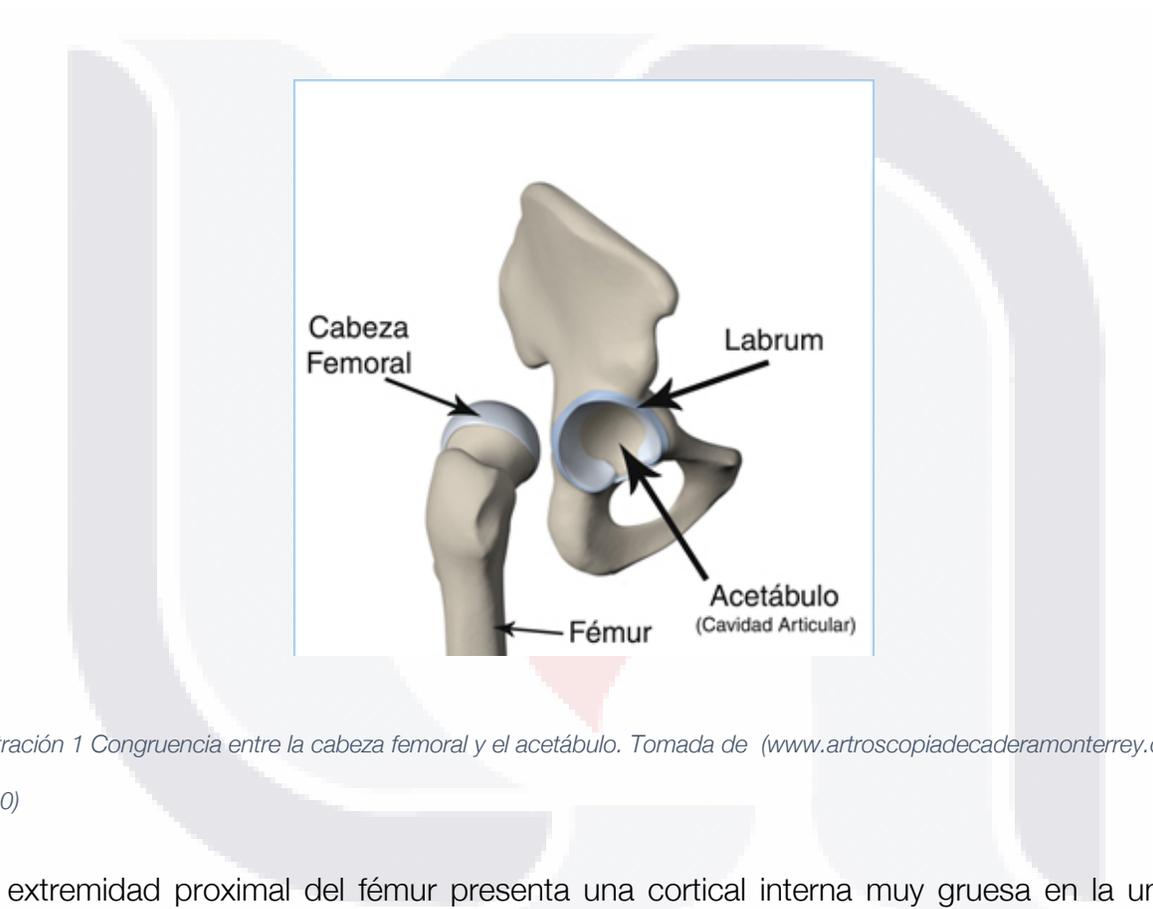


Ilustración 1 Congruencia entre la cabeza femoral y el acetábulo. Tomada de (www.artroscopiadecaderamonterrey.com, 2020)

La extremidad proximal del fémur presenta una cortical interna muy gruesa en la unión cervicodiafisaria, formando un auténtico arbotante en el cuello, (Ilustración 2) (Arco de Adam). La cortical externa, menos gruesa, termina en el trocánter mayor y únicamente en su parte inferior, bajo la cresta de inserción del vasto externo nos encontramos con suficiente apoyo para el material de osteosíntesis de así requerirlo. (Bowman Jr, Fox, & Sekiya, 2010)

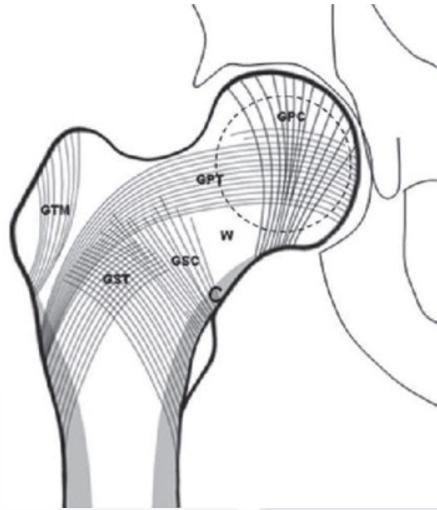


Ilustración 2 Cortical interna de la cabeza del fémur, representada por la letra C. Toma de: (Plischuk)

La organización trabecular del hueso esponjoso es consecuencia de la respuesta a la aplicación de fuerzas de tensión y compresión. Las trabéculas de compresión son las de mayor importancia. Se dividen en un grupo principal o abanico de sustentación y en un grupo accesorio. Entre los dos grupos, se encargan de transmitir el peso corporal desde la cabeza del fémur y desde el trocánter mayor hacia la cortical interna. Las trabéculas de tensión son menos importantes y se dividen en el grupo principal, un grupo accesorio y un grupo que prolonga la inserción de los glúteos. (Bowman Jr, Fox, & Sekiya, 2010)

Con el envejecimiento, y especialmente en la mujer, se produce una reabsorción trabecular que acentúa la fragilidad del extremo proximal del fémur. Esta pérdida de consistencia trabecular es la responsable de la dificultad que existe para obtener una fijación interna estable en pacientes de edad avanzada, pudiendo comprometer los resultados de intervenciones quirúrgicas. (Bowman Jr, Fox, & Sekiya, 2010)

2.2 Anatomía Ósea

Cómo se indicó en la Ilustración 1, la articulación de la cadera se caracteriza por tener dos superficies articulares que participan, la cabeza femoral y el acetábulo, son esféricas o casi esféricas, una convexa y otra cóncava respectivamente, permitiendo una gran movilidad. (Shulte, Shuencke, & Shumacher, 2005)

El acetábulo está formado mayormente por el hueso innominado con contribuciones del hueso ilíaco, isquión, y pubis. Esta superficie tiene forma de herradura y alberga en su cuadrante central inferior una cavidad, la fosa acetabularia, rellena de una almohadilla grasa y de la inserción del ligamento redondo. Unido al reborde del acetábulo se encuentra el labrum fibrocartilaginoso, que participa en el desarrollo de la articulación, en la distribución de fuerzas alrededor de la misma y evita la extravasación del fluido sinovial. (Shulte, Shuencke, & Shumacher, 2005)

La cabeza femoral se encuentra recubierta de cartílago articular que se extiende más allá del reborde del acetábulo para dar cabida a todo el rango de movimiento. En la zona central de la cabeza femoral existe un área desprovista de cartílago, la fovea captis, que aloja la inserción femoral del ligamento redondo. La cabeza femoral está unida a la fiáfisis por el cuello femoral, cuya longitud varía dependiendo del tamaño corporal. En ángulo cervicodiafisario medio del fémur adulto es de $130^{\circ} \pm 7^{\circ}$. La ante versión media del cuello femoral es de $10^{\circ} \pm 7^{\circ}$. Ilustración 3

El cuello femoral finaliza en el macizo trocantérico, compuesto por dos eminencias óseas: el trocánter mayor, dispuesto lateral y ligeramente posterior respecto a la diáfisis femoral y que alberga las inserciones musculares del glúteo medio, glúteomínimo, piramidal y obturador interno; y el trocánter menor, una apófisis cónica, posteroinferior respecto al cuello femoral, en la que se inserta el músculo psoas ilíaco. Ambos trocánteres están unidos por las líneas intertrocantéreas: la anterior, en la que se instala el ligamento iliofemoral; y la posterior, mucho más desarrollada, en la que se inserta el músculo cuadrado crural. (Shulte, Shuencke, & Shumacher, 2005)

Eje del fémur, cuello del fémur, ángulo cervicodiafisario, línea epifiseal, acetábulo, labrum fibrocartilaginoso, cabeza del fémur, trocante mayor, trocante menor. (Shulte, Shuencke, & Shumacher, 2005)

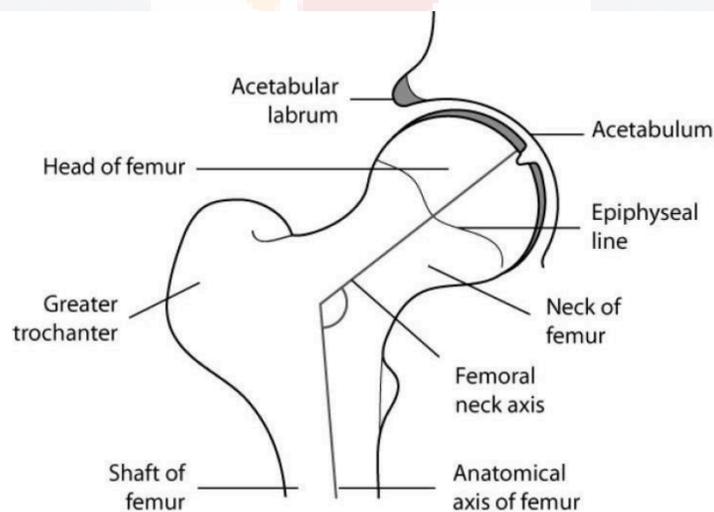


Ilustración 3 Sección de la articulación coxofemoral (Shulte, Shuencke, & Shumacher, 2005)

2.3 Anatomía Capsular

Las superficies articulares se mantienen en contacto mediante una cápsula articular y ligamentos. La cápsula de la articulación coxofemoral contribuye de forma significativa a la estabilidad articular y está formada por tres ligamentos. En su parte anterior el ligamento iliofemoral, en forma de “Y” invertida se origina en el reborde del acetábulo y se inserta en la línea intertrocantérea. Es el ligamento más resistente del organismo. Inferior y posterior al ligamento iliofemoral, el ligamento pubofermoral constituye la parte anteroinferior de la cápsula. Finalmente, la parte posterior de la articulación queda cubierta por el ligamento isquiofemoral. La localización de las fracturas de cadera respecto a la cápsula articular tiene consecuencias importantes en su potencial de consolidación. Las fracturas del cuello femoral se consideran fracturas intracapsulares y consolidan mediante consolidación intraósea debido a que la ausencia de riego sanguíneo extraóseo (perióstico) impide la formación de callo. Tienen un riesgo de pseudoartrosis más elevado que las fracturas extracapsulares debido a que el foco de fractura puede estar cubierto por líquido sinovial. Las fracturas transtrocantéricas se consideran fracturas extracapsulares. Debido a la ausencia de líquido sinovial y la presencia de un flujo sanguíneo importante la pseudoartrosis es poco frecuente en este tipo de fracturas que suelen formar un callo óseo abundante. (Shulte, Shuencke, & Shumacher, 2005)

2.4 Fractura

Las fracturas transtrocantericas de fémur proximal son fracturas extracapsulares localizadas en un área comprendida entre la base de implementación del cuello femoral, y el trocánter mayor. representan la mitad del total de fracturas de cadera en ancianos. (Karagas, Lu-Yao, Beach, & Baron, 1996) La incidencia anual se estima en 63 casos por cada 100, 000 mujeres y 34 casos por 100, 000 varones, todos de la población mayores de 60 años. (Karagas, Lu-Yao, Beach, & Baron, 1996)

La región trocantérea dispone de un flujo sanguíneo abundante, lo que hace que las fracturas localizadas en esta área sean poco susceptibles a la necrosis avascular y a la pseudoartrosis que las fracturas del cuello femoral. Las fracturas localizadas justo por encima de la línea intertrocanterica, llamadas fracturas basicervicales, presentan un mayor riesgo de necrosis avascular por ser intracapsulares, y consolidación viciosa por la frecuente rotación del cuello femoral durante la inserción del implante que las fracturas transtrocantericas, pero los principios para su tratamiento son aplicables en ambos casos. (Karagas, Lu-Yao, Beach, & Baron, 1996)

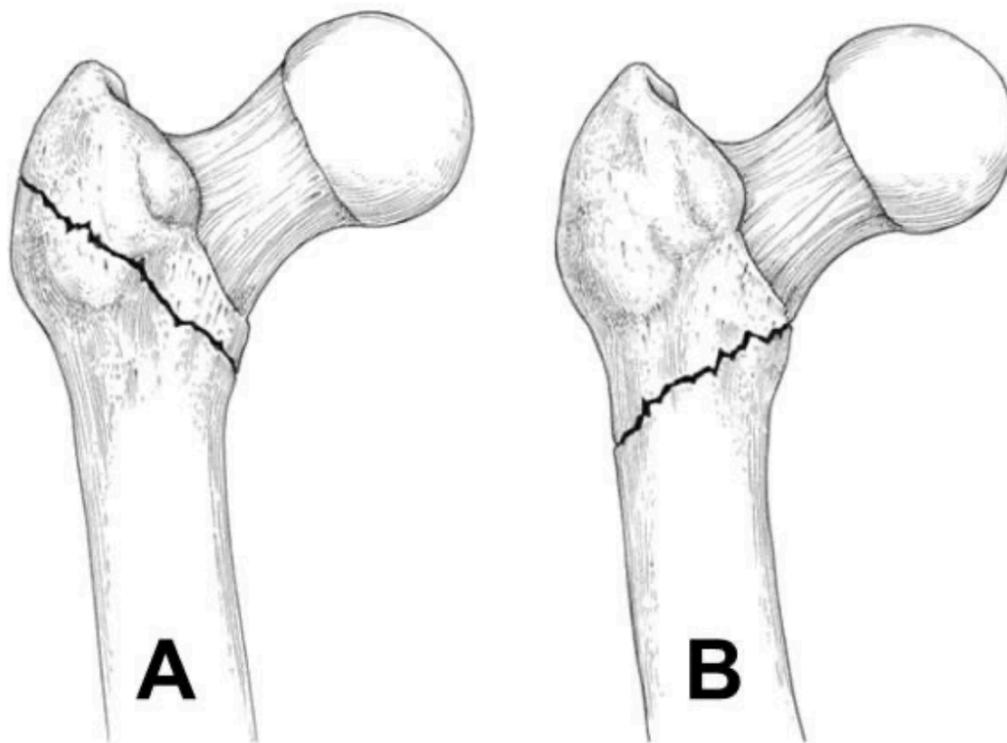


Ilustración 4 Fracturas transtrocantericas de cadera. A= fractura con trazo oblicuo estándar (tipo I de Evans); B= fractura con trazo oblicuo inverso (Tipo II de Evans). (Evans, 1949)

2.5 Mecanismo de Lesión

Existen 4 factores que desencadenan este tipo de lesiones (Roberts K, 2015):

- La velocidad de deambulaci3n d (Roberts K, 2015)el adulto mayor disminuye, condicionando a caídas laterales y no frontales.

- La capacidad de respuesta protectora del cuerpo, por la disminución del tiempo de reacción, debilidad y desorientación.
- Disminución de masa muscular y grasa, que sirven como estructuras de absorción y disipación de energía.
- Desmineralización del hueso.

Se puede apreciar, que cada uno de estos factores, son propios, o incrementan de manera considerable con la edad en los humanos, siendo más evidentes cuando la población supera los 60 años de edad.

2.6 Osteosíntesis

El tratamiento conservador, o tratamiento no quirúrgico, debe reservarse solamente cuando sea inaceptable el riesgo de mortalidad perioperatoria relacionada con la anestesia o la intervención. (Aguilar, 2019)

El tratamiento elegido para las fracturas transtrocantericas, consiste en realizar una estabilización quirúrgica. El objetivo a corto plazo es obtener una fijación suficientemente estable para iniciar las transferencias, movilización y carga parcial de forma temprana. El objetivo a largo plazo será el de restaurar el nivel de independencia y función móvil del paciente previo a la cirugía. (Jacobs R, 1980)

A la unión mediante un elemento mecánico externo al cuerpo para la estabilización de la fractura se le llama osteosíntesis. (Jacobs R, 1980)

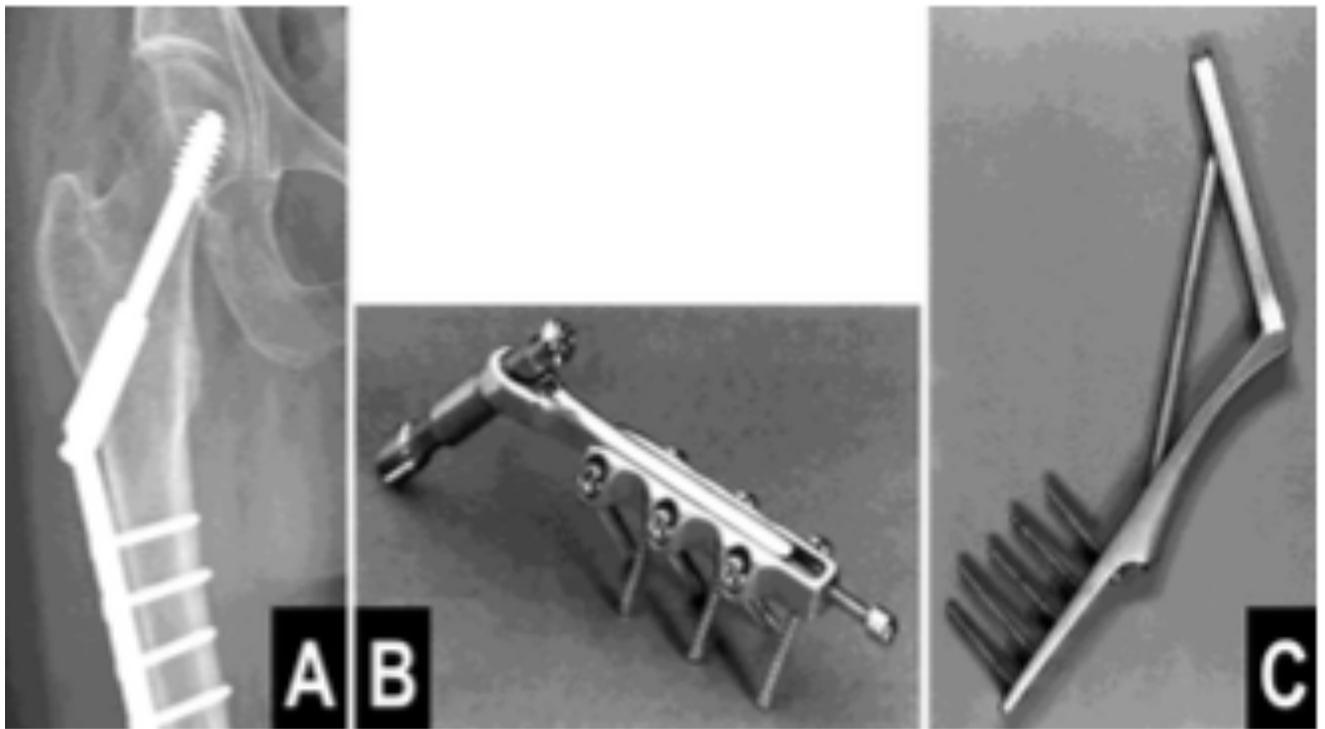


Ilustración 5 A= Tornillo deslizante de cadera; B) placa Medoff; C= Placa RAB (Jacobs R, 1980)

El desarrollo del tornillo dinámico o tornillo deslizante, DHS (Dynamic Hip Screw) por sus siglas en inglés, supuso un avance en el tratamiento de las fracturas transtrocantericas y aún lo es en la actualidad. Se ha considerado como patrón oro de tratamiento en algunos tipos de fractura. (Ilustración 1) En fracturas estables el tornillo deslizante actúa a modo de banda de tensión lateral, transmitiendo las fuerzas a través de la cotilla medial. En patrones inestables, el deslizamiento del tornillo permite la importación del foco de fractura,

disminuyendo el brazo de palanca, para una idea más clara se presenta la Ilustración 6.

(Jacobs R, 1980)

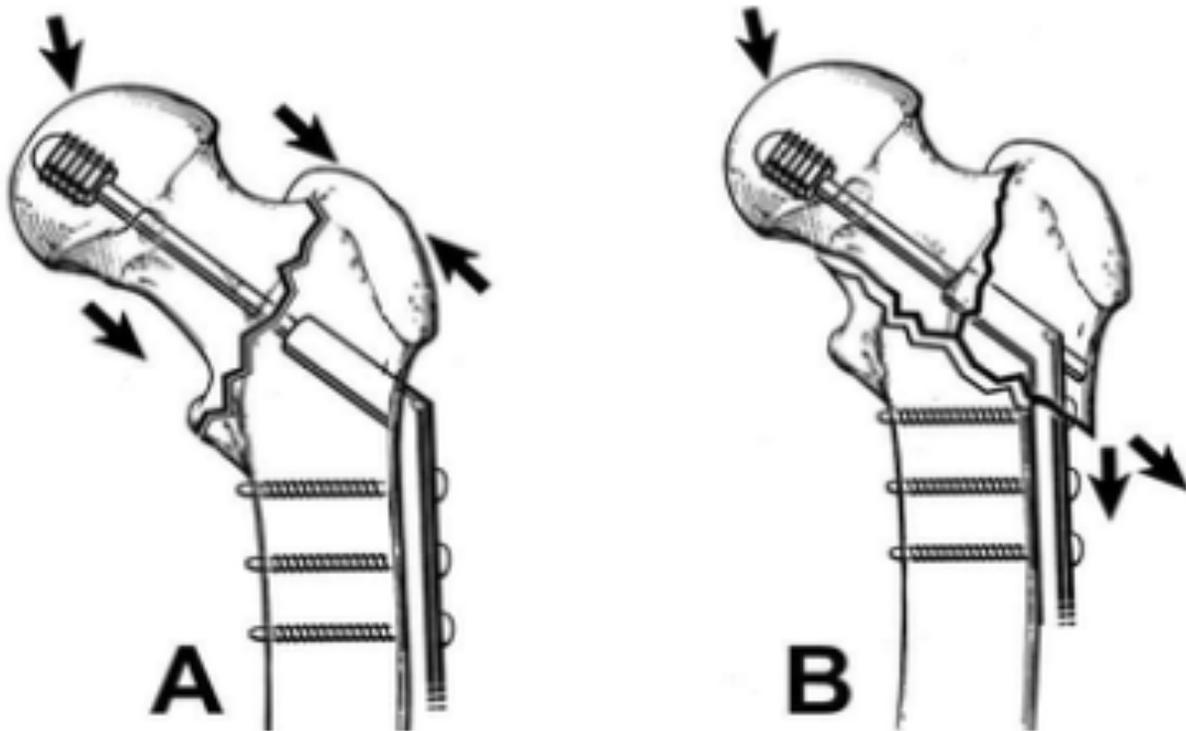


Ilustración 6 Patrones de deslizamiento del tornillo cérvico-cefálico. A= en patrones de fractura estables el deslizamiento del tornillo produce compresión en el foco de fractura; B= en patrones inestables el deslizamiento excesivo conlleva desplazamiento lateral. (Rha, Kim, Yoon, Park, & Lee, 2010)

2.7 Inteligencia Artificial

Los autores Russell y Norvig, recopilan definiciones de Inteligencia Artificial procedentes de varios autores, pero las organizan en 4 categorías: (Russell & Norvig, 2015)

- Sistemas que piensan como humanos
- Sistemas que piensan racionalmente
- Sistemas que actúan como humanos
- Sistemas que actúan racionalmente

Son la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades de decisión que el ser humano. Una tecnología que al público en general le resulta lejana y misteriosa, pero que desde hace varios años está presente en nuestro día a todas horas. (Russell & Norvig, 2015)

Estrictamente, la “inteligencia artificial” es una rama de la informática, representa un conjunto de disciplinas de software, lógica, filosofía y estadística, destinadas a hacer que una computadora realice funciones que se pensaban exclusivas para los humanos, tales como percibir el significado en el lenguaje escrito o hablado, aprender, reconocer, expresiones faciales, entre otras. (Russell & Norvig, 2015)

Las áreas de interés para la inteligencia artificial son generalmente áreas que son parte de la vida cotidiana de la humanidad, pero que se requieren de ciertas aplicaciones para mejorar el desempeño de las tareas o incluso el poder manejar grandes cantidades de datos. Ejemplos de estas áreas son las climáticas, con las cuales se busca reducir el consumo energético, combatir la deforestación y pronosticar el clima para cierta región. Aplicaciones que van desde las agrícolas hasta la construcción. Algunos otros ejemplos de áreas en las que la inteligencia artificial ayuda, son las finanzas, la educación, el área comercial, salud, y durante esta época, incluso los asistentes personales virtuales requieren de inteligencia artificial para comprender y resolver la solicitud. (Russell & Norvig, 2015)

2.7.1 Aprendizaje automático

El aprendizaje automático es una disciplina dentro del campo de la Inteligencia Artificial que, por medio de algoritmos, proporciona a los dispositivos computacionales, la capacidad de identificar patrones a partir de una cantidad de datos importante, con el fin de hacer predicciones. Este método de aprendizaje permite a los dispositivos computacionales, realizar tareas asignadas y específicas de forma autónoma. (Alpaydin, 2014)

El aprendizaje automático, se divide en tres principales ramas o tres diferentes tipos de aprendizaje. (Alpaydin, 2014)

Aprendizaje supervisado. Estos algoritmos tienen un aprendizaje previo incorporado y se basan en un sistema de etiquetas asociado con datos que les permiten tomar decisiones o hacer predicciones. Un ejemplo es un detector de correo malicioso o no deseado, que etiqueta un correo electrónico como aceptable o no, dependiendo de los patrones que ha aprendido del historial de correos electrónicos (remitente, relación de texto / imagen, palabras clave del asunto, etc.).

Aprendizaje no supervisado: Estos algoritmos no tienen conocimiento previo. Se enfrentan a un caos de datos con el objetivo de encontrar patrones que, de alguna manera, permitan su organización. Por ejemplo, en el campo del mercadeo, se utilizan para extraer patrones de datos masivos obtenidos de las redes sociales y para crear campañas publicitarias altamente segmentadas.

Aprendizaje reforzado: Su objetivo es que un algoritmo aprenda de su propia experiencia. En otras palabras, podrá tomar la mejor decisión en diferentes situaciones de acuerdo con un proceso de prueba y error en el que se otorgan las decisiones correctas. Actualmente se utilizan para permitir el reconocimiento facial, hacer diagnósticos médicos o clasificar secuencias de ADN.

2.7.2 Clasificadores

Obtener información, se logra a través de la observación. Cada vez que se observa una población sea de comportamientos, fenómenos, o cualquier otro tipo de datos, se busca aprender para poder aplicar este conocimiento generalmente para evaluar opciones o tomar decisiones. En el aprendizaje automático supervisado, se identifican características para asignar una observación nueva a uno de los conjuntos de categorías, en el que encajen estas características. (Kotroumbas & Theodoris, 2008)

Las características se conocen como variables explicativas o propiedades cuantificales. Al proceso o problema de identificar a qué conjunto o clase pertenece una nueva instancia observada, se le conoce como clasificación. al algoritmo que implementa una clasificación, especialmente en una implementación concreta, se conoce como clasificador. (Kotroumbas & Theodoris, 2008)

Los clasificadores, en el aprendizaje automático supervisado, parten de diversas bases teóricas las cuales propician diferentes enfoques de reconocimiento de patrones, las principales bases teóricas son:

Enfoque estadístico-probabilístico. Basado principalmente en la teoría de la probabilidad condicional. De este enfoque han surgido modelos como el clasificador Bayesiano, el clasificador bayesiano ingenuo y las redes bayesianas

Clasificadores basados en métricas. En este enfoque se aprovechan las propiedades de las métricas para realizar la clasificación de patrones; se destacan los clasificadores de distancia mínima (clasificador Euclidiano) y los clasificadores de los vecinos más cercanos (k-NN).

Clasificadores basados en árboles de decisión: los cuales pueden definirse como modelos de clasificación que capean los rasgos de un patrón (los cuales se modelan en las ramas del árbol) a conclusiones acerca del valor de la clase del patrón (las hojas del árbol).

Enfoque neuronal. Este enfoque propone modelos que realizan la tarea de clasificar o recuperar patrones a partir de la representación matemática de las neuronas y sus interconexiones.

Enfoque asociativo. Este enfoque surgido en el año 2002 en el Centro de Investigación en Computación ha aprovechado las características de algunos modelos de memorias asociativas, en especial las Alfa-Beta, para generar más de una decena de modelos originales que han logrado resultados competitivos con respecto a modelos importantes en el estado del arte del reconocimiento de patrones.

2.7.3 Teorema de Bayes

El teorema de Bayes, convierte la probabilidad a priori en probabilidad a posteriori basándose en el patrón que será clasificado y en los valores de verosimilitud. Sean los eventos A_1, A_2, \dots, A_n tales que forman una partición del espacio muestran X y sea B un evento instancia dentro de este mismo espacio, entonces:

$$P(A|B) = P(A) P(B|A) / P(B) = P(B|A) * P(A) / \sum_{i=1}^n P(B|A_i) * P(A_i)$$

Donde $P(A)$ define el conocimiento previo del problema, la probabilidad $P(B|A)$, o la verosimilitud, defina la probabilidad de que ocurra B si se tiene todo el conocimiento previo de toda la partición y la verosimilitud de cada evento A siguiente; Típicamente la evidencia es utilizada como un factor de normalización. $P(A/B)$ es la probabilidad de que ocurra el evento A dado B . Lo anterior se puede expresar:

$$\text{posterior} = \text{a priori} * \text{verosimilitud} / \text{evidencia}$$

Para aplicar el teorema de Bayes, es necesario que los eventos estén expresados en términos de variables aleatorias y distribuciones de probabilidad; por lo tanto, para conocer el valor de probabilidad posterior, es necesario conocer las distribuciones de probabilidad del problema a resolver y todas las probabilidades previas. Si se desea utilizar este teorema para construir un clasificador de patrones, es necesario que las clases y los patrones sean modelados como variables aleatorias. A partir de esta representación la clasificación se hace de la siguiente forma: Un patrón x el cual está representado por la variable aleatoria X ,

pertenece a la clase i representada por la variable aleatoria C_i , si la probabilidad de que pertenezca a la clase C_i es mayor que la probabilidad de pertenecer a otras clases. (Murty, 2011)

Para que un algoritmo de este tipo funcione, se requiere disponer de todo el conocimiento previo de todas las clases y sus correspondientes distribuciones, de probabilidad. Por lo tanto, se han propuesto el siguiente algoritmo para clasificador Bayesiano. (Murty, 2011)

2.7.4 Clasificador Bayesiano

El clasificador Bayesiano, o también llamado clasificador de máxima verosimilitud, es famoso en el reconocimiento de patrones porque está considerado como el clasificador óptimo, debido a que minimiza la probabilidad promedio del error. Este modelo de clasificación asume que la información de las clases está en forma de probabilidades previas y que se conoce la distribución de los patrones en las clases; esto implica que el clasificador usa la probabilidad posterior, para asignar la clase a los patrones.

Los pasos para generar un clasificador Bayesiano son los siguientes

1. Obtener una muestra representativa de los objetos a clasificar.
2. Determinar cada una de las clases C_k que formarán parte del sistema.
3. Determinar, con base en la muestra y el número de conceptos de cada clase, las probabilidades de las clases $P(C_k)$.

4. Determinar los rasgos útiles que se van a utilizar para clasificar, y elaborar cada distribución de probabilidad $P(X|C_k)$, la cual va a ser dependiente del número y naturaleza de cada rasgo de la variable aleatoria vectorial X .
5. Aplicar la siguiente regla de clasificación para un patrón desconocido de entrada X :

$$\mathbf{X} \in \mathbf{C}_i \text{ si } P(\mathbf{C}_i|\mathbf{X}) > P(\mathbf{C}_j|\mathbf{X}) \text{ donde } i \neq j$$

En caso de que la estadística estuviera completa, este modelo de clasificación se considera el óptimo, pero pocas veces se cuenta con los datos o la estadística completa del problema de clasificación. Por lo tanto, se han propuesto modificaciones al modelo original que buscan solventar esta debilidad. Una de las modificaciones, bastante popular en la comunidad científica del reconocimiento de patrones, es el clasificador bayesiano ingenuo. (Murty, 2011)

2.7.5 Clasificador Bayesiano Ingenuo

En términos generales, el clasificador ingenuo de Bayes, es un modelo probabilístico, basado en el teorema de Bayes, en donde se asume la independencia estadística entre las características o rasgos de los patrones; esta consideración simplifica los cálculos y es la razón por la cual se le considera ingenuo. De no usarse esta consideración, la cantidad de datos necesarios para construir un clasificador sería muy grande como se mencionó

anteriormente; por ejemplo, si se tuvieran P puntos, muestras o patrones para construir una buena estimación de una función de densidad de probabilidad para una sola dimensión de los patrones, mayor será la necesidad de los datos. (Murty, 2011)

Si retomamos la hipótesis de independencia estadística entre los n rasgos de un patrón, obtenemos la siguiente ecuación:

$$P(C_k|x_1, \dots, x_n) = P(C_k) \text{ product of } p(x_i|C_k)$$

Al asumir la independencia de las variables, se reduce drásticamente la necesidad de datos para el entrenamiento del clasificador; por ejemplo, para estimar n funciones de densidad de una sola dimensión, sólo se necesitarán nP puntos o muestras. Finalmente, el clasificador bayesiano ingenuo, clasificará un patrón cuya clase desconoce, a pesar de que esta suposición no suele ser real, se ha observado que este modelo ofrece buenos resultados al ser comparado con modelos como las redes neuronales o los árboles. Cabe destacar que además de ofrecer buenos resultados, este modelo es capaz de ejecutarse con relativa rapidez en grandes bancos de datos. (Murty, 2011)

2.8 iOS

Viene de internet Operating System, y es el sistema operativo que se utiliza en los dispositivos inteligentes de Apple llamados iPhone. Es el segundo sistema operativo más usado en el mundo después de Android.

Utiliza una interfaz multitáctil en la que el dispositivo se opera con simples toques y gestos con los dedos, una basta parte de la población ya está familiarizada con el uso de estos dispositivos y estas interfaces. (Apple, 2020)

El sistema se constituye a parter de un Home Screen que es el contenedor de aplicaciones, todas las configuraciones y aplicaciones del sistema son accesibles a travez de una aplicación, que se comporta igual que una aplicación por un tercero. (Murty, 2011)

Se utilizó el IDE Xcode con el lenguaje de programación Swift, que es el IDE oficial de apple para aplicaciones iOS, es posible utilizar otras plataformas con sus propios lenguajes, tales como ReactNative-JavaScript, Flutter-Dart, Xamarin-C#, Unity-C++ entre otras. pero al final se tienen que portar el proyecto a Xcode para firmarlo con los perfiles y llaves propios de la cuenta de desarrollador.

2.9 Swift

Swift es un lenguaje de programación de propósito general, creado con un enfoque moderno de seguridad buen rendimiento y patrones de diseño de software. (Apple, 2020)

El objetivo es crear el mejor lenguaje disponible para usos que van desde la programación de sistemas, hasta aplicaciones móviles y de escritorio, ampliando a servicios en la nube. Lo más importante, Swift está diseñado para facilitar la escritura y el mantenimiento de programas correctos para el desarrollador. Para lograr este objetivo, Swift tiene 3 pilares con los que se creó y con los que se espera que se escriba el código. (Apple, 2020)

Seguro. La forma más obvia de escribir código también debe comportarse de manera segura. El comportamiento indefinido es enemigo de la seguridad, y los errores del desarrollador deben detectarse antes de que el software esté en producción. Optar por la seguridad a veces significa que Swift se sentirá estricto, pero a largo plazo, la claridad ahorra tiempo. (Apple, 2020)

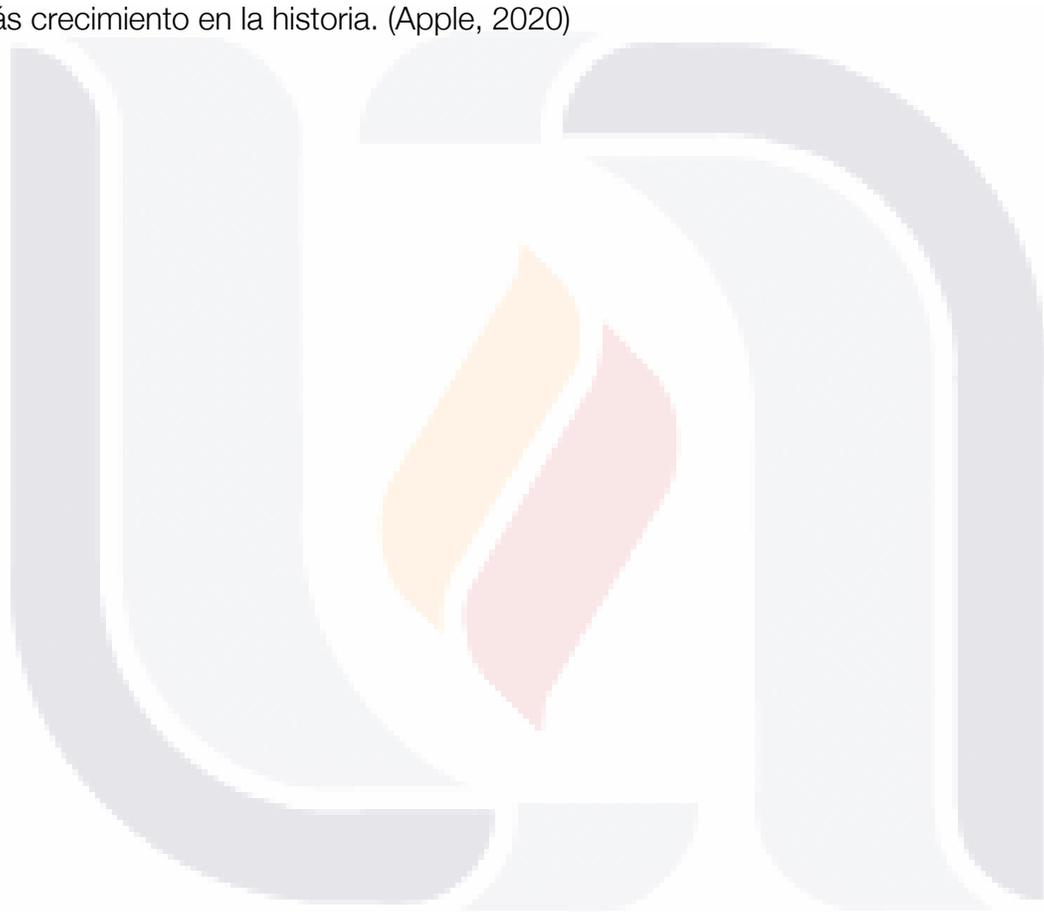
Rápido, Swift está destinado a reemplazar lenguajes basados C, C ++ y Objective-C). Como tal, Swift debe ser comparable a esos idiomas en rendimiento para la mayoría de las tareas. El rendimiento también debe ser predecible y consistente, no solo rápido en ráfagas cortas que requieran una limpieza posterior. Hay muchos idiomas con características novedosas; ser rápido es raro. (Apple, 2020)

Expresivo. Swift se beneficia de décadas de avance en ciencias de la computación para ofrecer una sintaxis que es un placer usar, con características modernas que serán útiles para los desarrolladores, para que esta expresividad no caduque, el proyecto del lenguaje

es Open-Source, lo que significa que evolucionará continuamente para mejorar aún más.

(Apple, 2020)

Al tiempo de escritura de este documento, la versión del lenguaje estable y soportada es la 5.2. El lenguaje fue anunciado en 2014 y rápidamente se convirtió en uno de los lenguajes con más crecimiento en la historia. (Apple, 2020)



Capítulo 3. Metodología

A continuación se presenta un diagrama, mapeando los pasos utilizados para el desarrollo del algoritmo, en resumen, se recuperan datos, se crea el algoritmo y se verifica el funcionamiento de dicho algoritmo.

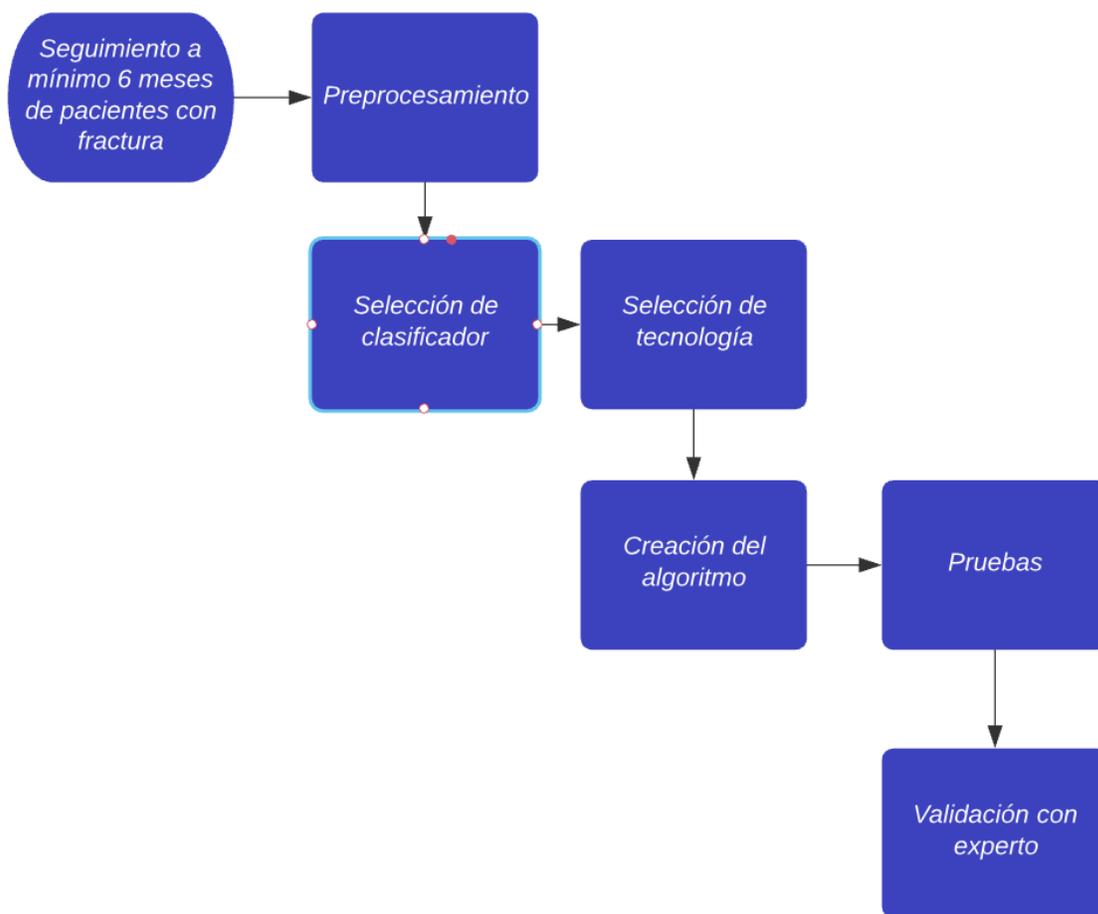


Ilustración 7 Metodología

Enseguida se explican cada uno de los bloques de la metodología, después de lo cuál se presentarán los resultados a los que se llegó.

3.1 Seguimiento a 6 meses de pacientes con fractura

Se realizó un estudio retrospectivo de casos y controles. El grupo de control incluye individuos que fueron sometidos a osteosíntesis de fracturas transtrocantericas y no presentaron fallo, los casos son aquellos que fueron sometidos pero que sí presentaron fallo.

Se obtuvieron los datos a través de una búsqueda de sujetos con diagnóstico de fractura transtrocanterica con base en el sistema de expediente electrónico del Centro Hospital Miguel Hidalgo, de enero de 2014 a julio de 2019 de acuerdo con los siguientes criterios de selección:

Criterios de Inclusión: Personas de ambos sexos, mayores de 60 años, operadas en el Centro Hospital Miguel Hidalgo para el tratamiento de fracturas transtrocantericas con tornillo de compresión dinámica con un seguimiento mínimo de 6 meses con expediente clínico y radiográfico completo.

Criterios de Exclusión: Pacientes menores de 59 años, atendidos en sector privado, pacientes que recibieron tratamiento conservador o que contaron con expediente clínico y radiográfica incompleto. Sujetos con fracturas en terreno previamente patológico o con deformidades angulares preexistentes, así como pacientes con re intervenciones quirúrgicas.

El conjunto de datos comprende ciertas variables predictorias o independientes, con las que se alimenta el algoritmo, y se trabaja con la predicción de la evolución de la fractura como variable dependiente.

3.2 Preprocesamiento

Se evaluaron las variables para identificar sus posibles valores, y se era necesario discretizar algunas de ellas, debido a que el rango de edades es basto, se tomó la decisión de discretizar esta variable en 3 grupos. Las edades se agruparon en los que van de los 60 a los 65 años, de los 66 a los 79 años y de los 80 años en adelante. La discretización es una herramienta muy útil en aprendizaje supervisado, el objetivo es lograr que los datos pertenezcan a un grupo, y no sean un ente aislado por sí mismo.

Enseguida se muestran las definiciones conceptuales y operacionales de las variables independientes.

1) **Sexo.** Es el género biológico del paciente. En este caso se divide en:

Femenino

Masculino

2) **Edad.** Es el tiempo de vida medido en años, se agruparon en 3 grupos que van de los 60 a los 65 años, de los 66 a los 79 años y de los 80 años en adelante.

3) **Índice de Masa Corporal.** Es el peso en kilogramos dividido por el cuadrado de la talla en metros (kg/m²). Es un índice utilizado frecuentemente para clasificar el sobrepeso y la obesidad en adultos. La OMS define el sobrepeso como un IMC igual o superior a 25, y la obesidad como un IMC igual o superior a 30.) (WHO, 2019)

4) **Tabaquismo.** Enfermedad adictiva crónica que evoluciona con recaídas. La nicotina es la sustancia responsable de la adicción, actuando a nivel del sistema nervioso central. Los posibles valores son positivo o negativo.

5) **Enfermedades crónico-degenerativas.** Las enfermedades crónicas son enfermedades de larga duración y por lo general de progresión lenta. (WHO, 2019) a continuación se enumeran las enfermedades que se toman en cuenta en este estudio.

a) **Diabetes mellitus tipo 2.** Incapacidad del cuerpo para utilizar eficazmente la insulina, lo que a menudo es consecuencia del exceso de peso o la inactividad física.

b) **Hipotiroidismo.** Afección en la cual la glándula tiroides no produce suficiente hormona tiroidea. Esta afección a menudo se llama tiroides hipoactiva.

c) **Hipertiroidismo.** Condición en la cual existe demasiada hormona tiroidea en el organismo. En otras palabras, la glándula tiroides está hiper-activa.

- d) **Insuficiencia renal etapa terminal.** Incapacidad de filtrado glomerular, etapa terminal menos de 15 %
- e) **Hipertensión arterial.** Trastorno en el que los vasos sanguíneos tienen una tensión persistentemente alta, lo que puede dañarlos a ellos y a otros órganos en el cuerpo.
- f) **Enfermedad Oncológica Concomitante.** Cáncer, con tratamiento concomitante, es decir, con medicamento más radioterapia.

- 6) **Tiempo transcurrido entre la lesión y el evento quirúrgico categorizado de la siguiente forma:**
 - a) menos de 48 hrs posterior a la lesión
 - b) más de 48 hrs posterior a la lesión

Variables basadas en la literatura

- 1) **Fracturas estables AO A1.1 a la A2.1 (Evans I) e inestables A2.2 a la A2.3 (Evans II) Índices de falla de osteosíntesis de fracturas transtrocantericas. (Evans, 1949)**
- 2) **Índice Punta Apex (Baumgaertner) (mayor a 25 = falla) (Goffin, Jenkins, Ramaesh, Pankaj, & Simpson, 2013)**
 - a) Bueno
 - b) Malo

3) Índice Punta Apex modificado al calcar (mayor a 20 mm = falla) (Goffin, Jenkins, Ramaesh, Pankaj, & Simpson, 2013)

- a) Bueno
- b) Malo

4) Índice de Parker (mayor a 40 en proyección radiográfica AP). (Parker, 1992)

- a) Bueno
- b) Malo

5) Reducción en varo (Fogagnolo) interpretación reducción menor a 135° de ángulo cervicodiafisario posquirúrgico inmediato. (Fogagnolo, Kfuri, & Paccola, 2004)

- a) Bueno
- b) Aceptable
- c) Malo

Variable Dependiente

6) Falla de la osteosíntesis

- a) Sí
- b) No

Para obtener los valores de las variables, se obtuvieron datos del hospital, con un mínimo de 6 meses para valorar complicaciones o fallo de la osteosíntesis asociada a los resultados radiográficos evaluados en el postoperatorio inmediato.



	E	G	E	IMC	TA	CD	TI	IPA	IPAM	IP	Fogagnolo	Falla	Muerte
1	Inestable	Femenino	>79	Obesidad	Negativo	-	<48H	Malo	Malo	Malo	Aceptable	Sí	Sí
2	Estable	Masculino	>79	Normal	Negativo	-	>48H	Malo	Malo	Malo	Bueno	No	No
3	Inestable	Femenino	>79	Sobrepeso	Negativo	Varios padecimientos	>48H	Malo	Malo	Malo	Malo	Sí	No
n	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Tabla 1 Extracto de la tabla con la base de datos recopilada, la tabla completa se anexa al final del documento

Significado de los encabezados de la tabla

E. Se refiere al índice Evans.

G. Se refiere al género del paciente.

E. Se refiere al grupo de edad del paciente.

IMC. Se refiere al índice de masa corporal.

TA. Se refiere al tabaquismo.

CD. Se refiere a las enfermedades crónico-degenerativas.

TI. Se refiere al tiempo transcurrido desde la fractura hasta la intervención.

IPA. Se refiere al índice Punta Apex.

IPAM. Se refiere al índice Punta Apex Modificado

IP. Se refiere al índice Parker.

3.3 Selección del clasificador

De las diversas técnicas para desarrollar clasificadores, el enfoque probabilístico bayesiano, provee un marco formal para construir clasificadores óptimos bajo los criterios de reducción de errores en clasificación y costos de mala clasificación. se sabe que si se aplica de forma directa, la complejidad computacional en memoria y tiempo crece exponencialmente con el número de atributos y objetos, pero afortunadamente existe la alternativa de la familia de clasificadores bayesianos simples, que asumen que todos los atributos de un objeto son estadísticamente independientes dada la clase. Esto hace que la complejidad crezca linealmente con el número de atributos y sea computacionalmente eficiente. (Murty, 2011)

Al analizar el rendimiento de la competitividad entre 6 diferentes clasificadores bayesianos, en estudios experimentales con bases de datos con características variadas y tolerancias al incremento de atributos irrelevantes, midiendo la precisión de la clasificación ante la contaminación incrementada, se encontró que el Clasificador de Bayes Ingenuo es competitivo en cuanto a la clasificación con el resto de los algoritmos. Es incluso más tolerante a la presencia de atributos irrelevantes. Tiene el mejor promedio del área bajo la curva. Las diferencias con el resto de los clasificadores no son significativas. Todo ello es evidencia a favor, de que el Clasificador de Bayes Ingenuo continúa siendo una opción viable y una alternativa competitiva a otros clasificadores bayesianos.

La simplicidad y eficiencia computacional son una prioridad para desarrollar la aplicación. Por lo que el Clasificador de Bayes Ingenuo es elegido para realizar el algoritmo

3.4 Selección de la tecnología

Para trasladar el algoritmo clasificador de bayes ingenuo a código en el lenguaje de programación se optó por usar patrón de diseño de software singleton, que restringe la instanciación de una clase a un a instancia única.

La aplicación es al final un sistema, y un sistema es la suma total de las partes que existen o funcionan independientemente, pero que conjuntamente trabajan para lograr productos o resultados requeridos, basándose en las necesidades. Los componentes más básicos de los sistemas son las entradas, los procesos y los resultados.

Se tiene claro que el sistema realizará el proceso de los datos de entrada mediante un algoritmo escrito en un lenguaje de programación, pero surge la necesidad de elegir un método de entrada o recopilación de datos.

Una opción es crear una tabla en algún editor de texto que contenga los valores necesarios, pero se presenta la problemática de cómo asegurarse de que los datos vendrán en el formato esperado, y escaso de que no lo hagan, la posibilidad de perder la exactitud de estos.

Buscando que la selección de los datos de entrada sea precisa y que no se pase por alto alguno de los valores de las variables necesarias, se propone que se le presente al usuario una selección vía opción múltiple de los posibles valores.

El framework que se utilizó se llama UIKit. Existe otra opción de framework para utilizar, se llama SwiftUI, pero por el momento el soporte es limitado.



El elemento que se utiliza para mostrar texto en la pantalla del dispositivo se llama UILabel, y contiene el texto que se requiera en el momento, este puede ser estático o dinámico. Este se utilizaría para indicar al usuario, cuál es la información que se requiere introducir.



Ilustración 8 UILabel

Para introducir la información vía opción múltiple se podrían usar botones, y pasar a la siguiente pantalla una vez presionado el botón. el nombre del elemento es UIButton.

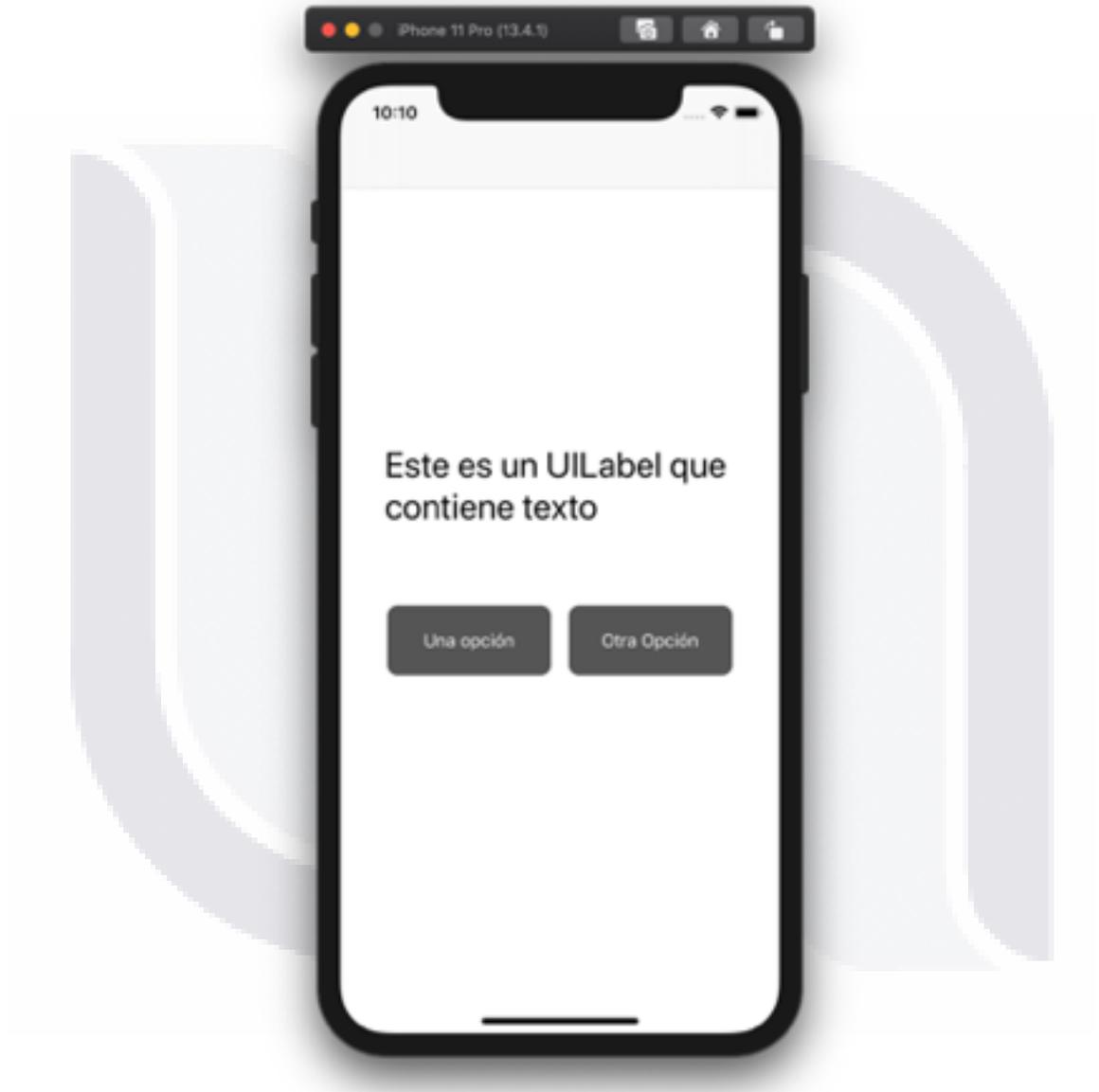


Ilustración 9 UILabel acompañada de dos UIButton

Otra opción puede ser un grupo de UILabels, con un interruptor interconectado, en donde se desactivarían los interruptores que no son el interruptor seleccionado, el nombre del elemento interruptor es UISwitch.



Ilustración 10 UISwitch para seleccionar una de 3 opciones

Se puede también dividir en dos partes, una indicando el tipo de información que se requiere, accionar con un botón a una transición a otra vista con una lista de las opciones a elegir y al elegir una, continuar con el siguiente requisito. La lista tiene el nombre de UITableView, y cada una de las celdas de la lista tiene el nombre de UITableViewCell.



Ilustración 11 UITableView con las opciones

La opción que al parecer ocupa menor espacio en la pantalla es un selector, su nombre es UILabel.



Ilustración 12 UILabel

La opción que se eligió para esta aplicación, es la opción de una tabla que contenga en cada una de sus celdas un UILabel que describa la información que se requiere y un selector con las opciones múltiples para elegir, es el diseño que menos espacio ocupa y se puede utilizar con mayor fluidez.

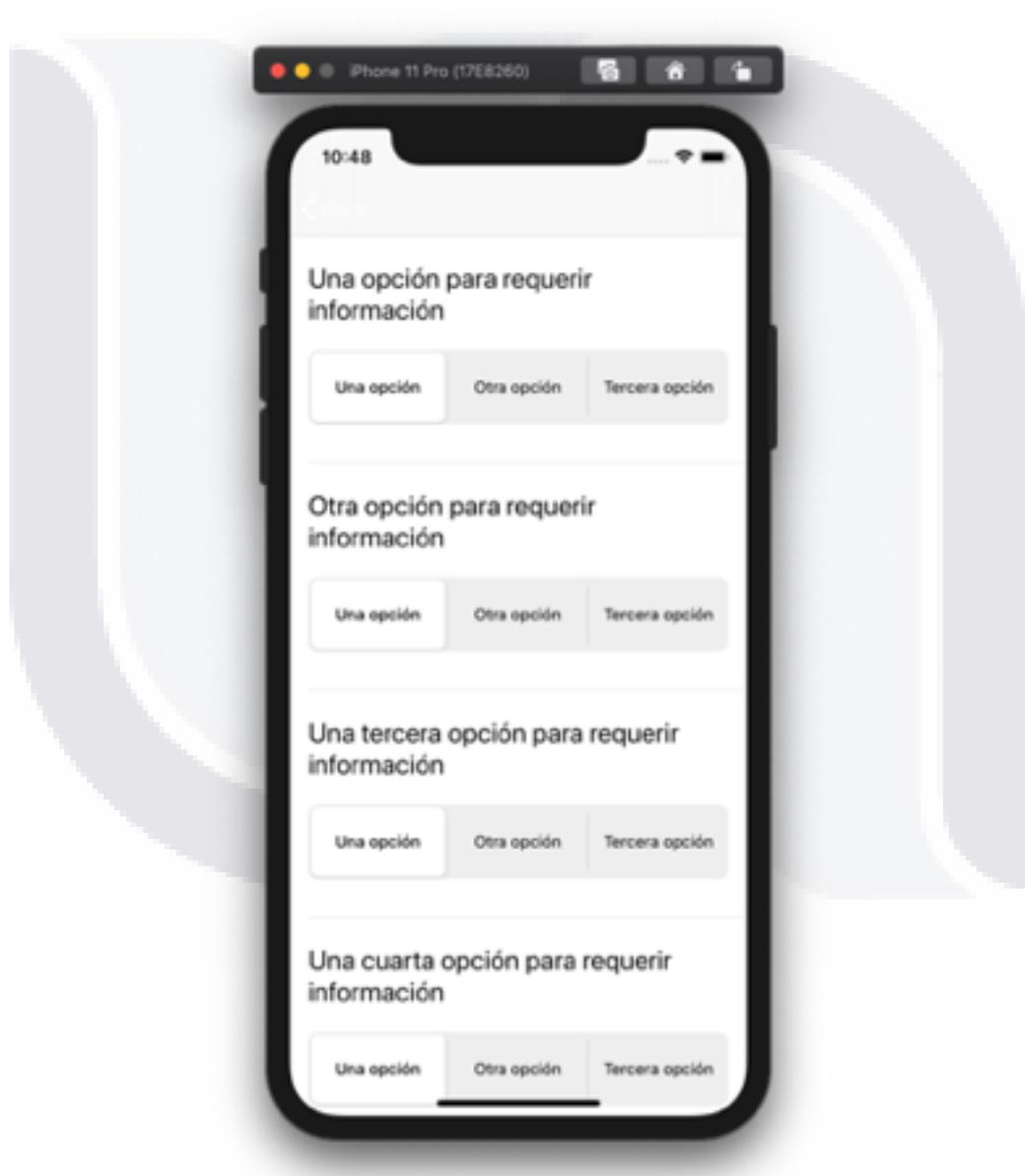


Ilustración 13 Interfaz de usuario seleccionada

Lo ideal para desplegar el resultado, es utilizar UILabels con el resumen de la información que se ingresó, y un UILabel con el resultado obtenido. Para dar más información visual de el tipo de resultado que se obtuvo se puede seleccionar el color rojo para falla o verde para una osteosíntesis correcta en el fondo visual de la leyenda, como se muestra en la figura.



Ilustración 14 Interfaz para mostrar el resultado

3.5 Creación del algoritmo

Se utilizó Swift como el lenguaje de programación, para poder programar la aplicación y poderla utilizar en un dispositivo móvil.

3.6 Pruebas

Para las pruebas, se apartó un grupo de datos que sirvió para validar que el algoritmo funcione, y calificar su certeza.

3.7 Validación

Cómo trabajo futuro, se planea la validación con expertos médicos, y más datos. Es importante que el experto pueda validar tanto la facilidad de uso de la aplicación, así como la fiabilidad o certeza que tiene el algoritmo en la predicción de los resultados, y las ventajas que esto significaría en el uso cotidiano de la aplicación en el ambiente médico.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Creación de la aplicación

La interfaz consiste en dos vistas, la vista de información principal. En adelante Vista-A y la vista para introducir los valores necesarios para el pronóstico, en adelante Vista-B.

La Vista-A, contiene una leyenda indicando si se cálculo ha sido realizado y la información pertinente o una bienvenida para iniciar el proceso, además de un botón que te llevará a la segunda vista. En caso de que el cálculo para el pronóstico ya se haya realizado, el botón para llevar a la segunda vista permanece, pero se añade un indicador para saber si el pronóstico será de una falla para la osteosíntesis o un a osteosíntesis satisfactoria. La Vista-B contiene una lista con celdas re-utilizables; estas celdas muestran un título para indicar la variable de la que se requiere un valor, y un selector para obtener el valor para esa clase; al final o en la parte de abajo de la vista, se encuentra el botón para iniciar el cálculo, si falta alguno de los valores, el cálculo no procede y se despliega un mensaje de error indicando que es lo que falta.

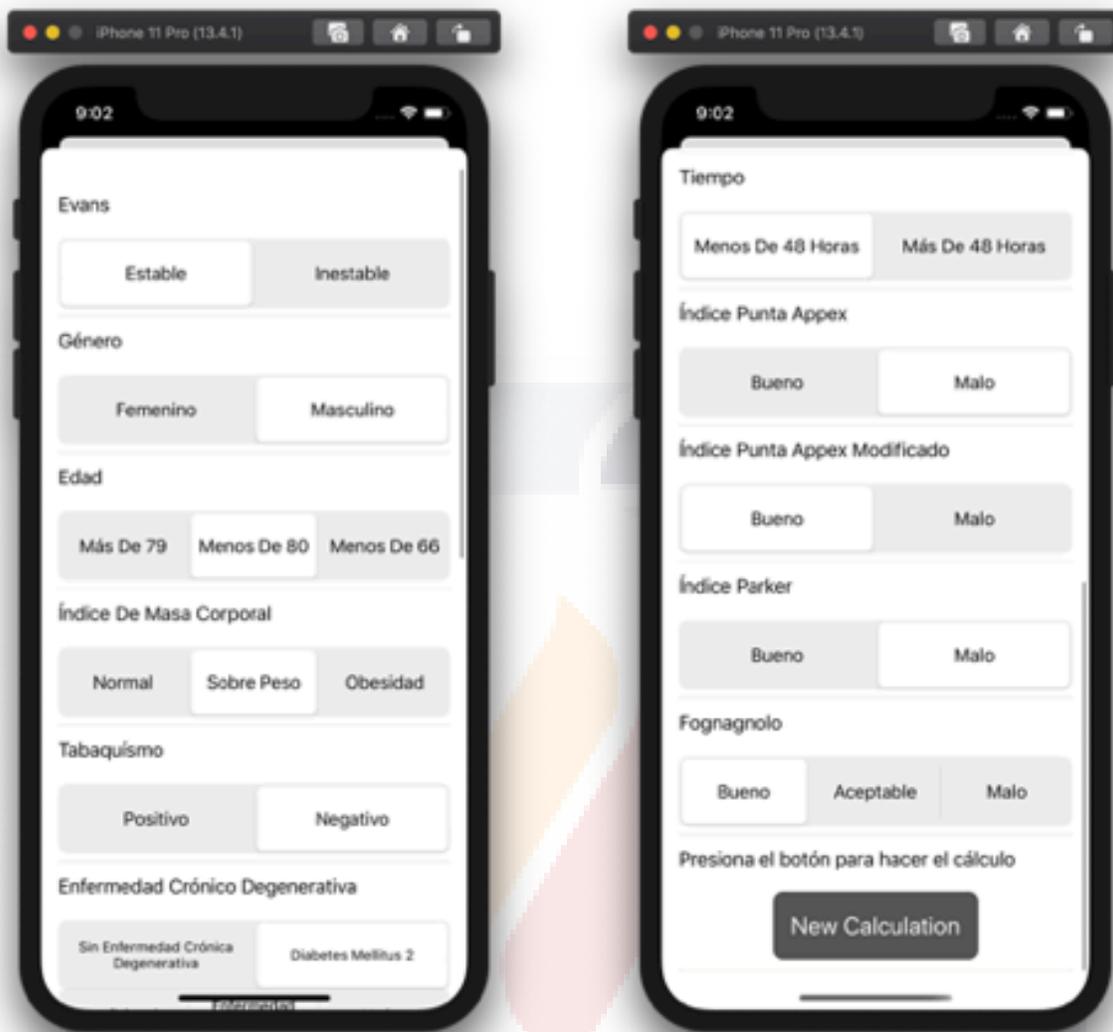


Ilustración 15 Interfaz seleccionada

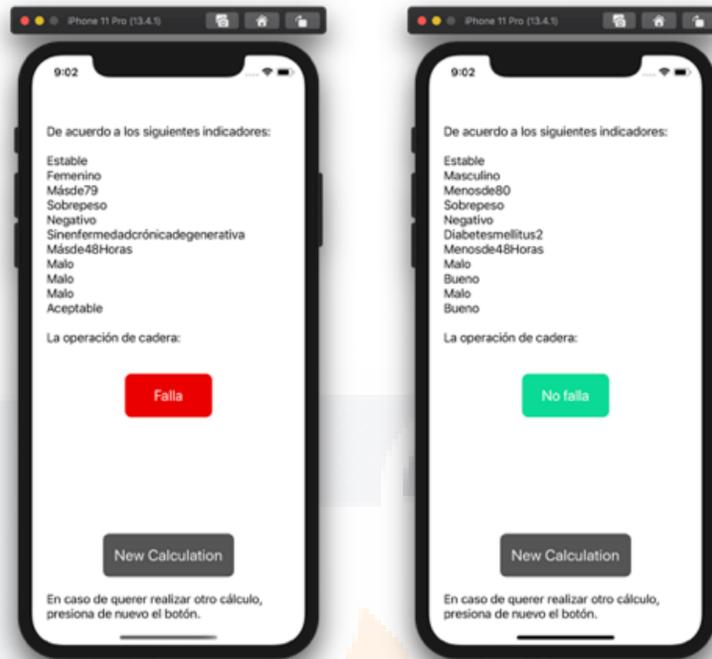


Ilustración 16 Representación del resultado



Ilustración 17 Mensaje de error si los datos de ingreso son incompletos

4.2 Algoritmo

Para lograr el resultado obtenido, se requieren tres funciones o algoritmos; La primera obtendrá las probabilidades del conjunto de variables, este será el hallazgo; La segunda obtendrá la probabilidad a priori de un resultado, esta es la probabilidad de la clase que se busca, y la tercera pondrá a trabajar el Teorema de Bayes Ingenuo al obtener el producto de los factores hallazgo y probabilidad entre la evidencia, este producto será la probabilidad a posteriori.

Se comienza por crear una función que reciba 2 argumentos.

Primero, la matriz que contiene la información de la base de datos. esta información consiste en las columnas de las variables de las que se presume su independencia.

La matriz se recibe como un arreglo de arreglos, y el vector de resultados se recibe como un arreglo; lo que arrojará función, es una matriz con las probabilidades para cada variable con relación a los resultados.

```
func obtenerProbabilidadDeVariablesPorResultado(variablesIndependientes:  
Array<Array<String>>, resultados: Array<String>) ->  
Array<Dictionary<String, Dictionary<String, Double>>> {
```

```

var probabilitiesTable: Array<Dictionary<String,Dictionary<String,Double>>> =
[]
for property in variablesIndependientes {
var propertyTypeTable = [String:[String:Double]]()
for propertyType in property.unique {
print(propertyType)
var valuesTable = [String: Double]()
for result in resultados {
let denominator = (resultados.filter { $0 == result } .count) +
property.unique.count
let numerator = (property.enumerated().filter { $0.1 == propertyType
&& resultados[$0.0] == result } .count) + 1
valuesTable[result] = Double(numerator) / Double(denominator)
}
propertyTypeTable[propertyType] = valuesTable
}
probabilitiesTable.append(propertyTypeTable)
}
return probabilitiesTable
}

```

Ilustración 18 Primera función del algoritmo clasificador

Como se acaba de mencionar, se obtienen las probabilidades de cada variable independiente con respecto o relación a los resultados esperados.

Este algoritmo tiene varios ciclos anidados, pero solo el primero itera sobre el mismo objeto o grupo de objetos y sus características; esto implica que la complejidad del algoritmo es $O(n^2)$. El recorrido de los ciclos siguientes no tiene relación con el ciclo anterior, por lo que estas complejidades son lineales.

A continuación, se muestran las probabilidades de cada variable obtenidos de esta función.

Se incluyen estas probabilidades en las tablas a continuación, porque estas probabilidades serán las mismas para cualquier cálculo hecho en el futuro, son las probabilidades a priori, que se utilizan en el clasificador Bayesiano.

Género	Sí	No
Masculino	1/5	3/8
Femenino	4/5	5/8

Tabla 2 Probabilidades de genero por cada resultado

Edad	Sí	No
Menos de 66	1/8	9/41
Menos de 80	3/8	11/41
Más de 79	1/2	21/41

Tabla 3 Probabilidades de Edad por cada resultado

Tabaquismo	Sí	No
Negativo	2/3	29/40
Positivo	1/3	11/40

Tabla 4 Probabilidades de Tabaquismo por cada resultado

Evans	Sí	No
Estable	4/15	11/40
Inestable	5/12	29/40

Tabla 5 Probabilidades de EVANS por cada resultado

IMC	Sí	No
Normal	1/2	22/41
Sobrepeso	5/16	15/41
Obesidad	3/16	4/41

Tabla 6 Probabilidades de índice de masa corporal por cada resultado

Crónico Degenerativas	Sí	No
Varios Padecimientos	2/9	8/43
Sin Enfermedades Crónicas	7/18	16/43
Oncológica Concomitante	1/18	2/43
Insuficiencia Renal Crónica	5/18	12/43
Diabetes Melitus 2	1/18	5/43

Tabla 7 Probabilidades de enfermedades crónico degenerativas por cada resultado

Tiempo	Sí	No
Menos de 48 horas	7/15	13/40
Más de 48 horas	8/15	27/40

Tabla 8 Probabilidades de tiempo transcurrido por cada resultado

PA	Sí	No
Malo	7/15	3/8
Bueno	8/15	5/8

Tabla 9 Probabilidades de Punta Apex por cada resultado

PAM	Sí	No
Malo	2/3	9/20
Bueno	1/3	11/20

Tabla 10 Probabilidades de Punta Apex Modificado por cada resultado

Parker	Sí	No
Malo	2/3	2/5
Bueno	1/3	3/5

Tabla 11 Probabilidades de Índice Parker por cada resultado

Fogagnolo	Sí	No
Malo	3/16	1/41
Acceptable	9/16	6/41
Bueno	1/4	34/41

Tabla 12 Probabilidades de Índice Fogagnolo por cada resultado

Resultado	Sí	No
Falla	13/51	38/51

Tabla 13 Probabilidades de cada resultado

Se continua con una función que recibe como argumentos, los resultados en un arreglo para obtener su probabilidad.

```
func obtenerProbabilidadesDeResultados(results: Array<String>) -> Dictionary<String, Double> {
    var probabilitiesTable = [String: Double]()
    for result in results.unique {
        probabilitiesTable[result] = Double(results.filter { $0 == result }.count)
    }
    return probabilitiesTable
}
```

Ilustración 19 Segunda función del algoritmo clasificador

Este algoritmo tiene un ciclo solamente, pero dentro de él tenemos una función de alto orden, filter, que es un ciclo en sí, y se aplica a uno de los elementos del objeto del primer ciclo, por lo que su complejidad también es de $O(n^2)$.

Como tercer paso se obtiene el producto de las probabilidades de las variables independientes por la probabilidad de los resultados.

```
func obtenerElProductoDeLosFactores(input: Array<String>, tables: Array<Dictionary<String, Dictionary<String, Double>>>, probabilities: Dictionary<String, Double>) -> (Double, Double) {
    var selectedProbabilitiesYes = [Double]()
    var selectedProbabilitiesNo = [Double]()
    for (index, property) in input.enumerated() {
        let probabilityYes = tables[index][property]?["yes"]
        let probabilityNo = tables[index][property]?["no"]
        selectedProbabilitiesYes.append(probabilityYes ?? 0.0)
    }
}
```

```

        selectedProbabilitiesNo.append(probabilityNo ?? 0.0)
    }
    let yes = selectedProbabilitiesYes.multiplied * (probabilities["yes"] ?? 0.0)
    let no = selectedProbabilitiesNo.multiplied * (probabilities["no"] ?? 0.0)
    let denominator = yes + no
    let yesComplete = yes / denominator
    let noComplete = no / denominator
    return (yesComplete, noComplete)
}

```

Ilustración 20 Tercera función del algoritmo clasificador

Estos dos algoritmos con complejidad $O(n^2)$ solo serán ejecutados una vez. de ahí ya se tienen las probabilidades y los hallazgos, para después buscar el

El último paso es decidir si la probabilidad de que falle es mayor o no lo es. esto se hace con una función que observa cuál de las probabilidades es mayor.

```

func result(indicators: [String]) -> Bool {
    let results = prepare(indicators: indicators)
    return results.0 > results.1
}

```

Ilustración 21 Cuarta y última función del algoritmo clasificador

Debido a que este algoritmo no tiene ciclos anidados, su complejidad es de $O(n)$.

Ninguno de los algoritmos, es recursivo, la complejidad hasta cierto punto es buena y es simple de implementar debido a que los datos no son masivos.

4.3 Calificación del algoritmo

Para encontrar la confiabilidad del algoritmo, se introdujeron los datos de cada paciente en orden y se comparó el resultado arrojado con el resultado que se tenía.

Esta comparación se representa en la siguiente tabla.

Comparación entre algoritmo y realidad	Algoritmo	Falla
1	Sí	Sí
2	No	No
3	Sí	Sí
4	No	No
5	No	Sí
6	No	No
7	No	No
8	No	No
9	No	No
10	No	No
11	No	No
12	No	No

13	No	No
14	No	No
15	No	Sí
16	Sí	Sí
17	No	No
18	Sí	Sí
19	No	No
20	No	No
21	No	No
22	No	No
23	No	No
24	No	No
25	No	No
26	No	No
27	No	No
28	No	Sí
29	No	No
30	No	No
31	No	No
32	No	Sí
33	No	No
34	Sí	Sí
35	No	No
36	No	No
37	No	No
38	No	No

39	Sí	Sí
40	Si	Sí
41	Sí	Sí
42	No	No
43	No	No
44	No	No
45	Sí	Sí
46	No	No
47	No	No
48	No	No
49	No	No
50	No	No

Tabla 14 Comparativa entre resultados reales con los arrojados con el algoritmo

Se introdujeron los datos de la base de datos individualmente para comprobar la asertividad del algoritmo, de 50 entradas hubo 4 entradas que no acertaron. Lo que le da al algoritmo una asertividad del 92%.

Se guardó una entrada como dato de control, y la certeza que dio con este dato es del 100%,

Capítulo 5. Conclusiones y trabajo a futuro

5.1 Conclusiones

Fue posible conformar un clasificador de Bayes a partir de los datos recopilados de una base de datos existente de los casos de pacientes con fracturas transtrocantericas que se documentaron en el Centro Hospitalario Miguel Hidalgo.

Tener la estadística o datos suficientes, es una condición importante para poder utilizar un clasificador. En caso de que no se tenga la estadística completa, se requeriría comenzar a recopilar suficientes datos para poderse usar.

La predicción de la falla o correcta curación de una fractura transtrocanterica tratada quirúrgicamente mediante osteosíntesis, se pudo obtener mediante el resultado de un clasificador ingenuo de Bayes. Fue posible programar un algoritmo de este clasificador en un dispositivo móvil.

El ingresar los datos y procesarlos con el algoritmo clasificador utilizando una aplicación móvil, facilita en gran manera el cálculo de la predicción de la falla o correcta curación de una fractura transtrocanterica tratada quirúrgicamente mediante osteosíntesis para un médico. El tiempo promedio para ingresar datos por algún usuario es de 10 segundos.

Más allá de la experimentación con algunos datos guardados, es importante la validación con un experto, lamentablemente no fue alcanzable para esta tesis.

En uso de la ciencia y la tecnología, todavía existen muchas áreas de interés que se puede explorar. Es mi opinión que se necesita buscar la integración de las diferentes disciplinas con más frecuencia. Usualmente esta integración o intersección de las disciplinas, viene en la forma de una herramienta que ayuda al usuario a llevar a cabo una tarea en una manera mucho más eficiente que no era posible anteriormente.

5.2 Trabajo a futuro

Se propone seguir esta línea de investigación tanto para obtener validación del experto y ajustar la certeza con una entrada de datos de control mucho mayor. La validación consistiría en realizar una selección de pacientes que cumplan exactamente con los criterios de inclusión y exclusión descritos en la metodología, pacientes adultos mayores de 60 años que presenten una fractura transtrocantérica y que sean sometidos a una intervención quirúrgica con un sistema de tornillo deslizante. Después de la selección, utilizar la herramienta creada para determinar el pronóstico de la osteosíntesis resultado de su tratamiento, y realizar el seguimiento correspondiente hasta tener un resultado real, y compararlo con el arrojado por la aplicación y determinar si el porcentaje probabilístico es aceptable.

Referencias

- Aguilar, J. C. (2019). *Análisis comparativo de cuatro diferentes índices de fallo en la osteosíntesis de fracturas transtrocantericas, además de características propias de los pacientes atendidos quirúrgicamente en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes: UAA.
- Sierra Araujo, B. (2006). *Aprendizaje Automático: conceptos básicos y avanzados*. Mexico: PRENTICE HALL.
- Alpaydin, E. (2014). *Introduction to Machine Learning*. Massachusetts: The MIT Press.
- Pereira-Toledo, A., & Martí Pérez, J. (23 de September de 2017). *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. Obtenido de scielo.sld.cu/: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992017000400006
- Kauffman, A. A. (2008). *Reinventing the Sacred: A New View of Science, Reason, and Religion*. New York: Basic Books.
- Kotroumbas, K., & Theodoris, S. (2008). *Pattern Recognition*. Massachusetts: Academic Press.
- Theodoris, S., & Kotroumbas, K. (2009). *Introduction to Pattern Recognition*. San Diego California: Elsevier.
- Dhanwal, D. K., Dennison, E. M., Harvey, N. C., & Cooper, C. (2011). Epidemiology of hip fracture: Worldwide geographic variation. *Indian Journal of Orthopedics*.
- Apple. (s.f.). <https://www.apple.com/>. Obtenido de <https://www.apple.com/ios/>
<https://www.apple.com/ios/ios-13/>

Shulte, E., Shuencke, M., & Shumacher, U. (2005). *Atlas of Anatomy: General Anatomy and Musculoskeletal System*. Stuttgart . New York: Thieme.

Bowman Jr, K. F., Fox, J., & Sekiya, J. K. (2010). A Clinically Relevant Review of Hip Biomechanics. *Arthroscopy Journal*, 1118-1129.

Russell, S. J., & Norvig, P. (2015). *Inteligencia Artificial: Fundamentos y Aplicaciones*. Madrid: Prentice Hall.

Lau, K., & Ngo, V. (2019). *Data Structures and Algorithms in Swift*. Virginia: Razeware LLC.

Karagas, M., Lu-Yao, G., Beach, M., & Baron, J. (1996). Heterogeneity of hip fracture: age, race, sex, and geographic patterns of femoral neck and trochanteric fractures among the US elderly. *American Journal of Epidemiology*, 677-682.

Roberts K, B. W. (2015). Management of hip fractures in the elderly. *Journal American Academy Orthopedic Surgery*, 131-137.

Jacobs R, M. O. (1980). Internal fixation of intertrochanteric hip fractures: a clinical and biomechanical study. *Clinical Orthopaedics and Related Research*.

Murty, M. D. (2011). *Pattern Recognition an algorithmic approach*. London/ New York: Springer . Universities Press.

WHO. (2019). www.who.int. Obtenido de <https://www.who.int/features/factfiles/obesity/facts/es/>: <https://www.who.int/>

Plischuk, M. (s.f.). Modificaciones de la estructura ósea del fémur proximal. Análisis de una muestra esquelética.

Apple. (MARCH de 2020). <https://swift.org>. Obtenido de <https://swift.org/about/>: <https://swift.org>