

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA WEB PARA LA CLASIFICACIÓN DE
LA SALUD ÓSEA EN ESCOLARES SEGÚN EDAD Y SEXO UTILIZANDO
TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO**

Tesis presentada por el bachiller:

Bedoya Carrillo, Alan Deyby Junior

Para optar por el título profesional de:

Ingeniero de Sistemas

Especialidad en Ingeniería de Software

Asesor: Dr. Sulla Torres, José Alfredo

Arequipa-Perú

2019

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS

INFORME DICTAMEN DE BORRADOR TESIS

VISTO

El Borrador de TESIS titulado:

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA WEB PARA LA
CLASIFICACIÓN DE LA SALUD ÓSEA EN ESCOLARES
SEGÚN EDAD Y SEXO UTILIZANDO TÉCNICAS DE
APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Presentado por (el) (la) (los) Bachiller (es):

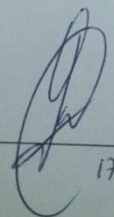
ALAN DEYBY JUNIOR BEDOYA CARRILLO

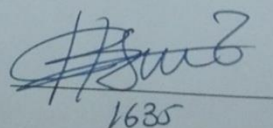
Nuestro dictamen es:

APROBADO

OBSERVACIONES:

Arequipa, 18 de Enero de 2019


1748


1635



PRESENTACIÓN

Sr. Director de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas.

Sres. Miembros del Jurado.

De conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, pongo a vuestra consideración el presente trabajo de investigación titulado: **“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA WEB PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA SALUD ÓSEA EN ESCOLARES SEGÚN EDAD Y SEXO UTILIZANDO TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO”**, el mismo que de ser aprobado me permitirá optar por el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas.

BEDOYA CARRILLO ALAN DEYBY JUNIOR.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi familia y amigos, los cuales son personas fundamentales sin las que no hubiera podido llegar a este punto de mi vida, y los que me brindaron su apoyo incondicional en todo momento. En primer lugar, mi mamá, la persona más importante en mi vida y la que me ha enseñado todos los valores primordiales que una persona debe poseer. Mi papá, el cual siempre ha sido un guía como persona en la vida y que me ha apoyado en todo lo que he querido ser y quiero ser en un futuro. Mi hermana, una persona muy alegre y que ha ayudado a mi familia a estar siempre unida. A mis amigos, por los cuales he llegado a ser una mejor persona. También dedico este trabajo a todas las personas que se han cruzado en mi vida ya que por muy poca o mucha interacción que hayamos tenido ha servido de alguna u otra manera para crecer y aprender de la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ingeniero José Sulla Torres, al Dr. Marco Cossio y al grupo de personas que participaron en el proyecto de investigación sobre la salud ósea. A todos ellos mi más sincero agradecimiento, por toda su ayuda, confianza, paciencia y valioso apoyo durante todo el proceso de este trabajo.

Mi mayor reconocimiento y gratitud hacia ustedes.



RESUMEN

En la actualidad, la salud ósea es un campo de la medicina que ha tomado mucha importancia ya que enfermedades relacionadas a los huesos son cada vez más comunes. Por ejemplo, la osteoporosis actualmente causa un estimado de 8.9 millones de fracturas anualmente.

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo de una herramienta web la cual tiene la capacidad de clasificar el estado de la salud ósea de un paciente que ingrese sus datos utilizando una técnica de aprendizaje automático. Dicha técnica se ha extraído en base a un análisis realizado con datos antropométricos y fórmulas de regresión para calcular la densidad mineral ósea y contenido mineral ósea de los escolares entre 6 y 18 años de los colegios Inmaculada Concepción y Jorge Basadre del sector de Arequipa, Perú según su edad y sexo. Tomamos estos atributos ya que el desarrollo de los huesos se realiza principalmente en edades tempranas, y el sexo ya que existe una notoria diferencia entre hombres y mujeres al generar contenido y densidad mineral ósea en estas etapas. En base al análisis en la herramienta WEKA de los 9 diferentes algoritmos analizados en los cuáles se incluyen árboles de decisión, redes bayesianas, tablas de decisión y de regresión, se ha determinado que el mejor algoritmo entre estos es el bosque aleatorio (Random Forest) con un porcentaje de clasificación del 94.87% en la salud ósea según el conjunto de datos obtenido.

Palabras Clave

Salud Ósea, Inteligencia Artificial, Aprendizaje Automático, Clasificación, Desarrollo.

ABSTRACT

Currently, bone health is a field of medicine that has become very important as bone-related diseases are becoming more common. For example, osteoporosis currently causes an estimated 8.9 million fractures annually.

The main objective of this project is the development of a web tool which has the ability to classify the state of bone health of a patient who enters their data using an automatic learning technique. This technique has been extracted based on an analysis performed with anthropometric data and regression formulas to calculate the bone mineral density and bone mineral content of schoolchildren between 6 and 18 years of age in the schools of Inmaculada Concepción and Jorge Basadre in the Arequipa sector, Peru. according to your age and sex. We take these attributes since bone development takes place mainly at early ages, and sex since there is a noticeable difference between men and women in generating content and bone mineral density in these stages. Based on the analysis in the WEKA tool of the 9 different algorithms analyzed, which include decision trees, Bayesian networks, decision and regression tables, it has been determined that the best algorithm among these is the random forest with a classification percentage of 94.87% in bone health according to the data set obtained.

Keywords

Bone Health, Artificial Intelligence, Machine Learning, Classification, Development.

INTRODUCCIÓN

La salud ósea en los últimos tiempos se ha ido descuidando cada vez más, en el mundo de cada 3 mujeres que superan los 50 años, 1 sufre fracturas por causa de enfermedades en los huesos como la osteoporosis, a su vez 1 de cada 5 hombres sufre este tipo de fracturas (John A Kanis, 2007). También se tienen estimaciones, como, por ejemplo, se calcula que para el año 2050 la incidencia de fracturas de caderas en hombres incrementará un 310% y 240% en mujeres, comparados con ratios obtenidos a partir de 1990 (Gullberg, Johnell & Kanis, 1997).

En este sentido el presente trabajo de investigación, consiste en utilizar y encontrar la mejor técnica de aprendizaje automático entre las propuestas para clasificar el estado de la salud ósea en escolares del sector de Arequipa, según su edad y sexo. Este análisis utilizará datos antropométricos, y en base a estos y utilizando fórmulas de regresión se calculará su densidad mineral ósea y contenido mineral óseo.

En base a este algoritmo de aprendizaje automático se desarrollará una aplicación web que sirva como herramienta para aquellas personas que deseen saber el estado actual de su salud ósea con datos antropométricos que tendrán que proporcionar. Adicionalmente, esta aplicación podrá alimentar una base de datos que servirá para realizar futuros análisis con técnicas de aprendizaje automático para clasificar conjuntos de personas mucho más grande y de diferentes zonas.

El presente trabajo se organiza en los siguientes capítulos:

CAPÍTULO 1: Se describe la justificación del trabajo, el objetivo general y los objetivos específicos. También se determina el alcance que tendrá la investigación, la línea y sublínea de investigación, técnicas y herramientas. Por otro lado, tenemos los aspectos relevantes en el desarrollo de la herramienta para la salud ósea.

CAPÍTULO 2: Se describe el estado del arte que se tiene actualmente sobre la influencia de las máquinas de aprendizaje en el ámbito de la salud y el marco teórico que incluye la situación actual que se tiene con respecto a la salud ósea y a su vez el aprendizaje automático. Luego se describen las bases teóricas donde se profundizará en los temas más relevantes de este proyecto.

CAPÍTULO 3: Se describe todo el proceso de extracción del conocimiento y la utilización de las técnicas de aprendizaje automático con los datos recolectados de los escolares. Se dan todos los elementos para poder crear las tablas que se presentarán en el apartado de resultados y así determinar qué algoritmo es el mejor para la clasificación de la salud ósea con el conjunto de datos obtenidos.

CAPÍTULO 4: Se describe la documentación técnica de nuestro proyecto de software, incluyendo el plan del proyecto informático, la especificación de requisitos de software, la especificación del diseño, la documentación técnica de programación y las pruebas correspondientes.

CAPÍTULO 5: Se describen los resultados que se obtuvieron mediante el análisis KDD y la herramienta publicada en la web con sus vistas más relevantes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Objetivos de la Investigación	4
1.2.1 General	4
1.2.2 Específicos	4
1.3 Alcances y Limitaciones	5
1.4 Área de Investigación	5
1.5 Línea y Sublínea de Investigación a la que corresponde el Problema	5
1.6 Tipo de Investigación	6
1.7 Nivel de Investigación	6
1.8 Técnicas y Herramientas	6
1.9 Aspectos Relevantes del Desarrollo	7
1.9.1 Requerimientos	7
1.9.2 Diseño	8
1.9.3 Codificación	8
1.9.4 Documentación	8
1.9.5 Implementación	9
1.9.6 Pruebas	9
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	11
2.1 Estado del Arte (Antecedentes del proyecto)	11
2.2 Bases Teóricas de la Investigación	14
2.2.1 Salud Ósea	14
2.2.2 Densidad Mineral Ósea y Contenido Mineral Óseo	15

2.2.3 Osteoporosis	17
2.2.4 Osteopenia	19
2.2.5 Aprendizaje Automático	20
2.2.6 Algoritmos de Aprendizaje Supervisado	22
2.2.7 WEKA	24
2.2.8 Metodología de Desarrollo RUP	26
CAPÍTULO 3: PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL CONOCIMIENTO	30
3.1 Población y Muestra	30
3.2 Recolección de Datos	30
3.1.1 Procedimientos	32
3.3 Preprocesamiento de Datos	36
3.3.1 Limpieza de Datos	37
3.3.2 Discretización	38
3.4 Implementación en la herramienta	40
3.5 Comparación de Algoritmos	44
3.5.1 Validación Cruzada	44
3.5.2 Matriz de confusión	46
3.5.3 Precisión por Clase	46
CAPÍTULO 4: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	48
4.1 Plan del Proyecto Informático	48
4.2 Especificación de requisitos del software (Elicitación y Análisis)	49
4.2.1 Propósito	49
4.2.2 Alcance	49
4.2.3 Personal Involucrado	50
4.2.4 Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas	50
4.2.5 Referencias	50
4.2.6 Resumen	51
4.2.7 Perspectiva del producto	51
4.2.8 Restricciones	52

4.2.9 Suposiciones y dependencias	52
4.2.10 Requerimientos Funcionales	52
4.2.11 Requerimientos No Funcionales	58
4.2.12 Interfaces de usuario	60
4.2.13 Interfaces de hardware	60
4.2.14 Interfaces de Software	61
4.2.15 Interfaces de Comunicación	61
4.2.16 Seguridad	61
4.2.17 Fiabilidad	61
4.2.18 Soporte	62
4.2.19 Portabilidad	62
4.2.20 Diagrama de casos de uso	62
4.2.21 Especificación de casos de uso	63
4.4 Especificación del Diseño y Arquitectura	72
4.4.1 Diagramas de Secuencia	73
4.4.2 Diagrama de Clase	75
4.4.3 Arquitectura del sistema	76
4.4.4 Diseño de la base de datos	78
4.5 Documentación técnica de programación (Desarrollo)	82
4.5.1 Entorno de programación	82
4.5.2 Lenguajes y herramientas	85
4.5.3 Aspectos relevantes de la implementación	86
4.5.4 Implementación del sistema	88
4.6 Pruebas de Ejecución	92
4.6.1 Pruebas unitarias	93
4.6.2 Pruebas de integración	100
4.6.3 Pruebas de sistema	105
4.6.4 Pruebas de facilidad de uso	107
4.6.5 Pruebas de validación	109

4.7 Manual de Usuario	111
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	112
5.1 Proceso de Extracción del Conocimiento	112
5.1.1 Cuadros de validación Cruzada	112
5.1.2 Cuadros de la matriz de confusión de la clasificación por percentil	116
5.1.3 Cuadros de la precisión por clase	120
5.1.4 Modelo de clasificación	124
5.2 Aplicación Web	126
5.2.1 Página de Inicio	126
5.2.2 Herramienta	128
5.2.3 Importación de Varios pacientes en base a Formato	129
5.2.4 Resultados del cálculo (Ejemplo)	130
5.2.5 Gráficos en base a los resultados	131
5.2.6 Visualización de Pacientes Insertados	134
CONCLUSIONES	136
RECOMENDACIONES	137
REFERENCIAS	138
ANEXOS	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Distribución de la Densidad Mineral Ósea en mujeres sanas con edades entre 30-40 años.	16
Figura 2.2 Principales áreas de fractura en la Osteoporosis.	18
Figura 2.3 Representación esquemática del modelo de pérdida ósea en mujeres posmenopáusicas y hombres en edad avanzada	19
Figura 2.4 Factores que influyen en la fractura de la masa ósea	20
Figura 2.5 Proceso de aprendizaje automático supervisado	22
Figura 3.1 Preprocesamiento de Datos	37
Figura 3.2 Implementación del conjunto de datos obtenidos de alumnos del sector de Arequipa	41
Figura 3.3 Atributos utilizados para el análisis KDD	41
Figura 3.4 Selección del algoritmo para analizar en la herramienta WEKA	42
Figura 3.5 Selección de opciones para analizar un algoritmo	43
Figura 3.6 Resultado del análisis de clasificación para el algoritmo Forest PA	43
Figura 4.1 Diagrama de Gantt dividido en semanas.	48
Figura 4.2 Diagrama de casos de uso para el sistema BHProject	63
Figura 4.3 Diagrama de secuencia para visualizar índice del sistema	73
Figura 4.4 Diagrama de secuencia para consultar salud ósea personal	74
Figura 4.5 Diagrama de secuencia para consultar salud ósea en grupo	74
Figura 4.6 Diagrama de secuencia para visualizar resultados	75
Figura 4.7 Diagrama de secuencia para revisar información	75
Figura 4.8 Diagrama de clase para el sistema BHProject	76
Figura 4.9 Diagrama de paquetes para el sistema BHProject	77
Figura 4.10 Diagrama de despliegue para el sistema BHProject	78
Figura 4.11 Diagrama de entidad relación para el sistema BHProject	79
Figura 4.12 Modelo de la base de datos para el sistema Project aplicando 1era forma normal	80
Figura 4.13 Modelo de la base de datos para el sistema Project aplicando 2da forma normal	81
Figura 4.14 Modelo de la base de datos para el sistema Project aplicando 3era forma normal	82

Figura 4.15 Modelo de Usuario en el sistema BHProject	83
Figura 4.16 Vista de visualizar resultados en el sistema	84
Figura 4.17 Controlador de pacientes para la salud ósea	85
Figura 4.18 Modelos y ejemplo de modelo en el sistema	86
Figura 4.19 Lista de vistas el sistema	87
Figura 4.20 Lista de rutas del sistema	88
Figura 4.21 Cuenta de hostinger	89
Figura 4.22 Características principales del servidor web	90
Figura 4.23 Propiedades de acceso FTP al servidor web	91
Figura 4.24 Base de datos implementada en la herramienta phpMyAdmin	92
Figura 4.25 Proyecto Laravel cargado correctamente	92
Figura 4.26 Lista de pruebas unitarias del sistema	93
Figura 4.27 Pruebas unitarias para la clase PatientBH	94
Figura 4.28 Pruebas unitarias para la clase PatientBH	95
Figura 4.29 Pruebas unitarias para la clase PatientBH	96
Figura 4.30 Resultados para las pruebas unitarias de la clase PatientBH	96
Figura 4.31 Prueba unitaria de la clase BHSex	97
Figura 4.32 Resultado para la prueba unitaria de la clase BHSex	97
Figura 4.33 Prueba unitaria de la clase BHCcountry	98
Figura 4.34 Resultado para la prueba unitaria de la clase BHCcountry	98
Figura 4.35 Pruebas unitarias para las vistas no dependientes	99
Figura 4.36 Resultados de las pruebas unitarias para las vistas no dependientes	99
Figura 4.37 Pruebas de integración realizadas para el sistema BHProject	100
Figura 4.38 Pruebas de integración para la redirección de páginas web	101
Figura 4.39 Resultados de las pruebas de integración para la redirección	101
Figura 4.40 Prueba de integración para la consulta de salud ósea personal	102
Figura 4.41 Resultado de la prueba de integración para consulta de salud ósea	102
Figura 4.42 Prueba de integración para la consulta de salud ósea en grupo	103
Figura 4.43 Resultado de la prueba de integración para consulta de salud ósea	103
Figura 4.44 Pruebas de integración para la visualización de resultados	104
Figura 4.45 Resultados para las pruebas de integración de visualización	104

Figura 4.46 Pruebas de integración para la revisión de información	105
Figura 4.47 Resultados para las pruebas de integración para revisión	105
Figura 4.48 Resultado de la prueba de accesibilidad usando Achecker	106
Figura 4.49 Resultado de la sección perceptible usando la herramienta TAW	106
Figura 4.50 Resultado de la sección operable usando la herramienta TAW	106
Figura 4.51 Resultado de la sección comprensible usando la herramienta TAW	107
Figura 4.52 Resumen de resultados para todo el conjunto de datos obtenido	110
Figura 5.1 Árbol de decisión para la clasificación de la salud ósea utilizado en la herramienta	126
Figura 5.2 Página de Inicio de la Herramienta Project	127
Figura 5.3 Vista del formulario para calcular la salud ósea de la herramienta	128
Figura 5.4 Vista para importar grupo de pacientes de la Herramienta Project	129
Figura 5.5 Vista de resultados ejemplo de la Herramienta BHProject	130
Figura 5.6 Resultado ejemplo y situación en base a los percentiles de DMO	131
Figura 5.7 Resultado ejemplo y situación en base a los percentiles de CMO	132
Figura 5.8 Resultado ejemplo según T-Score de la herramienta	133
Figura 5.9 Vista para visualizar grupo de pacientes de la Herramienta BHProject	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Ecuación de Regresión para estimar la densidad mineral ósea basada en la maduración biológica e indicadores antropométricos en hombres	33
Tabla 3.2 Ecuación de Regresión para estimar la densidad mineral ósea basada en la maduración biológica e indicadores antropométricos en mujeres	33
Tabla 3.3 Ecuación de Regresión para estimar el contenido mineral óseo basada en la maduración biológica e indicadores antropométricos en hombres	34
Tabla 3.4 Ecuación de Regresión para estimar el contenido mineral óseo basada en la maduración biológica e indicadores antropométricos en mujeres	34
Tabla 3.5 Valores LMS y distribución de percentiles en base a la densidad mineral ósea del total de niños y adolescentes hombres basados en su edad	35
Tabla 3.6 Valores LMS y distribución de percentiles en base a la densidad mineral ósea del total de niñas y adolescentes mujeres basados en su edad	35
Tabla 3.7 Valores LMS y distribución de percentiles en base a el contenido mineral óseo del total de niños y adolescentes hombres basados en su edad	36
Tabla 3.8 Valores LMS y distribución de percentiles en base a el contenido mineral óseo del total de niñas y adolescentes mujeres basados en su edad	36
Tabla 3.9 Tabla de los datos recopilados de niños y adolescentes de los colegios Inmaculada Concepción y Jorge Basadre del sector de Arequipa según género	39
Tabla 4.1 Personal involucrado en el desarrollo del proyecto BHProject	50
Tabla 4.2 Definiciones, acrónimos y abreviaturas de requisitos	50
Tabla 4.3 Estándar utilizado para la especificación de requisitos	50
Tabla 4.4 Actor del negocio del sistema para la salud ósea	52
Tabla 4.5 Requerimiento Funcional 01	53
Tabla 4.6 Requerimiento Funcional 02	53

Tabla 4.7 Requerimiento Funcional 03	54
Tabla 4.8 Requerimiento Funcional 04	54
Tabla 4.9 Requerimiento Funcional 05	55
Tabla 4.10 Requerimiento Funcional 06	55
Tabla 4.11 Requerimiento Funcional 07	56
Tabla 4.12 Requerimiento Funcional 08	56
Tabla 4.13 Requerimiento Funcional 09	57
Tabla 4.14 Requerimiento Funcional 10	57
Tabla 4.15 Requerimiento No Funcional 01	58
Tabla 4.16 Requerimiento No Funcional 02	58
Tabla 4.17 Requerimiento No Funcional 03	59
Tabla 4.18 Requerimiento No Funcional 04	59
Tabla 4.19 Requerimiento No Funcional 05	60
Tabla 4.20 Validación con usuarios para la herramienta BHProject	108
Tabla 5.1 Validación cruzada en la clasificación entre los algoritmos de aprendizaje automático Forest PA, J48 y Random Forest	113
Tabla 5.2 Validación cruzada en la clasificación entre los algoritmos de aprendizaje automático EBMC, TAN y NB Tree	114
Tabla 5.3 Validación cruzada en la clasificación entre los algoritmos de aprendizaje automático DTNB, FURIA y CVR	115
Tabla 5.4 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando Forest PA	116
Tabla 5.5 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando J48	117
Tabla 5.6 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando Random Forest	117
Tabla 5.7 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando EBMC	117
Tabla 5.8 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando TAN	118
Tabla 5.9 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando NB Tree	118
Tabla 5.10 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando DTNB	118

Tabla 5.11 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando FURIA	119
Tabla 5.12 Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando CVR	119
Tabla 5.13 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático Forest PA	120
Tabla 5.14 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático J48	120
Tabla 5.15 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático Random Forest	121
Tabla 5.16 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático EBMC	121
Tabla 5.17 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático TAN	121
Tabla 5.18 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático NB Tree	122
Tabla 5.19 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático DTNB	122
Tabla 5.20 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático FURIA	122
Tabla 5.21 Capacidad de precisión por clase entre las técnicas de aprendizaje automático CVR	123

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del Problema

Las enfermedades óseas actualmente constituyen un importante problema de salud especialmente en personas de avanzada edad. Las fracturas debido a enfermedades como la osteoporosis es uno de los principales factores de discapacidad e incluso muerte en ancianos (Rosen, 2013). Existen diferentes herramientas para determinar la salud ósea de una persona como la llamada absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA) que produce imágenes del interior del cuerpo (generalmente parte inferior de la columna y caderas) para medir la pérdida de hueso, el cual es uno de los mejores métodos para diagnosticar osteoporosis. Sin embargo, debido a su alto costo no es accesible para toda la población en general por lo que se requiere otro tipo de técnicas que puedan solventar esta problemática y que tenga una precisión parecida e incluso igual de efectiva que este método (Ali, Abdelbary, Albuali, AboelFetoh & AlGohary, 2017).

Los factores para enfermedades óseas son variados e incluyen la historia clínica de fracturas, edad, peso, deficiencia de estrógeno en una edad temprana en caso de mujeres que ya pasaron la menopausia, bajo consumo de calcio y deficiencia de vitamina D. Estos factores nos pueden ayudar para hacer una predicción con respecto a saber si una persona puede sufrir de osteoporosis, la combinación de alguno de estos elementos puede servirnos para encontrar un modelo predictivo en su clasificación. Partiendo de este punto, se propone desarrollar una herramienta que introduzca los

datos antropométricos de una persona y en base a fórmulas de regresión conocer su densidad mineral ósea y contenido mineral óseo, los cuáles son los atributos principales que nos pueden ayudar a clasificar el estado de la salud ósea de una persona. Actualmente, se conocen algunas fórmulas que nos ayudan con este tema pero que lamentablemente no tienen una precisión deseada. Por ejemplo, se tiene la herramienta de evaluación de la osteoporosis (del inglés osteoporosis self-assessment tool ó OST) basada en la edad y el peso corporal, pero como se menciona solo toma dos factores de los mencionados inicialmente para la predicción por lo cual, solamente nos da una idea inicial de evaluación o diagnóstico. Otros métodos con fórmulas que se tienen son el Instrumento de evaluación de riesgo de osteoporosis (del inglés Osteoporosis risk assessment instrument ó ORAI) para mujeres que pasaron la menopausia, la técnica del cálculo simple del riesgo de osteoporosis estimado (del inglés simple calculated osteoporosis risk estimation ó SCORE) y el índice de riesgo de osteoporosis (del inglés osteoporosis index of risk u OSIRIS) que son las fórmulas que abarcan la mayor cantidad de los factores de riesgo antes mencionados pero tampoco tienen una importante mejora en la predicción de osteoporosis. En los últimos años se han añadido algunos factores de riesgo los cuales podrían ayudar a mejorar la sensibilidad y especificidad en el riesgo de esta enfermedad.

Un área de la inteligencia artificial que nos puede ayudar a clasificar la información y por lo tanto determinar los factores óptimos para la predicción de la osteoporosis es el aprendizaje automático (en inglés Machine Learning o ML) que usa métodos estadísticos para esto. Ya se han hecho diversos estudios de estas técnicas en

el ámbito médico para predecir enfermedades de otro tipo y han demostrado una asertividad importante en el diagnóstico frente a los métodos clásicos. Los algoritmos matemáticos tienen la habilidad de clasificar grandes cantidades de datos en un formato que nos pueda servir para analizar. Los clasificadores de estas técnicas de ML toman la información de cada paciente y predice la presencia de alguna enfermedad dado una serie de patrones que puede encontrar mientras se vaya ejecutando, esto se conoce como conocimiento que se le da a un sistema (Arias, Martínez-Gómez, Gámez, Seco de Herrera & Müller, 2016).

Las técnicas en este campo que podemos utilizar y que nos servirán para determinar los factores mencionados y optimizar la herramienta que desarrollaremos son las máquinas de vectores de soporte (en inglés support vector machines ó SVM), los árboles de decisión (en inglés Decision Tree), las tablas de decisión (en inglés Decision Table), las redes bayesianas (en inglés Bayesian Network) entre otras. Se propone que estas técnicas pueden ayudar a la clasificación de la salud ósea usando cierta información como el peso, la edad, circunferencia abdominal, densidad mineral ósea y contenido mineral óseo del paciente. A lo largo de esta propuesta se desarrollará y validará modelos de aprendizaje automático con el objetivo de identificar el riesgo de osteoporosis principalmente en niños y adolescentes del sector rondando las edades entre 6 y 18 años y así mejorar el campo de la salud ósea dándoles información de su situación actual tomando las debidas precauciones en el debido tiempo.

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 General

El objetivo principal de esta tesis es el desarrollar una herramienta en un ambiente web que permita clasificar la salud ósea en escolares según su edad y sexo utilizando técnicas de aprendizaje automático, las cuales se analizarán y se encontrará la mejor en base al proceso de extracción de conocimiento realizado con un conjunto de datos de escolares obtenido.

1.2.2 Específicos

- Realizar una correcta revisión de los antecedentes de este proyecto.
- Analizar y preparar los datos de escolares entre 6 y 18 años de los colegios del sector de Arequipa, para utilizar el proceso de extracción del conocimiento.
- Extraer los modelos apropiados para las distintas técnicas de aprendizaje automático en base a los datos que se van a analizar con la herramienta WEKA.
- Encontrar la mejor técnica de aprendizaje automático utilizando técnicas estadísticas que nos ayude con la predicción y clasificación de enfermedades óseas basándose en la densidad mineral ósea y contenido mineral óseo, estos datos se hallarán en base a fórmulas de regresión.
- Diseñar y construir la arquitectura de la herramienta para la salud ósea.
- Desarrollar una herramienta basado en el diseño y arquitectura que, dado los datos de un paciente, determine la correcta clasificación de su salud ósea con la técnica de aprendizaje automático determinada anteriormente.

- Redactar las conclusiones y recomendaciones finales.

1.3 Alcances y Limitaciones

Esta investigación toma los siguientes puntos como alcances y limitaciones:

- Se tomarán los datos antropométricos de escolares de entre 6 y 18 años de los colegios Inmaculada Concepción y Jorge Basadre del sector de Arequipa, Perú.
- Se realizará esta tesis en un ambiente común, en el cual se tendrá un equipo de cómputo con las funcionalidades básicas y que soporte la herramienta Weka y el framework Laravel.
- El tiempo tomado para realizar esta investigación es de 1 año aproximadamente, en el cual se realizará todo el proceso de extracción del conocimiento y el ciclo de vida del software que realizaremos.
- Ya que esta tesis pertenece a un proyecto de la Universidad Católica de Santa María, se verá financiado por este mayormente para la parte del desarrollo de software.

1.4 Área de Investigación

Ingeniería de Software.

1.5 Línea y Sublínea de Investigación a la que corresponde el Problema

Línea: Inteligencia Artificial

Sub Línea: Inteligencia Artificial Aplicada

1.6 Tipo de Investigación

Aplicada.

1.7 Nivel de Investigación

El nivel de investigación utilizado es experimental ya que se requiere probar cuál de los 9 algoritmos de aprendizaje automático es el mejor.

1.8 Técnicas y Herramientas

Para el desarrollo de esta tesis se han considerado las siguientes herramientas:

- WEKA: Se utilizará esta técnica ya que brinda la posibilidad de analizar diferentes tipos de algoritmos de aprendizaje automático para un conjunto de datos determinado, arrojando resultados sumamente significativos para nuestro caso de estudio que es el de comparar de estos algoritmos para determinar cuál es el mejor. Otra razón por la cual esta herramienta será utilizada es que es libre y está en constante evolución por lo que tenemos un conjunto de paquetes extensos de algoritmos que podremos utilizar.
- Laravel: Es un framework libre (código abierto) que utilizaremos para desarrollar nuestra aplicación. Se escogió esta herramienta de trabajo porque principalmente parte de su filosofía de creación la cual es elegante y simple, evitando tener código desordenado. Por otro lado, tenemos que podemos moldear la aplicación exactamente como se necesita.

Las técnicas tanto metodológicas como de aprendizaje automático son las siguientes:

- Metodología RUP: Es un proceso de desarrollo de software que construye una metodología estándar en la cual abarca todo el ciclo de vida de una aplicación como el análisis, diseño, implementación y documentación para sistemas orientados a objetos. Nos será de mucha utilidad ya que al ser iterativo iremos mejorando versiones hasta llegar un desarrollo adecuado.
- Los algoritmos de aprendizaje automático que utilizaremos son los siguientes: Forest PA, J48, Random Forest, EBMC, TAN, NB Tree, DTNB, FURIA y Classification Via Regression. Se explicará al detalle estos algoritmos en los siguientes capítulos, sin embargo, la principal razón para utilizarlos es porque gran parte de los algoritmos mencionados están orientados a la clasificación de conjunto de datos referente al campo médico. La otra parte son algoritmos de clasificación que han demostrado un buen desempeño con conjuntos de datos similares a los nuestros por lo que se espera que tengan un nivel de clasificación alto.

1.9 Aspectos Relevantes del Desarrollo

1.9.1 Requerimientos

Los requerimientos se tomaron según la necesidad de un paciente común yendo a un consultorio donde le toman sus datos, los cuáles deberían ser los que se aplicarán para calcular la densidad mineral ósea y contenido mineral óseo de un paciente en base a las fórmulas de regresión obtenidas, conjuntamente se le mostrará la clasificación obtenida en base al algoritmo de aprendizaje automático elegido. Por otra parte, se

tendrá la opción de analizar a todo un grupo de estudiantes, visualizar resultados y brindar información acerca de lo que es la salud ósea.

1.9.2 Diseño

Para el diseño del sistema se consideraron los diagramas que ayuden a explicarlo de una manera sencilla, se utilizaron todos los diagramas convenientes para el diseño del sistema y para dar una vista general de cómo trabajarán cada uno de sus elementos.

1.9.3 Codificación

La codificación se basa principalmente en la arquitectura de 3 capas, las cuales maneja el framework utilizado Laravel, que se divide en el modelo donde se programó en base al diseño construido con sus métodos correspondientes por cada clase. Después se tiene la vista, que son todo el conjunto de rutas utilizada con sus respectivas vistas y actividades dependiendo del modo de llamado (get o post), que se relacionan directamente con los controladores y su lógica. Por último, se tienen los controladores que es donde se codifica toda la lógica de la herramienta.

1.9.4 Documentación

Se tiene en cuenta como principal documentación para este tipo de sistemas el manual de usuario que será integrado en el mismo sistema para ser visualizado por todo usuario que ingrese. En este manual se indicarán todas las actividades que realiza el sistema, los pasos sencillos a seguir para accionar todas las opciones que te ofrece la herramienta y una guía de cómo es que funciona cada ruta del sistema.

También se toma en cuenta los posibles errores por parte del usuario que pueda cometer, los cuáles se les mostrará en forma de un mensaje que le ayude a solucionar el problema y realizar la actividad específica adecuadamente.

1.9.5 Implementación

La implementación de la herramienta se realizó en un subdominio que soporta la versión del framework Laravel utilizada y conjuntamente la versión del lenguaje de programación PHP utilizado. Se integró la base de datos respectiva que se modeló y se hicieron las configuraciones debidas para trabajar con este tipo de entorno web. El resultado final fue la herramienta que está actualmente trabajando con su propio subdominio web disponible para todo el público.

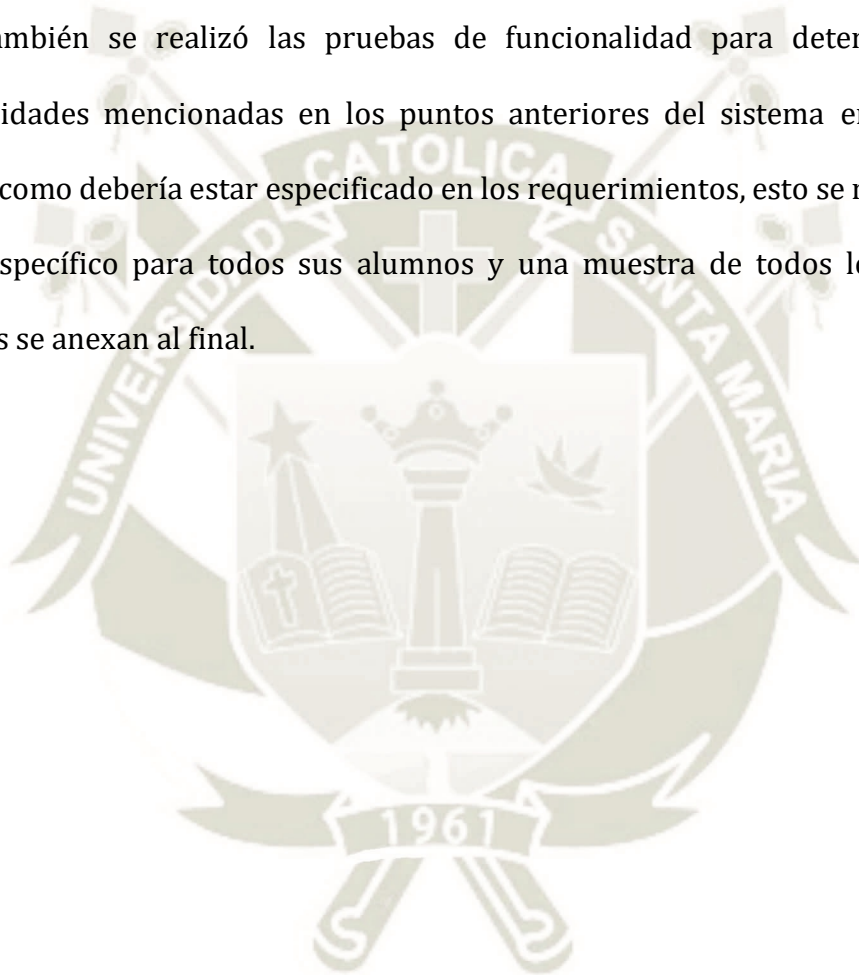
1.9.6 Pruebas

Primeramente, se realizó las pruebas unitarias para medir la funcionalidad de cada método, clase, vista independiente y elemento que se considere importante para el correcto funcionamiento de la aplicación. Después de realizar estas pruebas se hizo las pruebas de integración que juntan todas estas para determinar si trabajan correctamente juntas y que el usuario pueda realizar todos los pasos en determinar la clasificación de su salud ósea y demás datos que proporciona la herramienta.

Se juntó un grupo entre niños y adolescentes para que sirvan de pacientes y se pidió a un usuario responsable que ingrese sus datos, estos fueron evaluados mediante un conjunto de preguntas, también se analizaron todos los errores que han tenido con la herramienta para proporcionar una retroalimentación y mejorarla.

En otro ámbito se realizaron pruebas de accesibilidad para la herramienta que ayudaron a determinar si el acceso web puede ser accedido desde diferentes modos, tanto en un explorador web de escritorio, como un explorador web de celular y si las vistas son cómodas para los usuarios en todos los casos dados.

También se realizó las pruebas de funcionalidad para determinar si las funcionalidades mencionadas en los puntos anteriores del sistema en realidad se cumplen como debería estar especificado en los requerimientos, esto se realizó con un colegio específico para todos sus alumnos y una muestra de todos los resultados obtenidos se anexan al final.



CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Estado del Arte (Antecedentes del proyecto)

Habitualmente el cuidado de la salud y las máquinas de aprendizaje se asocian importantemente de manera directa como un estudio científico, sin embargo, individualmente estos dos temas son de suma importancia tanto como para la sociedad en caso de la salud y en el ámbito tecnológico para la inteligencia artificial (Byrne, 2017). Por otro lado, con el paso del tiempo se han ido realizando diferentes investigaciones donde dichos términos pueden trabajar en conjunto y conseguir grandes resultados para diferentes casos propuestos (Seligman, Tuljapurkar & Rehkopf, 2018).

Los datos están creciendo cada vez más a lo largo del tiempo ya que si bien crecemos como sociedad, la captura de los datos con las nuevas tecnologías que tenemos se hacen muy a menudo, por lo que registramos prácticamente todo lo que nos rodea en un almacenamiento específico. Teniendo esto en cuenta, debemos tener otro tipo de herramientas que nos ayuden a controlar esta cantidad masiva de datos que en cierto punto se hace incontrolable si no se trabaja, como por ejemplo se tiene el término salud móvil que tiene como base sistemas que se encargan de medir el estado la salud de las personas. Precisamente para controlar la cantidad masiva de datos en este sistema se utilizan técnicas de aprendizaje automático conjuntamente con el análisis de big data que ayuda a proporcionar vistas más sencillas para los usuarios y cuadros generales (Istepanian & Al-Anzi, 2018).

Otra desventaja que se encuentra frente a los métodos tradicionales para trabajar este tipo de datos es que no son escalables a la inmensa cantidad de datos de la atención de la salud, los cuáles se representan por una cantidad masiva y una complejidad a tener en cuenta. Para poder trabajar este tipo de datos se necesitan métodos que puedan estimar modelos de una manera eficiente utilizando conjunto de datos muy grandes. Los métodos de aprendizaje automático se caracterizan por tratar este tipo de datos y contemplar estas limitaciones de una manera óptima, pero se debe tomar en cuenta que todavía están sujetos a un margen de error y esto es a causa del tipo de algoritmo utilizado. Es por esto que los investigadores que utilizan este tipo de métodos o algoritmos deben evaluar todos sus modelos utilizando pruebas de especificación convencionales (Crown, 2015).

Se han hecho estudios utilizando técnicas de aprendizaje automático enfocados a la salud que han demostrado ser de suma importancia para la sociedad, ya que estos ayudan a predecir estadísticamente enfermedades lo cual hace que tanto las organizaciones como los gobiernos tomen precauciones para este tipo de enfermedades, por lo que ayudan a reducir el costo de atención de los pacientes dependiendo de la gravedad que puede causar dicha enfermedad. Para esto también hay que encontrar dentro de todos los algoritmos que existen actualmente el mejor que nos ayude a clasificar toda esta cantidad enorme de datos (Maniruzzaman et al., 2017).

Otro campo beneficiado cuando se usan los algoritmos de aprendizaje automático es el experimental, ya que actualmente se experimentan con animales utilizando productos químicos para tratar cierto tipo de enfermedades como el cáncer

o algunas mutagénicas, de esta manera existen varios problemas éticos por el uso de este tipo de experimentos. Para lo cual se han propuesto modelos de clasificación basados en algoritmos de aprendizaje que puedan clasificar el conjunto de propiedades en estas enfermedades que ayuden a la disminución de este tipo de experimentos y se logró encontrar un algoritmo que clasifica un valor representativo para el conjunto de datos del 70% (Moorthy, Kumar & Poongavanam, 2017).

Se tiene que tener en cuenta también que los algoritmos de aprendizaje automático están en constante evolución y por ende con el paso del tiempo pueden crearse similares e incluso mejores algoritmos que nos ayuden a clasificar una gran cantidad de datos. Por otra parte, hay campos específicos en los cuáles el aprendizaje automático puede ser enfocado a diferentes ámbitos de la salud, ya que algunas enfermedades se relacionan. Esto quiere decir que para un mismo conjunto de datos podemos darle un enfoque diferente, por ejemplo, se tiene una serie de datos de los pacientes que sufren un determinado tipo de cáncer que ayudan a visualizar su estado. Estos datos no sólo se pueden utilizar para el tipo de cáncer que padece dicho paciente, sino también pueden ser utilizados para determinar las variables más representativas en otro tipo de enfermedades (Lynch et al., 2017).

Por último, viendo todas las ventajas que nos ofrece el utilizar aprendizaje automático en el campo de la salud debemos explotarnos al máximo lo más antes posible ya que es vital e indispensable en los esfuerzos por transformar inteligentemente toda la información disponible en conocimiento valioso y más aún en este campo de interés social (Kavakiotis et al., 2017).

2.2 Bases Teóricas de la Investigación

2.2.1 Salud Ósea

La salud ósea se considera un campo de la medicina el cual trata sobre el desarrollo, estado y bienestar de un esqueleto durante todas las etapas de la vida de una persona, teniendo en cuenta que a lo largo de los años experimentamos diferentes cambios generales en nuestro cuerpo y que todos poseemos distintas características a la hora de una revisión médica adecuada, debemos estar al pendiente si alguna de estas características está en un rango en el que se deba adquirir atención y ser tratada adecuadamente. Una de estas características es el esqueleto humano, es decir, los huesos que son tejidos vivos y por lo tanto pasan por diferentes etapas conforme van pasando los años. Esto quiere decir que cuando el tejido se desgasta, el cuerpo inmediatamente debe regenerarlo y para ello necesita determinados materiales que lo ayuden a su correcto proceso. El periodo en el que se considera que los huesos alcanzan un desarrollo importante es en la niñez y adolescencia, y por esto mismo es necesario enfocarse en la salud ósea de una persona en esta etapa de la vida y monitorear de una forma eficaz si su desarrollo de los huesos es correcto para no causar futuras enfermedades las cuales puedan originar dificultades en su salud general y hasta incapacitaciones debido a fracturas debido a la debilidad de los huesos o una poca cantidad de densidad mineral ósea (DMO) la cual mide la cantidad de calcio y otros tipos de minerales en un área del hueso (Afsarimanesh, Mukhopadhyay & Kruger, 2018).

En las últimas décadas se ha venido estudiando la salud ósea alcanzando un enorme progreso, a comparación de años pasados donde prácticamente no se sabía casi nada acerca de este tema, este avance ha dado paso a un desarrollo mucho más detallado de todos los factores que promueven la salud ósea y a su vez otros factores que pueden causar enfermedades óseas y fracturas. Por ejemplo, ahora se sabe que la actividad física y el consumo adecuado de vitamina D contribuyen a una adecuada salud ósea para las personas de todas las edades. Sin embargo, la comunidad en general no toma consciencia de lo peligroso que es el no considerar estos elementos para su propio bienestar (Williams, 2016).

2.2.2 Densidad Mineral Ósea y Contenido Mineral Óseo

En el entorno médico adecuado y correcto, existen varias herramientas de diagnóstico que desafortunadamente son costosas y sólo las personas las cuales tienen un mayor riesgo o enfermedad deben ser sometidas. El reto que se impone a lo largo de los últimos años de estudios sobre la salud ósea sin duda ha sido encontrar maneras más simples de identificar personas con mayor necesidad de una evaluación más profunda o alguna especie de señal que pueda alertar a la persona para que se preocupe más por su salud. Por lo tanto, en contraste con los enfoques de salud pública para la salud ósea en áreas como nutrición y actividad física (que pueden dirigirse a toda la población), se tiene que analizar posibles herramientas que puedan identificar e intervenir con aquellos que están en mayor riesgo de una futura fractura. Se tiene que evaluar los riesgos en todas las edades, por lo tanto, los exámenes deben tomar en

cuenta la ingesta de calcio y vitamina D, la actividad física y los comportamientos adversos que una persona afronta como el tabaquismo.

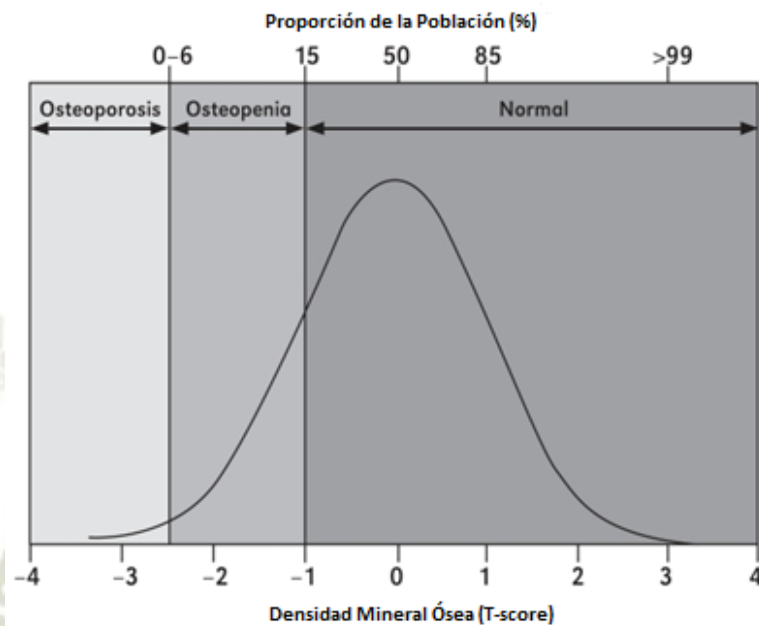


Figura 2.1 Distribución de la Densidad Mineral Ósea en mujeres sanas con edades entre 30-40 años. Fuente:(Kanis, 2002)

La densitometría ósea o también llamada absorciometría de rayos X dual (DEXA) , que es una prueba que te indica los niveles de DMO (Densidad Mineral Ósea) y CMO (Contenido Mineral Óseo) del paciente y su situación actual frente a los niveles adecuados que se deberían tener, debería realizarse para todas las personas en general, como una especie de alerta que les pueda ayudar enfocarse en aquello que les falta en su alimentación o actividad física y así no sufrir de condiciones médicas en el futuro (Lüftner, Niepel & Steger, 2018).

La DMO de un individuo se puede comparar con el valor medio en una población de referencia, como adultos jóvenes sanos. La diferencia entre la DMO de un individuo y la DMO promedio para la población de referencia se puede expresar en unidades de

desviación estándar (DE); una puntuación de 0 indica DMO igual a la media; una puntuación de +1 indica una desviación estándar por encima de la media, y una puntuación de -1 es una desviación estándar por debajo. Cuando se compara la DMO de un individuo con la puntuación media de DMO en una población joven sana, esta medición de la desviación estándar se conoce como una puntuación T (T-Score). El puntaje T se calcula con la siguiente fórmula:

DMO el Paciente - Media normal de jóvenes

Desviación Estándar de la media normal en jóvenes

DXA no solo se puede utilizar para hacer un diagnóstico inicial y una decisión de tratamiento, sino que también es lo suficientemente preciso para monitorizar pacientes a lo largo del tiempo, siempre que el intervalo entre mediciones se adapte a la situación específica del paciente. Se requiere que haya una mayor investigación sobre los mejores regímenes para las pruebas de seguimiento y sobre la mejor forma de interpretar los cambios en la DMO en estas pruebas de seguimiento. Esta sección informa sobre los enfoques más apropiados, dado el estado actual de la evidencia científica.

2.2.3 Osteoporosis

La osteoporosis es una enfermedad que tiene como principal factor, el de bajar la cantidad de masa ósea en el cuerpo y deteriorar la estructura de los huesos, y como resultado causa fragilidad en los huesos y el incremento del riesgo de fracturas. La Organización Mundial de la Salud ha definido la osteoporosis como un valor de

densidad mineral ósea (DMO) de más de 2.5 desviaciones estándar por debajo de la media para las mujeres blancas jóvenes normales. Esta enfermedad es muy común en la mayoría de las personas y puede tener consecuencias muy críticas como la fractura de huesos importantes, heridas que a veces pueden conducir a otros defectos físicos y mentales. La Osteoporosis generalizada es el tipo más común de esta enfermedad, afectando a la mayor parte del cuerpo. La osteoporosis también puede afectar a partes específicas del esqueleto y como resultado de lesiones reduce la fuerza del músculo (Seeman, 2003).

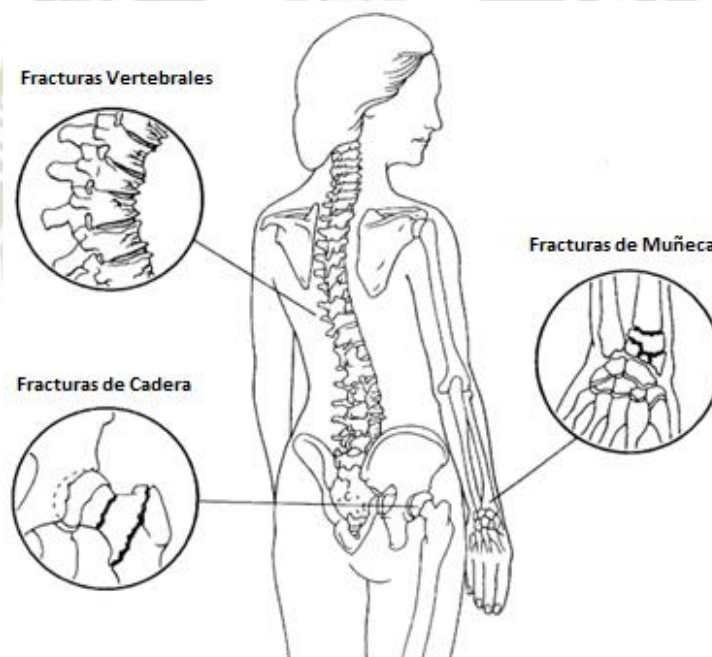


Figura 2.2 Principales áreas de Fractura en la Osteoporosis. Fuente: ("Home - National Osteoporosis Foundation", 2018).

Otro tipo de osteoporosis es la relacionada con la edad, la cual es causada por diferentes causas como la alimentación, la pérdida de hueso que conduce a esta enfermedad frecuentemente comienza en una edad temprana donde se podría evitar proporcionando una correcta dieta y actividad física. La osteoporosis es dos o tres

veces más común en mujeres, debido a que las mujeres tienen dos fases de pérdida sustancial de masa ósea, una fase que comienza en la menopausia y dura de 4 a 8 años, seguido de una fase lenta y continua en posteriores años (Riggs, Khosla & Melton, 2002).

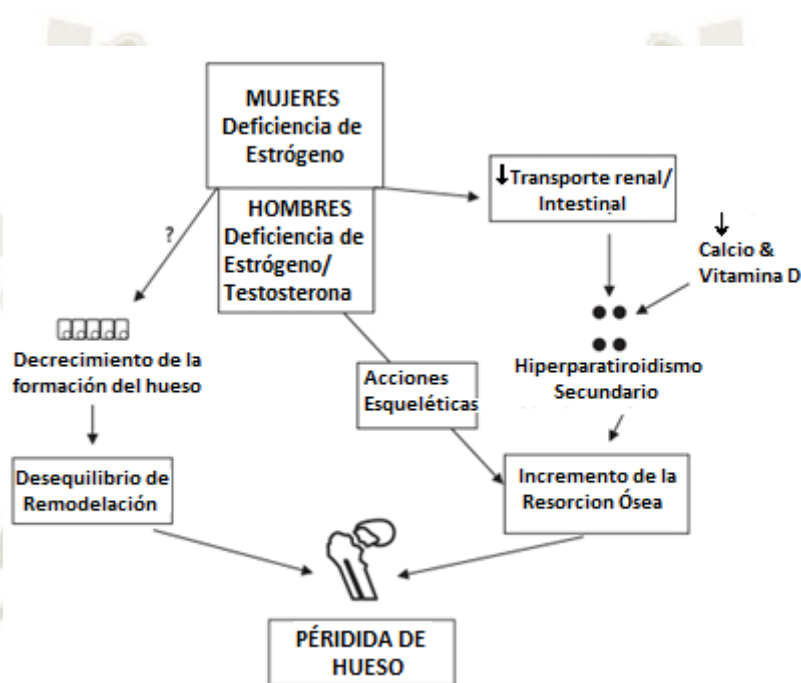


Figura 2.3 Representación esquemática del modelo de pérdida ósea en mujeres posmenopáusicas y hombres en edad avanzada. Fuente: (Khosla et al., 1998)

2.2.4 Osteopenia

La osteopenia es una condición que tiene la característica de la disminución en la densidad mineral ósea, la cual puede ser la etapa antes de la presencia de osteoporosis. Pero hay que tener en cuenta que no todas las personas que sufren de osteopenia van a desarrollar osteoporosis. Para calcular la osteopenia en base a datos estadísticos se ha definido por la Organización Mundial de la Salud como una medida T (T Score) que sea menor a -1 y mayor a -2.5, la cual se determina mediante la prueba

de densitometría ósea. Dicha escala hace mención a la medida de densidad ósea de la población sana del mismo sexo con más de 20 años de edad.

En consecuencia, la osteopenia es una situación epidemiológica en la que se tiene que la densidad mineral ósea no es ni normal ni osteoporótica. La causa principal de crear esta definición densitométrica fue de aplicarla únicamente para realizar una clasificación desde un punto de vista epidemiológico, y no para usarla en la práctica clínica. Sin embargo, se ha extendido su utilización en la práctica clínica habitual dados recientes estudios. (Nitta, Yajima & Tsuchiya, 2017).

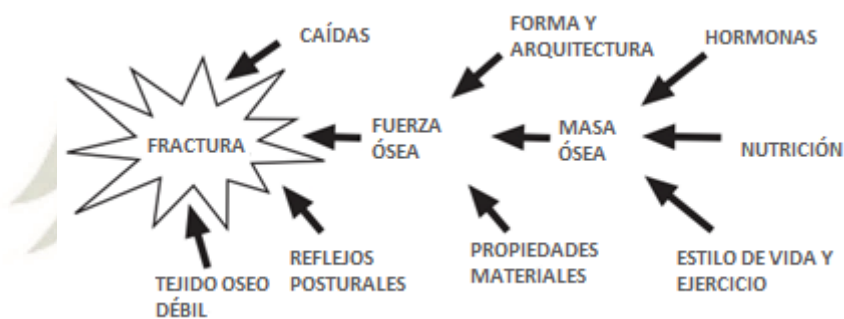


Figura 2.4 Factores que influyen en la fractura de la masa ósea Fuente: (Lupsa & Insogna, 2015).

2.2.5 Aprendizaje Automático

El aprendizaje automático es considerado como una disciplina en el campo de la inteligencia artificial que se encarga de desarrollar sistemas capaces de aprender automáticamente. En este mismo contexto, podemos decir que, al referirnos con aprender, no estamos llevándolo al contexto social común, sino de aprender patrones complejos con una enorme cantidad de datos. Lo que tenemos que tener en cuenta es que lo que se llama máquina para este término, verdaderamente se considera un

algoritmo que supervisa los datos y es capaz de predecir comportamientos futuros (Byrne, 2017).

Hay muchos ámbitos donde se puede aplicar el aprendizaje automático, pero el más significativo e importante es la minería de datos. Las personas habitualmente están propensas a cometer errores durante análisis o más específicamente cuando tratan de relacionar diferentes características en su conjunto de datos. Estos errores tienden a confundirlos aún más en las soluciones de ciertos problemas que se puedan presentar. Es ahí donde entra el aprendizaje automático que puede ser aplicado diseñando diferentes algoritmos para clasificar todas las características importantes que considere dada una serie de iteraciones que ayude al sistema a comprender la estructura de los datos (Crown, 2015).

El aprendizaje automático tiene una serie de aplicaciones en diferentes contextos, ya sea sociales o científicos, estas aplicaciones se incluyen en diagnósticos médicos, análisis del mercado de valores, motores de búsqueda, detección de fraude en uso de tarjetas de crédito, clasificación de secuencias de ADN, lenguaje escrito, videojuegos, robótica y reconocimiento del habla. También últimamente muchas actividades se están aprovechando en el sector de ventas como el de compras online ya que usan estos métodos para recomendar productos casi instantáneamente para cada cliente al final de un proceso de compra que este haga, a su vez anuncios relacionados de lo que compró aparecen en diferentes páginas web, también los filtros anti-spam llevan sacando partido a esta tecnología. En sí, cualquier conjunto de datos

estructurado puede ser utilizado con técnicas de aprendizaje automático al ayudar a predecir alguna de las características que tengan esos datos (Byrne, 2017).

2.2.6 Algoritmos de Aprendizaje Supervisado

El aprendizaje automático inductivo es el proceso de enseñar a base de un conjunto de reglas con iteraciones (por ejemplo, en un conjunto de datos de entrenamiento), o en términos más amplios, crear un clasificador que pueda ser usado para generar nuevas iteraciones de aprendizaje, dado la retroalimentación de una iteración anterior.

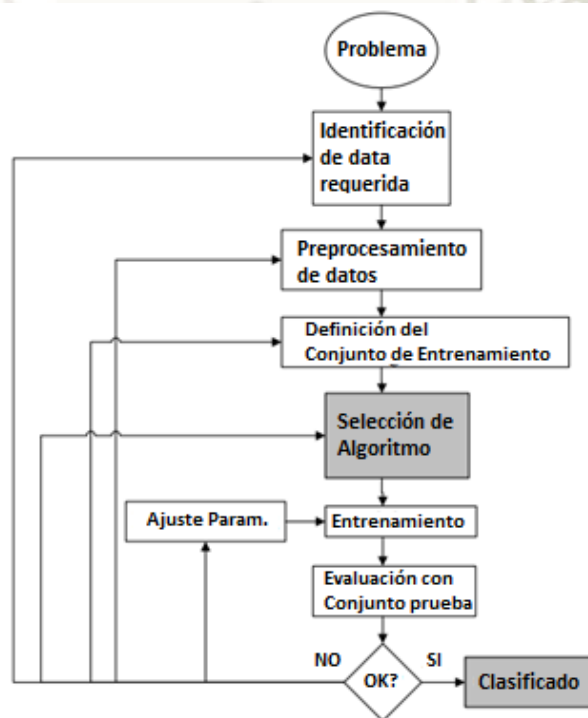


Figura 2.5 Proceso de aprendizaje automático supervisado. Fuente: (Maglogiannis, 2007)

La primera etapa para realizar el aprendizaje automático en general es la recolección de la data que vamos a analizar, este es uno de los pasos primordiales, y

que por ende va a ser crucial a la hora de que dichos datos nos proporcionen resultados efectivos o lo que a su vez se traduce como predicciones acertadas. Para realizar esta recolección adecuadamente se debería consultar en el mejor de los casos a un experto en el campo de los datos que se van a analizar y que sugiera cuáles son los atributos y características que servirán de una mejor manera en nuestro estudio, consecuentemente en la limpieza y procesamiento de los datos iremos descartando los que se consideren ambiguos o puedan afectar a la clasificación que haremos (Yu & Liu, 2004).

El paso que le sigue a la recolección de datos y a su vez uno muy crucial también es el preprocesamiento de datos o la preparación de estos. Dependiendo de las circunstancias ya sea si un experto nos ayudó o no en recolectar nuestros datos e identificar los más relevantes, se tienen varias maneras o métodos para realizar esta tarea. Estos métodos principalmente están enfocados en reducir y detectar el ruido de nuestros datos, es decir, que nos puede decir si nuestros datos tienen sentido o tenemos que eliminar algún atributo o característica para tener un correcto conjunto de datos. Se pueden tener algunas ventajas y desventajas según la técnica que usemos, debemos considerar que técnica le sirve a nuestros datos dados los resultados obtenidos. Esta fase no solo es para eliminar el ruido de nuestros datos, sino que será determinante a la hora de aplicar algún algoritmo de clasificación que ayudará en el aprendizaje, mientras más cantidad de datos tengamos, tenemos que tener la menor cantidad posible de características según es lo recomendado, esto también ayudará al

algoritmo a hacer una correcta clasificación y por ende se mejorará nuestra predicción dentro de los datos que no son de entrenamiento (Lynch et al., 2017).

La correcta elección de un algoritmo de aprendizaje que usaremos, será crítico a la hora de la precisión de nuestro análisis en este caso enfocado a la clasificación. Para esto tenemos que determinar el mejor algoritmo que se adecue con nuestros datos, dada la cantidad de atributos que tengamos y el tipo que sean. Una vez que tengamos realizadas satisfactoriamente las pruebas previas, el clasificador que usemos (que servirá de mapeo de atributos sin etiqueta a datos clasificados) estará disponible para el futuro uso de cantidades más grandes de datos (Kazemian & Ahmed, 2015).

La evaluación para el clasificador que usaremos estará basada principalmente en la precisión que tenga en clasificar los datos (que se calculará del porcentaje de instancias correctamente clasificados entre el número total de instancias clasificadas). Normalmente para realizar esta evaluación se utilizan al menos 3 técnicas las cuales son usadas para calcular la precisión de nuestro clasificador

2.2.7 WEKA

En la actualidad contamos con varias herramientas que utilizan técnicas de aprendizaje automático, entre ellas tenemos WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis). Dicha herramienta es una aplicación que se usa para el análisis de datos con técnicas de aprendizaje automático. Está escrito en Java, contiene una colección de módulos de visualización y un paquete de algoritmos para el análisis de conjuntos de datos y modelado predictiva, ordena junto a una interfaz gráfica que permite al usuario a ingresar fácilmente a sus funcionalidades que le brinda la

herramienta. Tiene la capacidad de realizar varias tareas estándar de minería de datos, especialmente en la etapa del preprocesamiento de datos, el clustering (ordenamiento en grupos), clasificación, regresión, visualización y selección.

Para realizar la comparación de efectividad en los algoritmos que utilizaremos la herramienta WEKA principalmente porque es amigable para los profesionales de la salud y entendible ya que arroja resultados muy claros, pero a su vez un detalle que nos sirve para este análisis. Por otro lado, es un software de libre acceso lo que quiere decir que no está bajo ninguna licencia y conjuntamente el mismo hecho de ser libre hace que la comunidad apoye en mejorarla constantemente, de hecho, se tiene un apartado de paquetes que te permite descargar nuevos algoritmos aprobados para la utilización en esta herramienta por lo que se va actualizando constantemente según surjan nuevos modelos para las diferentes tareas estándar que se tiene. Por último, la ventaja de utilizar esta herramienta es que es muy eficaz a la hora de entregar resultados, rápido al momento de analizar los datos según se tenga una cantidad determinada de estos y efectivo.

Para poder utilizar todas las técnicas que nos ofrece WEKA es fundamental que la asunción de los datos esté disponible en un fichero plano (flat-file) o una relación en la que cada registro de datos esté descrito por un número fijo de atributos (normalmente entre numéricos y nominales, aunque también se pueden soportar otros tipos).

Se realizará un análisis primeramente por género por lo que los datos como se mostró anteriormente fueron separados por hombres y mujeres sacando un resumen

de lo más relevante de estos. Se separó todo el conjunto de datos en varios archivos .csv que se trabajarán individualmente con todos los algoritmos utilizados, a su vez el análisis se partirá en 3 partes para determinar qué algoritmos son los mejores de cada 3 que se evalué. Se determinará el mejor de entre los 3 grupos y se realizará el mismo análisis para determinar cuál sería el mejor comparando estos.

2.2.8 Metodología de Desarrollo RUP

La metodología de desarrollo de software RUP (Proceso Unificado Racional) tiene como finalidad asegurar el desarrollo y entrega de un software de buena calidad, con unos plazos determinados y presupuestos que se pueden controlar, procurando siempre cumplir las necesidades de los usuarios. Esta metodología tiene 3 principales características que la pueden distinguir las cuales son primeramente que la metodología está dirigida por casos de usos. Un caso de uso es un fragmento de funcionalidad del sistema que tiene la tarea de brindar al usuario un valor agregado. Representan los requisitos funcionales del sistema, sirviendo como una guía de trabajo para las etapas del diseño, implementación y prueba del sistema.

La segunda característica es que este proceso está centrado en la arquitectura que es la estructura de los componentes más importantes, permite un punto de vista preciso del sistema y los componentes que involucra, por esto no se debe ver afectada ante futuros cambios durante la construcción y mantenimiento del sistema. Como última característica tenemos que es un proceso iterativo e incremental el cual divide el trabajo en procesos cortos, cada uno es una iteración pasando por los flujos de los requisitos, análisis, diseño, implementación y pruebas. En cada iteración se refinan

todos los flujos de trabajo y se puede determinar si hay nuevos requisitos que se deba revisar o algún cambio.

Las principales ventajas que tiene el usar la metodología son:

- **Desarrollo de software iterativo:** Iteraciones con fases bien definidas, en las cuales se repiten las actividades, pero con diferente enfoque el cual después será ensamblado con los demás para construir el sistema.
- **Desarrollo basado en componentes:** Para el caso de la creación de sistemas complejos y sea necesario dividir el sistema en componentes, se manejan interfaces definidas que interactúan entre sí para crear el sistema.
- **Modelado visual:** Utilizando UML que es un lenguaje para visualizar, especificar, construir y documentar el software. Se utiliza herramientas de modelado visual que facilita la gestión de dichos modelos.
- **Verificación continua de calidad:** Como el proceso es iterativo se verificarán todo el desarrollo un número determinado de veces, lo cual aumentará la calidad del software.
- **Gestión de requisitos:** Posee una guía para descubrir, organizar, documentar, y seguir los cambios de los requisitos funcionales y restricciones. Utiliza una notación de Caso de Uso.
- **Gestión de cambio:** Se puede controlar los cambios en cada iteración u observar si es que la aplicación necesita cambios para optimizar su desempeño o mejorar su usabilidad.

Esta metodología posee 4 fases:

- **Inicio:** Se define el modelo que se quiere realizar y el alcance que va a tener. Se identifican los actores y casos de uso. Se desarrolla un plan para determinar qué recursos deben ser asignados al sistema.
- **Elaboración:** Se construye un prototipo de la arquitectura, que debe evolucionar en iteraciones sucesivas hasta convertirse en el sistema final. Este prototipo debe contener casos de uso.
- **Construcción:** Tiene como objetivo alcanzar una madurez operacional del sistema que se quiere crear de una forma incremental a través de las iteraciones. Los componentes deben ser implementados y probados en su totalidad, obteniendo una mejor versión del producto.
- **Transición:** En esta fase se transfiere el sistema creado a los usuarios finales, por lo que se requiere entrenar al usuario en el sistema, las restricciones y pautas que debe tener dicho usuario para manejar la aplicación y tareas relaciones con el ajuste configuración e instalación. Acá se mide la usabilidad del producto.

Para el desarrollo de este sistema se utilizarán los siguientes artefactos:

- **Artefactos de la Disciplina Modelado del Negocio:** Incluye los modelos de casos de uso de negocio, el actor, casos de uso, metas, trabajadores y entidades del negocio.
- **Artefactos del Flujo de Requerimientos:** Incluye los modelos de casos de uso, actores, casos de uso y especificaciones.
- **Artefactos de la disciplina de análisis y diseño:** Incluye el diagrama de clases y el diagrama de componentes.

A su vez se incluyen otros artefactos que puedan ayudar con el diseño del sistema, los cuáles se irán observando a lo largo de la documentación técnica.



CAPÍTULO 3: PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL CONOCIMIENTO

3.1 Población y Muestra

La población que se analizará son todos los estudiantes de colegios nacionales del distrito de José Luis Bustamante y Rivero, los cuales son aproximadamente 10000 alumnos entre 6 y 18 años de edad. Para nuestra muestra, utilizaremos la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{Z_a^2 \times p \times q}{d^2}$$

Nuestro nivel de confianza (Z) será del 99% de la cual su puntuación sería 2.58, para nuestra variabilidad (p y q) utilizaremos la máxima variabilidad debido a que partimos desde un punto inicial en el cual desconocemos la clasificación de la salud ósea de nuestra población, por lo que los valores serán $p=q=0.5$ o 50%. Por último, tomaremos un error máximo admisible (d) del 5% en términos de proporción y en base a todas. Reemplazando todas estas variables, una muestra representativa para nuestra población sería de 620 alumnos aproximadamente.

3.2 Recolección de Datos

El estudio se realizó con niños y adolescentes de 6 a 18 años de edad de la región de Arequipa, Perú. Se consideran diferentes colegios ubicados en esta ciudad como Inmaculada Concepción y Jorge Basadre. Todos los escolares seleccionados provinieron del nivel primario y secundario de colegios públicos de la zona. Las

instituciones educativas fueron seleccionadas por conveniencia (disponibilidad de participación). Se contó con un número total de escolares que estuvo conformado por 660 individuos (294 hombres y 366 mujeres). El número de elementos muestrales de cada conjunto formado fue directamente proporcional al tamaño de dicho conjunto (agrupados por edad y sexo) dentro de toda la población.

Los escolares fueron trasladados de sus colegios a las instalaciones del centro de pruebas y de vuelta en buses durante el horario escolar. Los sujetos fueron elegidos en un rango de edad específico que oscila entre los 6 y 18 años y provienen de familias no fumadoras. Se han excluido los escolares que presentaron limitaciones físicas que impidiera trasladarse por sí solos, lo que habían presentado algún problema respiratorio durante las tres últimas tres semanas y los que presentaba prótesis y/o implantes metálicos en alguna parte del cuerpo.

Con anterioridad a la autorización del consentimiento informado, se dio una charla a los padres y/o tutores sobre los objetivos del proyecto y los métodos por usar. Todos los padres firmaron el consentimiento informado en el que autorizaron la evaluación antropométrica de sus hijos. El estudio contó con el asentimiento informado para los niños y adolescentes. Se solicitaron los permisos de la Dirección de Administración de Educación Municipal y de las direcciones de colegios considerados en la investigación. Al final del desarrollo del proyecto, se entregó a cada padre y/o responsable el resultado de la evaluación antropométrica y de la composición corporal de sus hijos.

3.1.1 Procedimientos

Los datos, como la fecha de nacimiento, sexo y dirección de los hogares, se obtuvieron de las direcciones de los centros escolares. Las evaluaciones antropométricas se efectuaron desde febrero a abril del 2017, de lunes a viernes de 7 am a 10 am y de 2 pm a 5 pm dentro de un laboratorio cerrado. La evaluación de las variables antropométricas demoró aproximadamente 10 a 12 minutos por alumno. Este procedimiento estuvo a cargo de personal altamente entrenado.

Para la medición de las variables antropométricas, se utilizó el protocolo estandarizado por Ross, Marfell-Jones. Se evaluó el peso corporal (kg) utilizando una balanza electrónica con una escala de 0 a 150 kg y con precisión de 100g. La altura de pie se evaluó mediante un estadiómetro portátil con una precisión de 0.1mm, de acuerdo con el plano de Frankfurt. La altura sentada (altura tronco-cefálica) fue tomada usando un banco de madera con una altura de 50 cm, con una escala de medición de 0 a 150 cm y con una precisión de 1mm. La circunferencia de la cintura (CC), en cm, se midió en el punto medio entre las costillas inferiores y la parte superior de la cresta ilíaca con una cinta métrica Seca de metal y graduada en milímetros con una precisión de 0,1 cm. Las evaluaciones estuvieron a cargo de 4 antropometristas.

La maduración biológica se controló por medio de los años pico de velocidad de crecimiento (APVC). Este dato se predijo por medio de una ecuación de regresión propuesta por Mirwald. Esta técnica permite la clasificación en niveles (positivo o negativo), indicando el tiempo antes o después del pico de velocidad de crecimiento (PVC). El cero significa el momento en que se presentan los APVC. La edad biológica en

los hombres representa los niveles desde -7 hasta 3 APVC y, en las mujeres, desde -6 hasta 8 APVC.

Se hicieron 3 preguntas puntuales sobre la alimentación, actividad física y si la persona había fumado. Las respuestas se dividieron en 3: A Sí, B En ocasiones, C No. Según la teoría y las recomendaciones debemos de tomar en cuenta dichas preguntas para que nos ayude a determinar de una mejor manera si estos factores influyen directamente en la salud ósea de cada alumno o por el contrario no se encuentra ninguna relación con estos.

Para calcular la densidad mineral ósea y el contenido mineral ósea se han utilizado ecuaciones de regresión propuestas y valores referenciales sobre la salud ósea. Estas 4 ecuaciones tienen un poder explicativo del 76 al 84%, las fórmulas son las siguientes:

Tabla 3.1

Ecuación de Regresión para estimar la densidad mineral ósea basada en la maduración biológica e indicadores antropométricos en hombres.

Ecuaciones	VIF	R	R ²	SEE	p
Hombres					
$DMO = 0.605 + 0.056 * APHV + 0.008 * LongitudAntebrazo + 0.022 * DiámetroFémur$					
APHV	4.034	0.89	0.79	0.10	0.000
LongitudAntebrazo	4.099				
DiámetroFémur	1.867				

Fuente: (Gómez-Campos, Andruske, Arruda, Urrea Albornoz & Cossio-Bolaños, 2017)

Tabla 3.2

Ecuación de Regresión para estimar la densidad mineral ósea basada en la maduración biológica e indicadores antropométricos en mujeres.

Ecuaciones	VIF	R	R ²	SEE	p
Mujeres					
$CMO = 0.469 + 0.027 * APHV + 0.007 * LongitudAntebrazo + 0.019 * DiámetroFémur$					
APHV	3.150	0.87	0.76	0.08	0.000
LongitudAntebrazo	2.963				
DiámetroFémur	1.781				

Fuente: (Gómez-Campos, Andruske, Arruda, Urrea Albornoz & Cossio-Bolaños, 2017)

Tabla 3.3

Ecuación de Regresión para estimar el contenido mineral óseo basada en la maduración biológica e indicadores antropométricos en hombres

Ecuaciones	VIF	R	R ²	SEE	p
Hombres					
CMO = 0.43+0.18* APHV + 0.039*LongitudAntebrazo + 0.06*DiámetroFémur					
APHV	4.034	0.91	0.84	0.29	0.000
LongitudAntebrazo	4.099				
DiámetroFémur	1.867				

Fuente: (Gómez-Campos, Andruske, Arruda, Urrea Albornoz & Cossio-Bolaños, 2017)

Tabla 3.4

Ecuación de Regresión para estimar el contenido mineral óseo basada en la maduración biológica e indicadores antropométricos en mujeres.

Ecuaciones	VIF	R	R ²	SEE	p
Mujeres					
CMO = 0.077+0.07* APHV + 0.032*LongitudAntebrazo + 0.48*DiámetroFémur					
APHV	3.150	0.91	0.83	0.19	0.000
LongitudAntebrazo	2.963				
DiámetroFémur	1.781				

Fuente: (Gómez-Campos, Andruske, Arruda, Urrea Albornoz & Cossio-Bolaños, 2017)

A partir de las variables evaluadas se efectuó un análisis estadístico descriptivo (frecuencias, porcentajes, media aritmética y desviación estándar) para ambos sexos. Las diferencias entre las bases de datos (entrenamiento y el experimento) se verificaron por medio del test T para muestras relacionadas.

También se utilizaron los puntos de corte para clasificar el conjunto de datos obtenido mediante percentiles divididos entre hombres y mujeres y a su vez ordenados por edades el cual nos indica en qué condición está cada persona evaluada con respecto a los resultados obtenidos de sus densidad mineral ósea y contenido mineral óseo, como se puede apreciar en los siguientes cuadros:

Tabla 3.5

Valores LMS y distribución de percentiles en base a la densidad mineral ósea del total de niños y adolescentes hombres basados en su edad.

Edad	L	M	S	P3	P5	P15	P25	P50	P75	P85	P95	P97
Hombres												
4.0–4.9	-0.0074	0.4999	0.00065	0.44	0.45	0.47	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.57
5.0–5.9	-0.0089	0.5430	0.00065	0.48	0.49	0.51	0.52	0.54	0.57	0.58	0.61	0.62
6.0–6.9	-0.0102	0.5865	0.00065	0.52	0.53	0.55	0.56	0.59	0.61	0.63	0.66	0.67
7.0–7.9	-0.0110	0.6306	0.00065	0.56	0.57	0.59	0.60	0.63	0.66	0.68	0.71	0.72
8.0–8.9	-0.0109	0.6758	0.00066	0.60	0.61	0.63	0.65	0.68	0.71	0.73	0.76	0.77
9.0–9.9	-0.0098	0.7241	0.00065	0.64	0.65	0.68	0.69	0.72	0.76	0.78	0.81	0.83
10.0–10.9	-0.0074	0.7764	0.00065	0.69	0.70	0.73	0.74	0.78	0.81	0.83	0.87	0.88
11.0–11.9	-0.0027	0.8316	0.00064	0.74	0.75	0.78	0.80	0.83	0.87	0.89	0.92	0.94
12.0–12.9	0.0033	0.8886	0.00062	0.79	0.80	0.83	0.85	0.89	0.93	0.95	0.98	1.00
13.0–13.9	0.0090	0.9461	0.00059	0.84	0.86	0.89	0.91	0.95	0.98	1.00	1.04	1.05
14.0–14.9	0.0132	10.023	0.00055	0.90	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.06	1.09	1.11
15.0–15.9	0.0150	10.527	0.00052	0.95	0.96	1.00	1.02	1.05	1.09	1.11	1.14	1.15
16.0–16.9	0.0144	10.962	0.00048	1.00	1.01	1.04	1.06	1.10	1.13	1.15	1.18	1.19
17.0–17.9	0.0124	11.327	0.00044	1.04	1.05	1.08	1.10	1.13	1.17	1.18	1.21	1.23
18.0–18.9	0.0101	11.657	0.0004	1.08	1.09	1.12	1.13	1.17	1.20	1.21	1.24	1.25

Fuente: (Gómez-Campos, Andruske, Arruda, Urra Albornoz & Cossio-Bolaños, 2017) .

Tabla 3.6

Valores LMS y distribución de percentiles en base a la densidad mineral ósea del total de niñas y adolescentes mujeres basados en su edad.

Edad	L	M	S	P3	P5	P15	P25	P50	P75	P85	P95	P97
Mujeres												
4.0–4.9	0.0209	0.5280	0.00044	0.48	0.49	0.50	0.51	0.53	0.54	0.55	0.57	0.57
5.0–5.9	0.0195	0.5611	0.00044	0.51	0.52	0.53	0.54	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61
6.0–6.9	0.0179	0.5956	0.00045	0.54	0.55	0.57	0.58	0.60	0.61	0.62	0.64	0.64
7.0–7.9	0.0164	0.6322	0.00045	0.58	0.58	0.60	0.61	0.63	0.65	0.66	0.68	0.68
8.0–8.9	0.0152	0.6710	0.00045	0.61	0.62	0.64	0.65	0.67	0.69	0.70	0.72	0.73
9.0–9.9	0.0142	0.7118	0.00045	0.65	0.66	0.68	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.77
10.0–10.9	0.0138	0.7539	0.00045	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.78	0.79	0.81	0.82
11.0–11.9	0.0139	0.7962	0.00045	0.73	0.74	0.76	0.77	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86
12.0–12.9	0.0144	0.8361	0.00045	0.76	0.77	0.80	0.81	0.84	0.86	0.87	0.90	0.91
13.0–13.9	0.0146	0.8710	0.00044	0.80	0.81	0.83	0.84	0.87	0.90	0.91	0.93	0.94
14.0–14.9	0.0134	0.9012	0.00044	0.83	0.84	0.86	0.87	0.90	0.93	0.94	0.97	0.98
15.0–15.9	0.0101	0.9281	0.00044	0.85	0.86	0.89	0.90	0.93	0.96	0.97	0.99	1.00
16.0–16.9	0.0051	0.9524	0.00043	0.88	0.89	0.91	0.92	0.95	0.98	1.00	1.02	1.03
17.0–17.9	-0.000	0.9744	0.00043	0.90	0.91	0.93	0.95	0.97	1.00	1.02	1.05	1.06
18.0–18.9	-0.006	0.9951	0.00042	0.92	0.93	0.95	0.97	1.00	1.02	1.04	1.07	1.08

Fuente: (Gómez-Campos, Andruske, Arruda, Urra Albornoz & Cossio-Bolaños, 2017) .

Tabla 3.7

Valores LMS y distribución de percentiles en base a el contenido mineral óseo del total de niños y adolescentes hombres basados en su edad.

Edad	L	M	S	P3	P5	P15	P25	P50	P75	P85	P95	P97
Hombres												
4.0–4.9	0.0053	0.2523	0.0024	0.15	0.16	0.19	0.21	0.25	0.30	0.32	0.36	0.38
5.0–5.9	0.0059	0.3914	0.0022	0.24	0.26	0.30	0.33	0.39	0.45	0.49	0.55	0.57
6.0–6.9	0.0065	0.5339	0.0021	0.34	0.36	0.42	0.46	0.53	0.61	66	0.73	0.76
7.0–7.9	0.0073	0.6802	0.0019	0.45	0.47	0.55	0.59	0.68	0.77	0.82	0.91	0.94
8.0–8.9	0.0085	0.8311	0.0016	0.56	0.60	0.68	0.73	0.83	0.93	0.98	1.08	1.11
9.0–9.9	0.0101	0.9924	0.0010	0.69	0.73	0.83	0.89	0.99	1.10	1.16	1.25	1.29
10.0–10.9	0.0120	11.673	0.0014	0.84	0.88	0.99	1.05	1.17	1.28	1.34	1.44	1.48
11.0–11.9	0.0143	13.531	0.0013	1.00	1.05	1.16	1.23	1.35	1.47	1.53	1.63	1.67
12.0–12.9	0.0167	15.455	0.0011	1.17	1.22	1.35	1.42	1.55	1.66	1.73	1.83	1.86
13.0–13.9	0.0189	17.392	0.0010	1.36	1.41	1.54	1.61	1.74	1.86	1.92	2.02	2.06
14.0–14.9	0.0204	19.228	0.0009	1.55	1.60	1.73	1.80	1.92	2.04	2.10	2.20	2.23
15.0–15.9	0.0209	20.860	0.0008	1.73	1.78	1.90	1.97	2.09	2.20	2.26	2.35	2.39
16.0–16.9	0.0207	22.234	0.0007	1.89	1.93	2.05	2.11	2.22	2.33	2.39	2.48	2.51
17.0–17.9	0.0201	23.363	0.0006	2.02	2.07	2.17	2.23	2.34	2.44	2.49	2.58	2.61
18.0–18.9	0.0194	24.378	0.0005	2.15	2.19	2.28	2.34	2.44	2.53	2.58	2.67	2.70

Fuente: (Gómez-Campos, Andruske, Arruda, Urrea Albornoz & Cossio-Bolaños, 2017) .

Tabla 3.8

Valores LMS y distribución de percentiles en base a el contenido mineral óseo del total de niñas y adolescentes mujeres basados en su edad.

Edad	L	M	S	P3	P5	P15	P25	P50	P75	P85	P95	P97
Mujeres												
4.0–4.9	0.0084	0.4257	0.0015	0.30	0.32	0.36	0.38	0.43	0.47	0.50	0.54	0.55
5.0–5.9	0.0092	0.5189	0.0014	0.38	0.39	0.44	0.47	0.52	0.57	0.60	0.65	0.66
6.0–6.9	0.0098	0.6199	0.0013	0.46	0.48	0.53	0.56	0.62	0.68	0.71	0.76	0.78
7.0–7.9	0.0104	0.7311	0.0012	0.56	0.58	0.63	0.67	0.73	0.79	0.83	0.88	0.91
8.0–8.9	0.0109	0.8510	0.0011	0.66	0.68	0.75	0.78	0.85	0.92	0.95	1.01	1.04
9.0–9.9	0.0115	0.9770	0.0010	0.77	0.80	0.87	0.90	0.98	1.05	1.09	1.15	1.17
10.0–10.9	0.0120	11.054	0.0010	0.89	0.92	0.99	1.03	1.11	1.18	1.22	1.29	1.31
11.0–11.9	0.0126	12.324	0.0009	1.01	1.04	1.11	1.15	1.23	1.31	1.35	1.42	1.45
12.0–12.9	0.0132	13.503	0.0008	1.12	1.15	1.23	1.27	1.35	1.43	1.47	1.54	1.57
13.0–13.9	0.0135	14.515	0.0008	1.22	1.25	1.32	1.37	1.45	1.53	1.57	1.65	1.67
14.0–14.9	0.0131	15.374	0.0007	1.30	1.33	1.41	1.45	1.54	1.62	1.66	1.73	1.76
15.0–15.9	0.0116	16.123	0.0007	1.38	1.41	1.48	1.53	1.61	1.69	1.74	1.81	1.84
16.0–16.9	0.0094	16.786	0.0007	1.45	1.48	1.55	1.60	1.68	1.76	1.81	1.88	1.91
17.0–17.9	0.0068	17.369	0.0007	1.51	1.54	1.61	1.65	1.74	1.82	1.87	1.94	1.97
18.0–18.9	0.0040	17.901	0.0006	1.57	1.60	1.67	1.71	1.79	1.87	1.92	2.00	2.03

Fuente: (Gómez-Campos, Andruske, Arruda, Urrea Albornoz & Cossio-Bolaños, 2017) .

3.3 Preprocesamiento de Datos

El preprocesamiento de los datos incluye una serie de pasos que se puede utilizar para manejar nuestros datos y prepararlos para su modelamiento e implementación. Estos pasos se aplican dependiendo de la complejidad con la que estén relacionados nuestros atributos en nuestro conjunto de datos. En el análisis de la

salud ósea que manejamos tenemos algunos registros que no nos van a ayudar realmente a clasificar adecuadamente todo nuestro conjunto de datos en base a nuestros datos de entrenamiento ya sea porque se tiene data mal tomada, falta de datos en los registros, valores que no tienen sentido entre otras razones por la cual afectaría a la clasificación.

Para realizar esta etapa tenemos los siguientes procesos de limpieza de datos y discretización en el modelo del proceso de extracción de información.

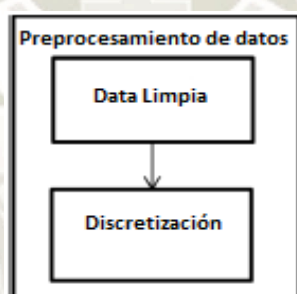


Figura 3.1 Preprocesamiento de Datos.

3.3.1 Limpieza de Datos

En este caso el primer paso para preparar nuestros datos sería la limpieza de estos. Este paso se realiza llenando datos faltantes, filtrando datos ruidosos, removiendo o identificando valores atípicos y resolviendo inconsistencias entre los datos.

En nuestro estudio en primer lugar no podríamos llenar datos faltantes que sean vitales para la clasificación ya que tratamos con data delicada, en este caso sería eliminar los registros que se encuentren con datos faltantes por lo que disminuiría la cantidad de nuestros datos que poseemos. Por otro lado, los datos que no sean relevantes que nos falten, pero los demás que sí podrían ayudarnos en la clasificación,

podríamos obviarlos, un ejemplo para nuestra data sería el nombre del estudiante ya que se encontró que algunos no tenían nombre, pero si el resto de los datos por lo que si se incluyen en el análisis que estamos realizando. Consecuentemente se tiene que eliminar la data ruidosa, lo cual consiste en los valores aleatorios de error o la varianza en los datos de medida. Existen algunas técnicas para disminuir el ruido como el método binning que consiste en ordenar los datos y encontrar una relación entre un rango de valores limitados. Otro método es el de regresión que utiliza una función que devuelve los valores que realmente deberían pertenecer a todo nuestro conjunto de datos. Por último, tenemos el análisis de datos atípicos que se puede realizar con un conjunto de datos no muy grande el cual es nuestro caso por el momento y es la técnica que usaremos, por lo que agrupamos los datos de forma que tengamos un rango de valores aceptable y que tengan sentido entre sí. En este caso se encontraron algunos datos fuera de estos rangos por lo que se deduce que se tomaron mal los datos, se pusieron valores incorrectos o no se hizo una buena transición de datos de papel a digital.

3.3.2 Discretización

La discretización es un método que convierte las variables continuas en variables discretas. Esto quiere decir que transforma la data numérica mapeando valores a intervalos determinados o etiquetas. Tal transformación sirve para tener una data más organizada y así poder utilizar las técnicas de aprendizaje automático de una manera más eficaz o con un nivel de detalle que podría mejorar. Aunque se tienen varios métodos y herramientas para realizar la discretización como el análisis de

histograma, análisis grupal (clústeres), análisis por medio de árboles de decisión y análisis de correlación.

Por lo tanto, por medio de los percentiles presentados anteriormente, ordenamos nuestros datos en su rango correspondiente para determinar si una persona posee una buena o mala salud ósea y que enfermedad podría tener en base a su densidad mineral ósea y contenido mineral óseo. Según el conjunto de datos recopilados y separándolos por género tendríamos el siguiente cuadro:

Tabla 3.9

Tabla de los datos recopilados de niños y adolescentes de los colegios Inmaculada Concepción y Jorge Basadre del sector de Arequipa según género.

Variables	Hombres		Mujeres		Total	
	X	DE	X	DE	X	DE
Antropometría						
N	294		366		660	
E.C. (años)	15	1.432	14.9	1.3465	14.9455	1.3937
Edad Biológica (APHV)	15.1	0.701	17	0.8553	16.1705	1.235
Peso (KG)	58.6	13.11	54.2	9.5793	56.1685	11.478
Estatura parado (cm)	164	7.884	156	6.9959	159.652	8.4302
Estatura Sentado (cm)	84.8	5.481	83	3.5072	83.7867	4.6487
Antebrazo (cm)	25.1	1.733	24.2	1.481	24.6039	1.6643
Circunferencia abdominal (cm)	77.3	10	74.3	7.8709	75.6212	9.0018
Longitud Codo (cm)	5.85	0.75	5.44	0.6748	5.62106	0.7393
Longitud Muñeca (cm)	5.02	0.802	4.74	0.6491	4.86561	0.7332
Longitud Rodilla	8.95	1.064	8.4	0.9458	8.64742	1.0361
Longitud Tobillo	6.25	0.778	5.9	0.7128	6.05561	0.7628
Longitud Pierna (cm)	46.5	2.767	44.6	2.6724	45.4309	2.8785
Salud Ósea						
BMD	2.68	0.08	1.94	0.057	2.27162	0.3711
BMC	6.92	0.239	23.4	1.2904	16.0535	8.27

3.4 Implementación en la herramienta

Para la implementación primeramente convertiremos todo nuestro conjunto de datos el cual tenemos de manera simple de registros a un archivo .csv que servirá para trabajarlo en la herramienta WEKA mencionada. Para esto simplemente cambiamos el formato que tenemos inicialmente a uno que ayude con la utilización de técnicas de aprendizaje automático. Conjuntamente con esto dividiremos nuestros datos entre hombre y mujeres para hacer un mejor análisis y ver cómo trabajan los algoritmos que utilizaremos en estos 3 distintos escenarios: Total de alumnos, sólo mujeres y sólo hombres. La precisión en la clasificación o los datos clasificados no debería variar mucho y por otro lado nos servirá para analizar en estos escenarios a los estudiantes por lo que se podría decir cuál de estos géneros tiene una mejor salud ósea en estas edades.

Seguidamente usaremos la herramienta WEKA e instalaremos todos los paquetes de algoritmos necesarios que no los tenga por defecto. Los algoritmos que utilizaremos los vimos en el anterior apartado del modelamiento por lo que en el caso de la implementación procederemos a instalarlos en esta aplicación para posteriormente hacer en análisis o la comparación de todos estos algoritmos y determinar cuál sería el que mejor clasifica a nuestro conjunto de datos.

Hecho esto tendríamos nuestra implementación de la siguiente manera que utilizaremos para nuestros 3 casos:

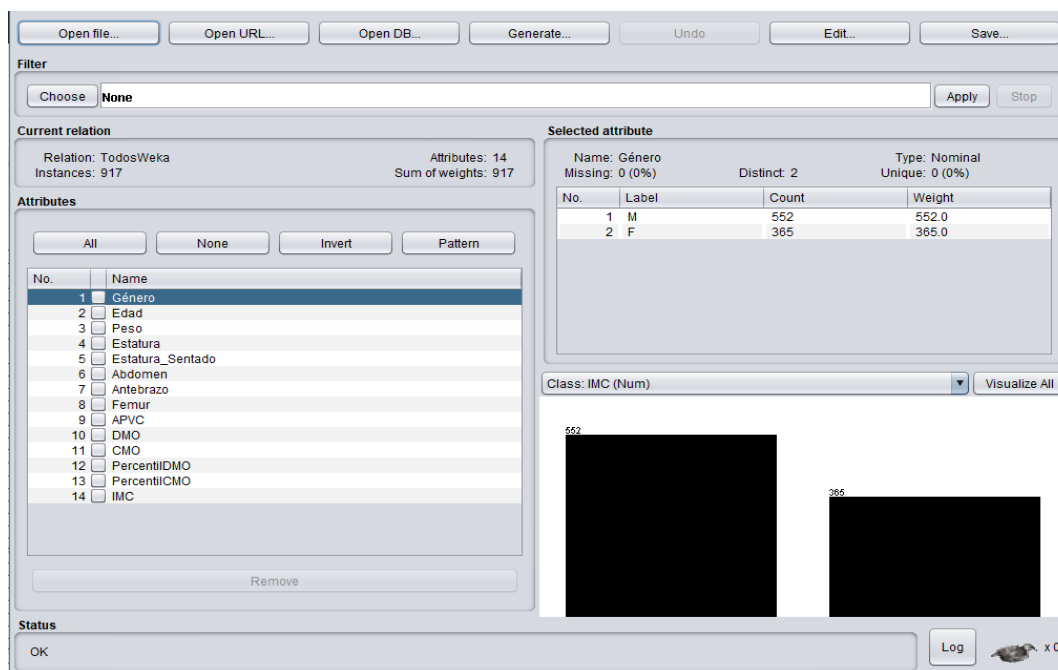


Figura 3.2 Implementación del conjunto de datos obtenidos de alumnos del sector de Arequipa.

Después de realizar el debido preprocesamiento mencionado nos quedamos con las variables que serán las más importantes para la clasificación de la salud ósea del conjunto de datos obtenido de la siguiente manera:

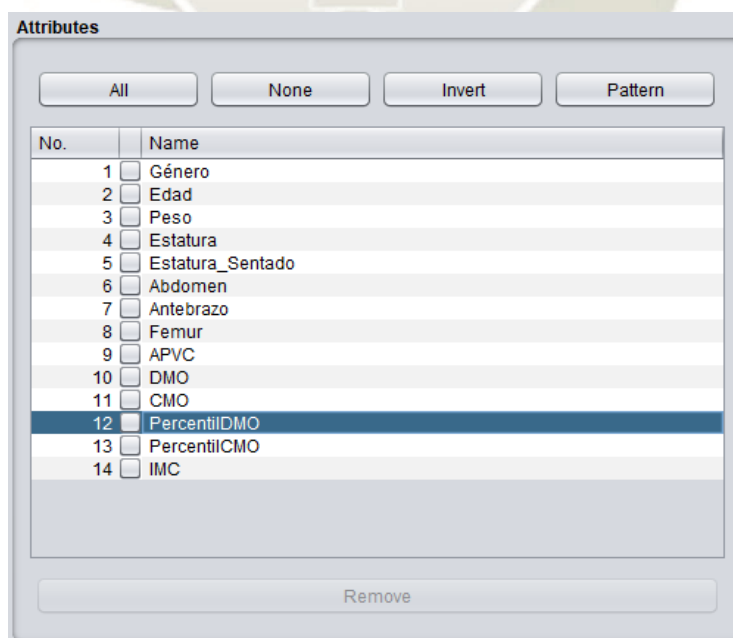


Figura 3.3 Atributos utilizados para el análisis KDD.

Luego de determinar cuáles son los atributos usaremos para este análisis, determinaremos los 9 algoritmos que se propuso en el modelamiento y que según lo que se obtuvo son los mejores para determinar la clasificación de la salud ósea. A continuación, veremos un ejemplo con el algoritmo Forest PA para determinar todos sus resultados:

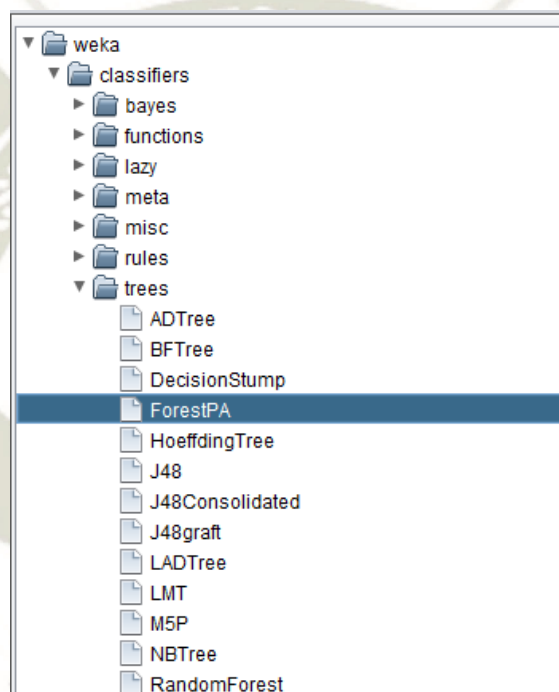


Figura 3.4 Selección del algoritmo para analizar en la herramienta WEKA.

El siguiente paso será el de seleccionar las opciones para el análisis adecuado, así como la variable a la que apuntará la clasificación que en este caso es en base a los percentiles mostrados anteriormente (Salud Ósea), como se mencionó en pasos anteriores, se usará un determinado porcentaje del total de atributos como entrenamiento (66%) y los demás como datos que clasificará el algoritmo de la siguiente manera:

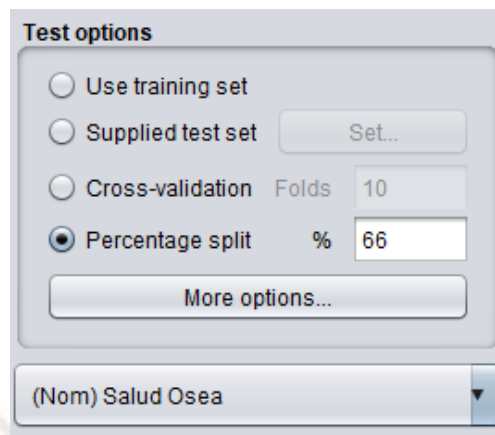


Figura 3.5 Selección de opciones para analizar un algoritmo de aprendizaje automático en la herramienta WEKA.

Al tener tanto el algoritmo como las opciones correctas y consecuentemente seleccionar la opción “Start” de la herramienta se tiene el siguiente resultado:

```

=== Evaluation on test split ===

Time taken to test model on test split: 0 seconds

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      291          93.2692 %
Incorrectly Classified Instances    21           6.7308 %
Kappa statistic                    0.8056
Mean absolute error                 0.087
Root mean squared error             0.1796
Relative absolute error             34.392 %
Root relative squared error         51.0016 %
Total Number of Instances          312

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,996   0,183   0,949     0,996   0,972     0,870   0,993   0,998   Normal
          0,755   0,023   0,870     0,755   0,808     0,775   0,979   0,898   Osteopenia
          0,611   0,007   0,846     0,611   0,710     0,705   0,975   0,810   Osteoporosis
Weighted Avg.   0,933   0,146   0,929     0,933   0,929     0,844   0,990   0,970

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  <-- classified as
240  1  0 |  a = Normal
 11 40  2 |  b = Osteopenia
  2  5 11 |  c = Osteoporosis
    
```

Figura 3.6 Resultado del análisis de clasificación para el algoritmo Forest PA con WEKA.

3.5 Comparación de Algoritmos

Para la siguiente fase del proceso de extracción de conocimiento (KDD) tenemos la comparación de algoritmos, los cuales hemos descrito en la fase del modelado, dividiremos en 3 partes los 9 algoritmos que usaremos agrupándolos por semejanzas entre ellos como los árboles binarios, redes bayesianas y tablas de decisión.

3.5.1 Validación Cruzada

Primeramente, haremos una validación cruzada que nos describe globalmente y de una forma directa cuál podría ser el mejor algoritmo en base a distintos indicadores que se presenta a continuación:

- **Instancias clasificadas correctamente:** Son los elementos que fueron clasificados correctamente según la matriz de confusión.
- **Instancias clasificadas incorrectamente:** Son los elementos que fueron clasificados incorrectamente según la matriz de confusión.
- **% clasificado correctamente:** Es el porcentaje de los elementos que fueron clasificados correctamente según la matriz de confusión.
- **% clasificado incorrectamente:** Es el porcentaje de los elementos que fueron clasificados incorrectamente según la matriz de confusión.
- **Estadística Kappa:** Es el indicador que nos ayuda a ver el efecto que tiene el azar en la proporción de la concordancia observado, esto quiere decir que si tenemos un número positivo quiere decir que la clasificación está mejor hecha que una realizada por el azar y mientras más alto sea el número nos dice que los elementos son distribuidos asimétricamente por los clasificadores.

- **Error medio absoluto:** Mide la magnitud promedio de los errores en un conjunto de predicciones sin considerar su dirección. Es el promedio sobre la muestra de prueba de las diferencias absolutas entre la clasificación hecha y la observación real donde todas las diferencias individuales tienen el mismo peso.
- **Raíz del error cuadrático medio:** Es una regla de puntuación cuadrática que también mide la magnitud promedio del error como el anterior indicador. Es la raíz cuadrada del promedio de las diferencias cuadradas entre la clasificación y la observación real.
- **Error absoluto relativo:** Es muy similar al error cuadrático relativo en el sentido que también es un simple predictor relativo, el cual es el promedio de los valores reales. Este indicador toma el error absoluto total y lo normaliza dividiéndolo por el error absoluto total del clasificador.
- **Raíz del error cuadrático relativo:** Este indicador toma el error cuadrado total y lo normaliza dividiéndolo por el error cuadrado total del clasificador. Al tomar la raíz cuadrada del error cuadrado relativo, se reduce el error a las mismas dimensiones que la cantidad que clasifica.

Por otro lado, observamos otros valores como la estadística Kappa que nos ayuda a ver el efecto del azar en la proporción de la concordancia observada, esto quiere decir que cuando tengamos un valor mayor, las instancias son distribuidas asimétricamente por los clasificadores. También tenemos el error medio absoluto que es la medida de una predicción entre sus variables, es decir, el error de pronóstico en el análisis dado.

3.5.2 Matriz de confusión

Es una matriz que permite la visualización del desempeño de un algoritmo que se emplea en aprendizaje supervisado. Cada columna representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa las instancias en la clase real. El principal beneficio de esta matriz es visualizar fácilmente cómo es que el algoritmo está clasificando las clases por lo que se ve cuando confunde su clasificación y en donde lo coloca según su aprendizaje. En este caso tendremos 9 diferentes instancias que representan los percentiles para determinar la salud ósea, por lo que se trabajará la matriz en base a esto.

Además de esta matriz, podemos ver el tiempo en el que el algoritmo realizó esta clasificación, lo que nos ayudará a tener otro factor en cuenta para determinar cuál es el mejor.

3.5.3 Precisión por Clase

En este cuadro que nos proporciona Weka observamos más a detalle cómo es que los algoritmos están clasificando cada clase, por lo que se presentan los siguientes indicadores por clase:

- **TP Rate (True Positive):** Ratio del número de instancias predecidas como positivas que realmente son positivas.
- **FP Rate (False Positive):** Ratio del número de instancias predecidas como positivas que realmente son negativas.

- **Precisión:** El valor de la precisión es el resultado de dividir el número de verdaderos positivos y las instancias predecidas como positivas de una clase con los verdaderos positivos. La siguiente es la fórmula para calcularla:

$$\text{Precision} = \frac{tp}{tp + fp}$$

- **Recall (Sensibilidad):** El valor de la proporción de instancias clasificadas como una clase dada dividida por el total real clasificado de esa clase. La siguiente es la fórmula para calcularlo:

$$\text{Recall} = \frac{tp}{tp + fn}$$

- **F-Measure (valor F):** Valor de la medida combinada por la precisión y la sensibilidad. La siguiente es la fórmula para calcularlo:

$$F = 2 \cdot \frac{\text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}}$$

- **ROC Area (Receiver Operating characteristic, o Característica Operativa del Receptor):** Es una representación de la sensibilidad frente a la especificidad para un sistema clasificador según varía el umbral de discriminación. Es la razón o ratio de verdaderos positivos frente a la razón o ratio de falsos positivos.

CAPÍTULO 4: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

4.1 Plan del Proyecto Informático

Centrando la atención práctica de la mayoría de proyectos, la documentación de esta sección se dirige a dos puntos concretos:

a) Planificación temporal de proyecto

Se recoge la planificación temporal del proyecto, el objetivo de esta tarea es recoger de una forma gráfica todas las actividades del proyecto necesarias para producir el resultado final. Se representa con el siguiente diagrama de Gantt:

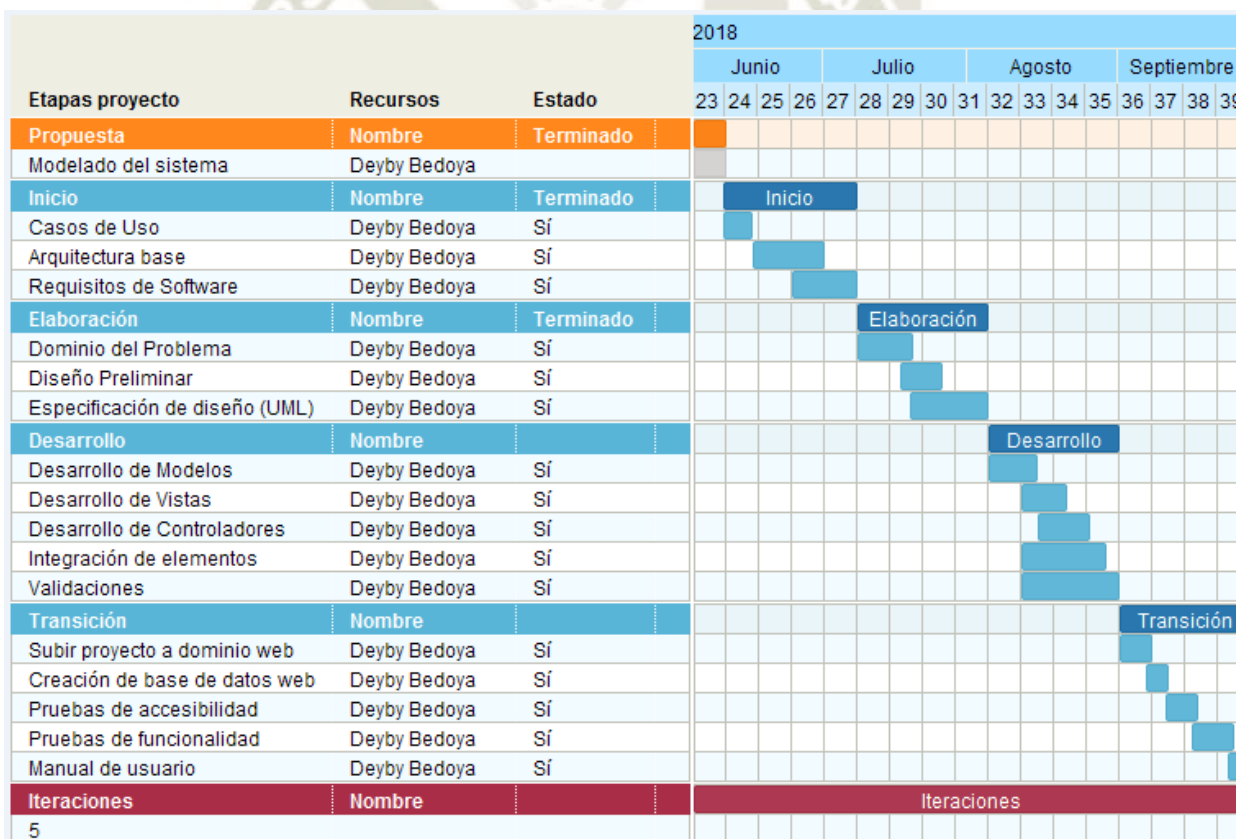


Figura 4.1 Diagrama de Gantt dividido en semanas de la planificación temporal del proyecto de software para calcular la salud ósea en niños y adolescentes de ambos géneros.

b) Estudio de viabilidad del proyecto

Debido a que este proyecto no está vinculado a una empresa real, no se tiene un estudio de viabilidad.

4.2 Especificación de requisitos del software (Elicitación y Análisis)

Esta sección es una especificación de requisitos de software para el Sistema para la Salud Ósea llamado BHProject. Esta especificación se ha estructurado basándose en las directrices dadas por el estándar IEEE Práctica Recomendada para Especificaciones de Requisitos Software ANSI/IEEE 830, 1998.

4.2.1 Propósito

El propósito de esta sección de especificación de requisitos es el de dar a entender las necesidades que debe tener este software y todos los puntos que debe abarcar con respecto a la salud ósea. Está dirigido a padres de familia y profesores que necesiten saber el estado de sus hijos/alumnos que oscilan la edad entre 6 y 18 años de ambos géneros.

4.2.2 Alcance

Esta especificación de requisitos está dirigida al usuario del sistema, para continuar con el desarrollo de aplicaciones en el ámbito de la salud y profundizar en la automatización de estas, el cual tiene por objetivo principal el cálculo de indicadores que ayuden al paciente a visualizar su situación actual para niños y adolescentes que oscilan los 6 y 18 años de ambos géneros.

4.2.3 Personal Involucrado

Se presenta el personal involucrado en el desarrollo de esta herramienta:

Tabla 4.1

Personal involucrado en el desarrollo del proyecto BHPProject. Elaboración propia.

Nombre	Deyby Bedoya
Rol	Analista, diseñador y programador
Categoría Profesional	Ingeniería de software
Responsabilidad	Análisis de información, diseño y programación del sistema
Información de contacto	deybyjr@gmail.com

4.2.4 Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas

Se presentan los acrónimos utilizados para las secciones posteriores:

Tabla 4.2

Definiciones, acrónimos y abreviaturas de la especificación de requisitos. Elaboración propia.

Nombre	Descripción
Usuario	Persona que usará el sistema para la salud ósea.
BHPProject	Nombre del sistema
ERS	Especificación de Requisitos de Software
RF	Requerimiento Funcional
RNF	Requerimiento no funcional

4.2.5 Referencias

Se presenta la referencia utilizada para crear esta sección de requerimientos:

Tabla 4.3

Estándar utilizado para la especificación de requisitos. Elaboración propia.

Título del Documento	Referencia
Standard IEEE - 1998	IEEE

4.2.6 Resumen

Esta sección consta de tres partes. En la primera se realiza una introducción al mismo y se proporciona una visión general de la especificación de recursos del sistema.

La segunda sección del documento es aquella en la que se definen detalladamente los requisitos que debe satisfacer el sistema

Por último, en la tercera sección de la especificación, se realiza una descripción general del sistema, con el fin de conocer las principales funciones que éste debe realizar, los datos asociados y los factores, restricciones, supuestos y dependencias que afectan al desarrollo, sin entrar en excesivos detalles.

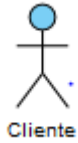
4.2.7 Perspectiva del producto

La idea principal de este producto surgió en base a la necesidad que se tiene actualmente de conocer el estado de la salud ósea de las personas. En este sentido, se conoce que los usuarios mayormente pueden ser profesores, padres de familia o tutores, los cuales tengan la posibilidad de saber si sus hijos, alumnos o apoderados poseen una salud ósea normal o están propensos a enfermedades de este tipo, por lo que este producto llamado BHProject se realiza en base a esta premisa.

El sistema BHProject será un producto diseñado para trabajar en entornos Web, lo que permitirá su utilización de forma rápida y eficaz. El usuario del sistema el cual se describe a continuación tendrá todas las opciones que requiera para su consulta sobre salud ósea.

Tabla 4.4

Actor del negocio del sistema para la salud ósea BHPProject. Elaboración propia.

Actor del Sistema	Descripción
	<p>El cliente en este sistema es quien se beneficia del proceso de consultoría sobre el estado y clasificación de su salud ósea.</p> <p>Este proceso posee básicamente es el de entregar al cliente el estado de su salud ósea según haya ingresado los datos pertinentes que le indique el sistema.</p>

4.2.8 Restricciones

- Interfaz para ser usada con internet.
- Uso de Subdominio (X).
- Lenguajes y tecnologías en uso: HTML, PHP, JAVA.
- El servidor debe ser capaz de atender consultas concurrentemente.
- El sistema se diseñará según un modelo cliente/servidor.
- El sistema deberá tener un diseño e implementación sencilla, independiente de la plataforma o del lenguaje de programación.

4.2.9 Suposiciones y dependencias

- Se asume que los requisitos aquí descritos son estables.
- Los equipos en los que se vaya ejecutar el sistema deben cumplir los requisitos antes indicados para garantizar una ejecución correcta de la misma.

4.2.10 Requerimientos Funcionales

En base a todos los requerimientos obtenidos por los usuarios se han elaborado los siguientes requerimientos funcionales que debe poseer el sistema BHPProject y que corresponden a todo lo que se debe desarrollar a partir de sus respectivas descripciones. A continuación, se muestran todos estos requerimientos mencionados:

Tabla 4.5

Requerimiento Funcional 01. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RF01
Nombre del Requerimiento:	Índice para Usuario.
Características:	Los usuarios deberán tener un índice que les ayude a navegar por el sistema web.
Descripción del requerimiento:	El sistema podrá brindar un índice de ayuda para el usuario que le permitirá poder navegar por el sitio web.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF03 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.6

Requerimiento Funcional 02. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RF02
Nombre del Requerimiento:	Ingresar datos de usuario.
Características:	Los usuarios deberán tener la opción de ingresar sus datos antropométricos en un módulo de la herramienta.
Descripción del requerimiento:	El sistema podrá brindar una interfaz donde los usuarios ingresarán sus datos antropométricos.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF02 - RNF03 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.7
Requerimiento Funcional 03. Elaboración propia

Identificación del requerimiento:	RF03
Nombre del Requerimiento:	Importar datos de varios pacientes.
Características:	Los usuarios deberán tener la opción para importar los datos antropométricos de un conjunto de pacientes con un formato que la herramienta brindará.
Descripción del requerimiento:	El sistema tendrá la capacidad manejar los datos importados para la utilización en la clasificación de la salud ósea.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF02 - RNF03 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.8
Requerimiento Funcional 04. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RF04
Nombre del Requerimiento:	Descargar formato para importar pacientes.
Características:	Los usuarios deberán tener la opción de descargar un archivo que sirva como formato para poder ingresar todos los pacientes deseados.
Descripción del requerimiento:	El sistema tendrá la opción de descargar un archivo formato que servirá a los usuarios para ingresar debidamente a todo el conjunto de pacientes deseado..
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF02 - RNF03 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.9
Requerimiento Funcional 05. Elaboración propia

Identificación del requerimiento:	RF05
Nombre del Requerimiento:	Procesar datos.
Características:	En base a los datos entregados y con las fórmulas correspondientes se calcularán los resultados necesarios para la clasificación de la salud ósea.
Descripción del requerimiento:	El sistema tendrá la capacidad de procesar los datos ingresados, teniendo en cuenta todos los datos que se requieran para poder visualizar el resultado final.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF02 - RNF03 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.10
Requerimiento Funcional 06. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RF06
Nombre del Requerimiento:	Entregar Resultados.
Características:	Los usuarios podrán visualizar los resultados obtenidos en base a los datos que ingresaron.
Descripción del requerimiento:	El sistema tendrá la capacidad de entregar los resultados en forma textual y gráfica con las debidas descripciones de cada uno.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF02 - RNF03 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.11
Requerimiento Funcional 07. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RF07
Nombre del Requerimiento:	Almacenar Usuarios.
Características:	Los usuarios ingresarán sus datos y sus resultados se guardarán en el sistema para la posterior visualización de estos.
Descripción del requerimiento:	El sistema tendrá la ventaja de almacenar a todos los usuarios que ingresen sus datos para que en un futuro vuelvan a revisar sus datos.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF03 - RNF04 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.12
Requerimiento Funcional 08. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RF08
Nombre del Requerimiento:	Visualizar Total de Resultados.
Características:	Los usuarios podrán visualizar sus resultados obtenidos en base a los datos antropométricos ingresados anteriormente.
Descripción del requerimiento:	El sistema deberá entregar una vista en la cual estén todos los usuarios que hayan ingresado correctamente sus datos.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF02 - RNF03 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.13
Requerimiento Funcional 09. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RF09
Nombre del Requerimiento:	Exportar datos a Excel.
Características:	Los usuarios deberán tener la posibilidad de exportar todos los datos a una hoja en Excel para poder visualizar de una mejor manera su información.
Descripción del requerimiento:	El sistema podrá hacer una exportación a una hoja en excel en base a todos los datos almacenados con los resultados más relevantes del paciente que ingresó su información.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF03 - RNF04 - RNF05
Prioridad:	Alta

Tabla 4.14
Requerimiento Funcional 10. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RF10
Nombre del Requerimiento:	Brindar información sobre salud ósea.
Características:	Los usuarios deberán tener un apartado el cual les de cierto conocimiento para poder interpretar sus resultados brindados por la herramienta.
Descripción del requerimiento:	El sistema deberá tener una sección de información para los usuarios que deseen interpretar sus resultados adecuadamente.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> - RNF01 - RNF03 - RNF05
Prioridad:	Alta

4.2.11 Requerimientos No Funcionales

A continuación, se muestran los requerimientos no funcionales que deberá tener el sistema para su correcto funcionamiento y rendimiento con los usuarios que lo utilicen.

Tabla 4.15
Requerimiento No Funcional 01. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RNF01
Nombre del Requerimiento:	Interfaz del sistema.
Características:	El sistema presentará una interfaz de usuario sencilla para que sea de fácil manejo a los usuarios del sistema.
Descripción del requerimiento:	El sistema debe tener una interfaz de uso intuitiva y sencilla.
Prioridad:	Alta

Tabla 4.16
Requerimiento No Funcional 02. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RNF02
Nombre del Requerimiento:	Ayuda en el uso del sistema
Características:	El sistema deberá de tener un manual de usuario para facilitar el uso de la herramienta, a su vez deberá proporcionar las ayudas y restricciones necesarias.
Descripción del requerimiento:	El sistema debe disponer de una documentación fácilmente actualizable que permita realizar todas las actividades disponibles al usuario.
Prioridad:	Alta

Tabla 4.17
Requerimiento No Funcional 03. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RNF03
Nombre del Requerimiento:	Diseño de la interfaz a la característica de la web.
Características:	El sistema deberá de tener una interfaz de usuario, teniendo en cuenta las características web de la herramienta.
Descripción del requerimiento:	La interfaz de usuario debe ajustarse a las características web de la herramienta, dando una vista amigable al usuario para poder ingresar sus datos y visualizar sus resultados.
Prioridad:	Media.

Tabla 4.18
Requerimiento No Funcional 04. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RNF04
Nombre del Requerimiento:	Desempeño.
Características:	El sistema garantizará a los usuarios un desempeño en cuanto a los datos almacenado en el sistema ofreciéndole una confiabilidad a esta misma.
Descripción del requerimiento:	Garantizar el desempeño del sistema informático a los diferentes usuarios. En este sentido la información almacenada o registros realizados podrán ser consultados y actualizados permanente y simultáneamente, sin que se afecte el tiempo de respuesta.
Prioridad:	Media.

Tabla 4.19
Requerimiento No Funcional 05. Elaboración propia.

Identificación del requerimiento:	RNF05
Nombre del Requerimiento:	Confiabilidad continua del sistema.
Características:	El sistema tendrá que estar en funcionamiento las 24 horas los 7 días de la semana. Ya que es una página web diseñada para la carga de datos y comunicación entre usuarios.
Descripción del requerimiento:	La disponibilidad del sistema debe ser continua con un nivel de servicio para los usuarios de 7 días por 24 horas, garantizando un esquema adecuado que permita la posible falla en cualquiera de sus componentes, contar con una contingencia, generación de alarmas.
Prioridad:	Media.

4.2.12 Interfaces de usuario

La interfaz con el usuario consistirá en un conjunto de ventanas con botones, listas y campos de texto que ayuden al usuario como guía para navegar por el sitio web. A su vez se brindará toda la información básica de interés con respecto a la salud ósea y se indicarán los posibles escenarios con los que podrá encontrarse. Estas vistas serán construidas para el sistema propuesto y, será visualizada desde un navegador de internet.

4.2.13 Interfaces de hardware

Será necesario disponer de equipos de cómputo en un estado usable con las siguientes mínimas de características:

- Adaptadores de red.
- Procesador 1.50 Ghz o superior.
- Memoria mínima de 256Mb.

- Mouse.
- Teclado.

4.2.14 Interfaces de Software

- Sistema Operativo: Windows XP o superior.
- Explorador: Mozilla Firefox de preferencia.

4.2.15 Interfaces de Comunicación

Los servidores, clientes y aplicaciones se comunicarán entre sí, mediante protocolos estándares en internet, siempre que sea posible. Por ejemplo, para la transferencia de archivos o documentos deberán utilizarse protocolos existentes (FTP u otros convenientes).

4.2.16 Seguridad

- Garantizar la confiabilidad, la seguridad y el desempeño del sistema informático a los diferentes usuarios. En este sentido la información almacenada o registros realizados podrán ser consultados y actualizados permanente y simultáneamente, sin que se afecte el tiempo de respuesta.
- Facilidades y controles para permitir el acceso a la información al personal autorizado a través de Internet, con la intención de consultar y subir información pertinente para cada una de ellas.

4.2.17 Fiabilidad

- El sistema debe tener una interfaz de uso intuitiva y sencilla.

- La interfaz de usuario debe ajustarse a las características de la web de la herramienta para la salud ósea, dentro de la cual se encontrarán el formulario necesario y todas las opciones necesarias para hallar los datos buscados.

4.2.18 Soporte

- El sistema debe estar complementado con un buen sistema de ayuda (manual de usuario.).

4.2.19 Portabilidad

- El sistema será implantado bajo una plataforma web, con lo que podrá ser consultado desde cualquier dispositivo con acceso a un navegador web.

4.2.20 Diagrama de casos de uso

El diagrama de casos de uso nos servirá para describir todas las acciones que realizará nuestra herramienta, éste represente nuestro sistema como el conjunto de interacciones que se desarrollaran en respuesta a un evento que inicia el actor principal que vendría ser nuestro usuario. A continuación, representamos nuestro diagrama de casos de uso:

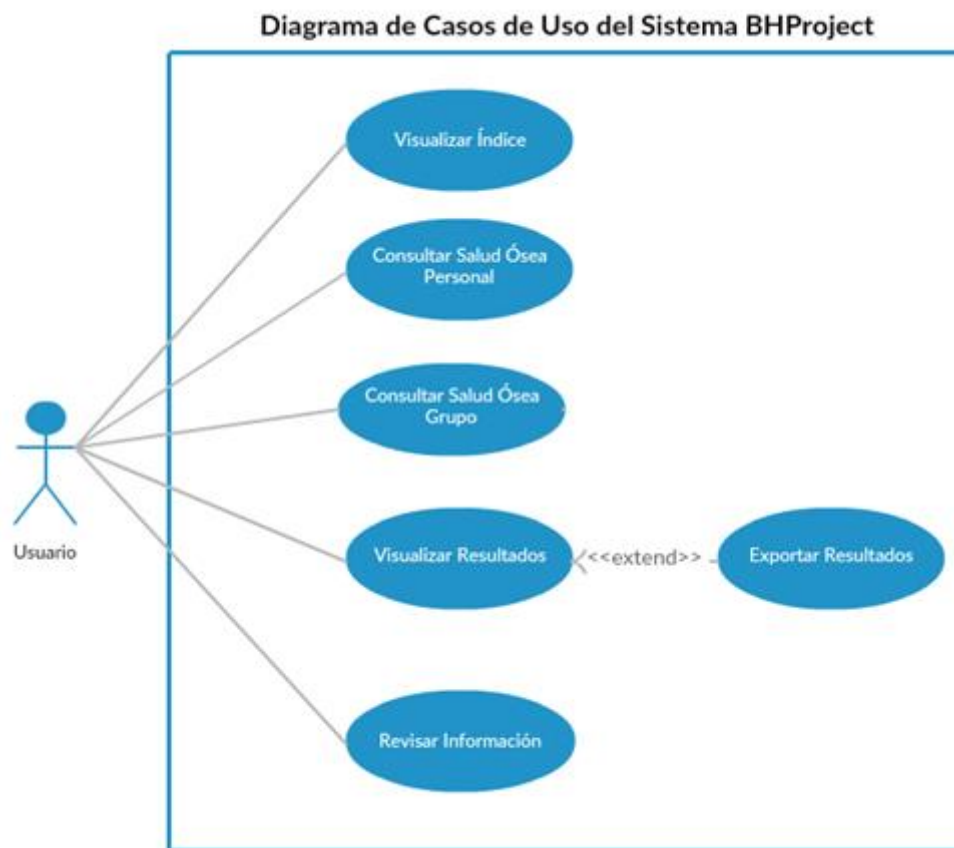


Figura 4.2 Diagrama de casos de uso para sistema BHProject.

4.2.21 Especificación de casos de uso

A continuación, describimos todos nuestros casos de uso respectivamente como se muestra en nuestro diagrama anterior:

a) Visualizar índice

Fuentes: Deyby Bedoya.

Actor: Usuario del sistema.

Descripción: El caso de uso permite al usuario del sistema iniciar una nueva sesión y obtener información sobre la página web en general, a su vez de dar un índice que lo ayude a navegar por todas las opciones que ofrece el sistema.

Flujo básico:

1. **Ingreso a la página de Inicio:** El usuario ingresa a la sección de Inicio.
2. **Validar inicio de sesión:** El sistema validará el ingreso de un nuevo usuario.
3. **Almacenar sesión:** El sistema almacenará una sesión para un nuevo usuario ingresado.
4. **Información de la página web:** El sistema brinda información sobre lo que trata la página web.
5. **Índices de la página web:** El sistema brinda enlaces que redireccionan al usuario a los diferentes sitios de la página web. El caso de uso termina.

Flujo alternativo:

1. **Enlaces sin redirección:** En el paso 5 de los enlaces que redireccionan a otros ambientes, puede no reaccionar debido a una falla de los propios enlaces, el paso que debe tomarse es recargar la página inicial y comprobar que los enlaces funcionen adecuadamente, el cual retornará en el paso 1 con la misma secuencia del flujo básico.
2. **Error al validar sesión:** En el paso 3 el sistema puede no validar bien la sesión del usuario por lo que se tendrá que recargar la página para poder validar la sesión nuevamente.

Precondiciones: Ninguna.

Post condiciones: El usuario se encontrará en el enlace que habrá seleccionado entre las opciones del índice mostrado.

Requerimientos trazados: Requerimiento Funcional 01.

Puntos de inclusión: Ninguno.

Puntos de extensión: Ninguno.

Notas: Este caso de uso básicamente entregará un primer vistazo de la aplicación, guiando al usuario con las opciones que posee el sistema con una pequeña descripción de cada uno de los módulos.

b) Consultar salud ósea personal

Fuentes: Deyby Bedoya.

Actor: Usuario del sistema.

Descripción: El caso de uso permite al usuario del sistema consultar sobre la clasificación de su salud ósea de un solo paciente presentando una serie de resultados y gráficos en base a los datos antropométricos que se proporcionará.

Flujo básico:

- 1. Ingreso al módulo de la herramienta:** El usuario ingresa a la sección de consultar salud ósea personal en base al índice presentado inicialmente.
- 2. Presentación de interfaz de ingreso de datos:** El sistema brinda al usuario una interfaz por la cual deberá ingresar los datos del paciente.
- 3. Ingreso de datos:** El usuario deberá ingresar todos los datos obligatorios que le señale el sistema.
- 4. Validación de datos:** El sistema validará todos los datos ingresados por el usuario, si se han ingresado correctamente procederá a la transformación de estos.

5. **Almacenamiento de datos:** El sistema almacenará los datos del paciente y su evaluación respectiva una vez haya realizado todos los cálculos correspondientes. Estos datos se usarán para la presentación de resultados.
6. **Presentación de resultados:** En base a los datos ingresados correctamente, el sistema mostrará al usuario todos los resultados obtenidos de acuerdo a la evaluación, presentando las gráficas correspondientes.
7. **Comprobación de datos:** El usuario podrá observar todos sus resultados obtenidos en base a los datos que ingresó inicialmente. El caso de uso termina.

Flujo alternativo:

1. **No seleccionó género:** En el paso 4 el sistema validará si el usuario ha seleccionado un género específico, sino lo ha realizado le indicará mediante un mensaje que tiene que seleccionarlo, lo cual lo regresará al paso 3 para el ingreso de datos y seguirá el flujo normalmente.
2. **No ingresó dato requerido:** En el paso 4 el sistema validará si el usuario ha ingresado algún dato obligatorio, de no realizarlo el sistema regresará al paso 3 del ingreso de datos siguiendo el flujo normalmente.
3. **Datos de ingreso inválidos:** Para cada dato obligatorio, el sistema mostrará al usuario qué límites debe tomar su ingreso correcto, de pasar este límite, se le mostrará al usuario el rango permitido. El sistema sigue el flujo normal cuando el usuario ingresa todos los datos dentro del rango mencionado.

Precondiciones: El usuario debe de ingresar al módulo de consulta de salud ósea.

Postcondiciones: El sistema finaliza la consulta, se almacenan los datos ingresados y la evaluación realizada, se muestra inmediatamente el resultado de la consulta con sus gráficos correspondientes indicando cuál es la clasificación del usuario con respecto a los percentiles obtenidos.

Requerimientos trazados: Requerimientos Funcionales 02, 05, 06 y 07.

Puntos de inclusión: Ninguno.

Puntos de extensión: Ninguno.

Notas: Este caso de uso es el que utiliza el algoritmo de aprendizaje automático Random Forest para determinar la clasificación de la salud ósea del paciente en base a los datos antropométricos ingresados. Los datos son almacenados adecuadamente para su posterior visualización.

c) Consultar salud ósea en grupo

Fuentes: Deyby Bedoya.

Actor: Usuario del sistema.

Descripción: El caso de uso permite al usuario del sistema consultar sobre la clasificación de su salud ósea de un grupo de pacientes presentando una serie de resultados y gráficos en base a los datos antropométricos que se proporcionará.

Flujo básico:

- 1. Ingreso al módulo de la herramienta:** El usuario ingresa a la sección de consultar salud ósea en grupo, en base al índice presentado inicialmente.
- 2. Presentación de interfaz de importación de archivo:** El sistema brinda al

usuario una interfaz por la cual deberá importar el archivo con todos los datos del conjunto de pacientes para analizar.

- 3. Descargar formato para importación:** El sistema presentará una opción para descargar un formato por el cual el usuario ingresará los datos de todos los pacientes que se desee analizar.
- 4. Ingreso de datos:** El usuario ingresará todos los datos antropométricos del conjunto de pacientes con las debidas indicaciones para el formato del archivo.
- 5. Importación de archivo:** El usuario selecciona el archivo donde se encuentran todos los datos de sus pacientes.
- 6. Validación de datos:** El sistema validará todos los datos ingresados por el usuario, si se han ingresado correctamente procederá a la transformación de estos.
- 7. Almacenamiento de datos:** El sistema almacenará los datos de todos los pacientes y su evaluación respectiva una vez haya realizado todos los cálculos correspondientes. Estos datos se usarán para la presentación de resultados.
- 8. Presentación de resultados:** En base a los datos ingresados correctamente, el sistema mostrará al usuario todos los resultados obtenidos, presentando las gráficas correspondientes.
- 9. Comprobación de datos:** El usuario podrá observar todos sus resultados obtenidos en base al conjunto de datos que ingresó inicialmente. El caso de uso termina.

Flujo alternativo:

- 1. Formato Incorrecto:** En el paso 5 el sistema validará si el archivo tiene el formato correcto para seguir el flujo normal, de no encontrarse un formato adecuado se le presentará el mensaje correspondiente y se regresará al paso 4 para la correcta inserción de los datos.
- 2. Extensión de archivo equivocada:** En el paso 5 el sistema validará si el archivo tiene una extensión válida para analizar, de encontrarse una extensión ajena a la que corresponde se regresará al paso 3 para la correcta descarga del archivo que se utilizará.

Precondiciones: El usuario debe de ingresar al módulo de consulta de salud ósea.

Postcondiciones: El sistema finaliza la consulta, se almacenan los datos ingresados, se muestra inmediatamente el resultado de la consulta con sus gráficos correspondientes indicando cuál es la clasificación del conjunto de datos importados con respecto a los percentiles obtenidos.

Requerimientos trazados: Requerimientos Funcionales 03, 04, 05, 06 y 07.

Puntos de inclusión: Ninguno.

Puntos de extensión: Ninguno.

Notas: Este caso de uso también utiliza el algoritmo de aprendizaje automático Random Forest para determinar la clasificación en la salud ósea del paciente en base a los datos antropométricos ingresados. Los datos del paciente y su evaluación son almacenados adecuadamente para su posterior visualización.

d) Visualizar resultados

Fuentes: Deyby Bedoya.

Actor: Usuario del sistema.

Descripción: El caso de uso permite al usuario del sistema visualizar todas las evaluaciones realizadas, las cuáles le entregarán los datos más relevantes de su análisis, con su clasificación de la salud ósea correspondiente.

Flujo básico:

- 1. Ingreso al módulo de la herramienta:** El usuario ingresa a la sección de visualizar resultados, en base al índice presentado inicialmente.
- 2. Presentación de resultados:** El sistema brinda al usuario una interfaz por la cual será capaz de visualizar todas las evaluaciones que se han realizado en el sistema, estos datos son los más relevantes del análisis.
- 3. Visualización de resultados:** El usuario tiene la opción de navegar entre todos los resultados mediante un sistema de paginación para visualizar todos los resultados. El caso de uso termina.

Flujo alternativo:

- 1. Sistema de paginación congelado:** En el paso 3 se puede presentar el error de tener una paginación que no permita navegar entre todas las evaluaciones obtenidas. El sistema regresará al paso 1 para la correcta presentación de resultados.

Precondiciones: El usuario debe de ingresar al módulo de visualizar resultados.

Postcondiciones: Se muestran todas las evaluaciones que se han realizado en la herramienta con sus resultados más importantes. El sistema finaliza la consulta.

Requerimientos trazados: Requerimientos Funcionales 08 y 09.

Puntos de inclusión: Ninguno.

Puntos de extensión:

1. **Exportar Resultados:** Los usuarios tendrán la opción de descargar la información mostrada a un formato excel **SI** el usuario lo desea **O** tenga problemas en encontrar su resultado o el que desee observar.

Notas: Este caso de uso presenta todas las evaluaciones que se han realizado con la herramienta, lo cual facilitará para encontrar un resultado específico, por lo que ya no se tendrá que volver a realizar este análisis, se mostrará la fecha en que se hizo el análisis para un posterior control del paciente.

e) Revisar Información

Fuentes: Deyby Bedoya.

Actor: Usuario del sistema.

Descripción: El caso de uso permite al usuario del sistema visualizar toda la información que corresponde a la salud ósea, esto le servirá para interpretar sus resultados y brindará información de cómo se realizó el análisis.

Flujo básico:

1. **Ingreso al módulo de la herramienta:** El usuario ingresa a la sección de información, en base al índice presentado inicialmente.

2. **Presentación de información:** El sistema contará con 3 opciones para consultar la salud ósea y las que se consideran más importantes.
3. **Visualización de información:** El usuario consultará la información de su interés que desee revisar. El caso de uso termina.

Flujo alternativo:

1. **Imágenes no se muestran:** En el paso 2, el sistema puede tener problemas con la presentación de las imágenes correspondientes, por lo que se regresará al paso 1 para volver a cargar toda la información.

Precondiciones: El usuario debe de ingresar al módulo de información.

Postcondiciones: El sistema finaliza la consulta, se muestra toda la información que el usuario desee revisar.

Requerimientos trazados: Requerimientos Funcionales 10.

Puntos de inclusión: Ninguno.

Puntos de extensión: Ninguno.

Notas: Este caso de uso básicamente presenta la información de interés para el usuario que ingresa a la herramienta, la cual ayudará como guía para saber más acerca de la salud ósea y también para interpretar los datos obtenidos.

4.4 Especificación del Diseño y Arquitectura

Esta sección supone la entrada para el dominio de la solución del problema, la cual marca el camino de desarrollo a seguir, tomándose decisiones muy importantes dentro de la arquitectura e interfaz o los detalles procedimentales del software.

4.4.1 Diagramas de Secuencia

Los diagramas de secuencia presentados a continuación muestran la interacción del conjunto de objetos del sistema BHProject y es modelada para cada caso de uso presentado anteriormente, es una representación del diagrama de classes en movimiento porque se relacionan entre sí. A continuación, se presentan todos los diagramas de secuencia generados:

a) Visualizar índice

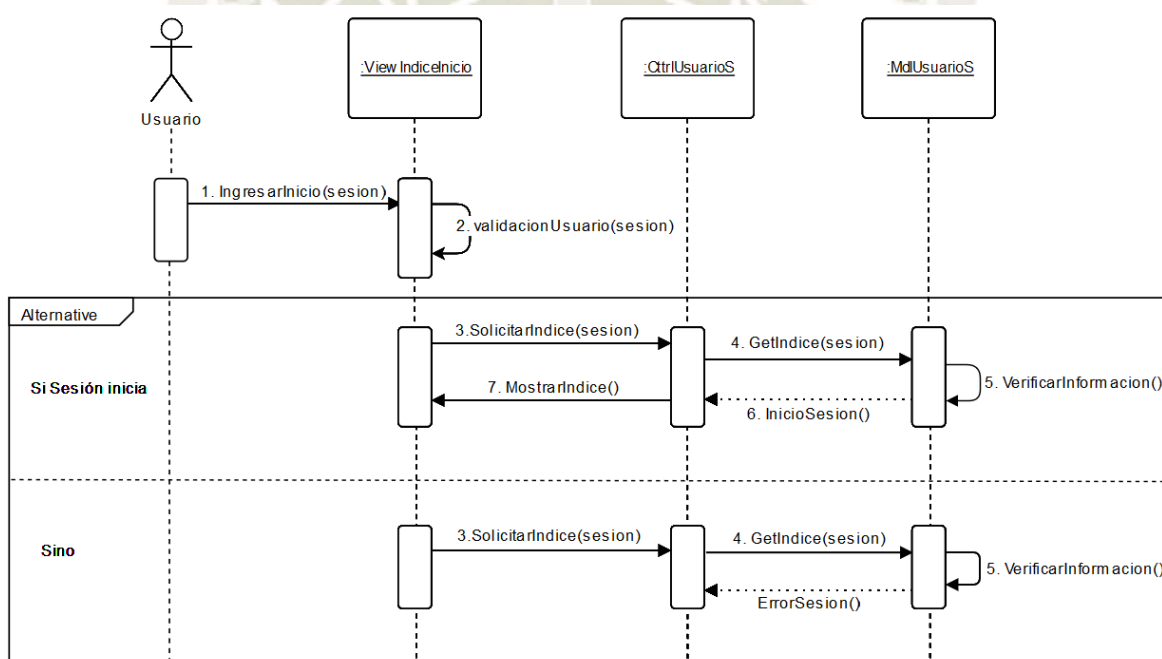


Figura 4.3 Diagrama de secuencia para visualizar índice del sistema BHProject.

b) Consultar salud ósea personal

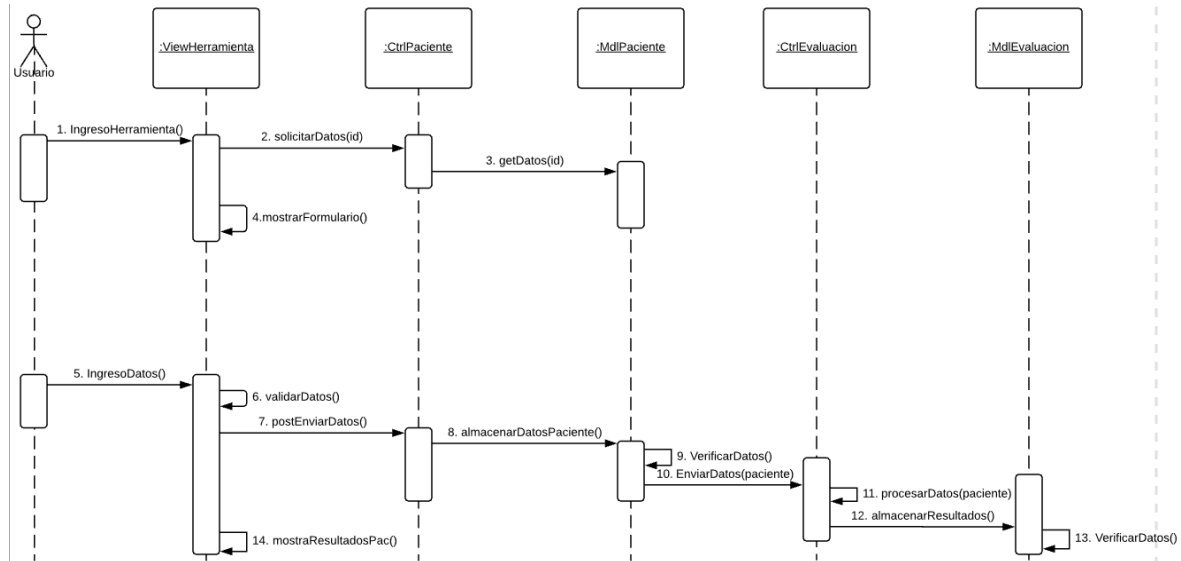


Figura 4.4 Diagrama de secuencia para consultar salud ósea personal del sistema BHProject.

c) Consultar salud ósea en grupo

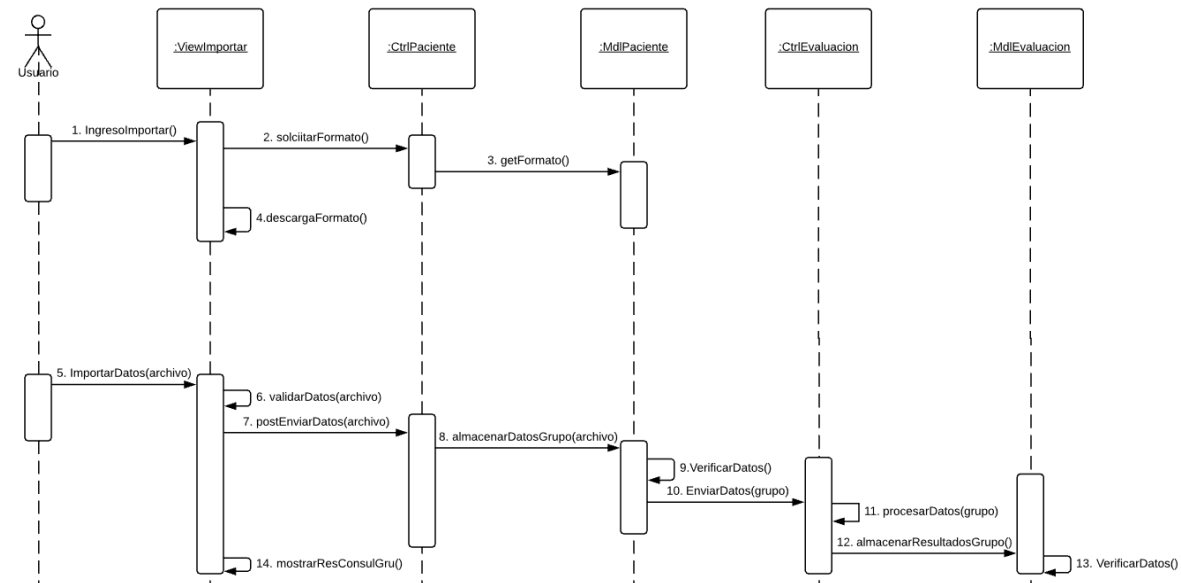


Figura 4.5 Diagrama de secuencia para consultar salud ósea en grupo del sistema BHProject.

d) Visualizar resultados

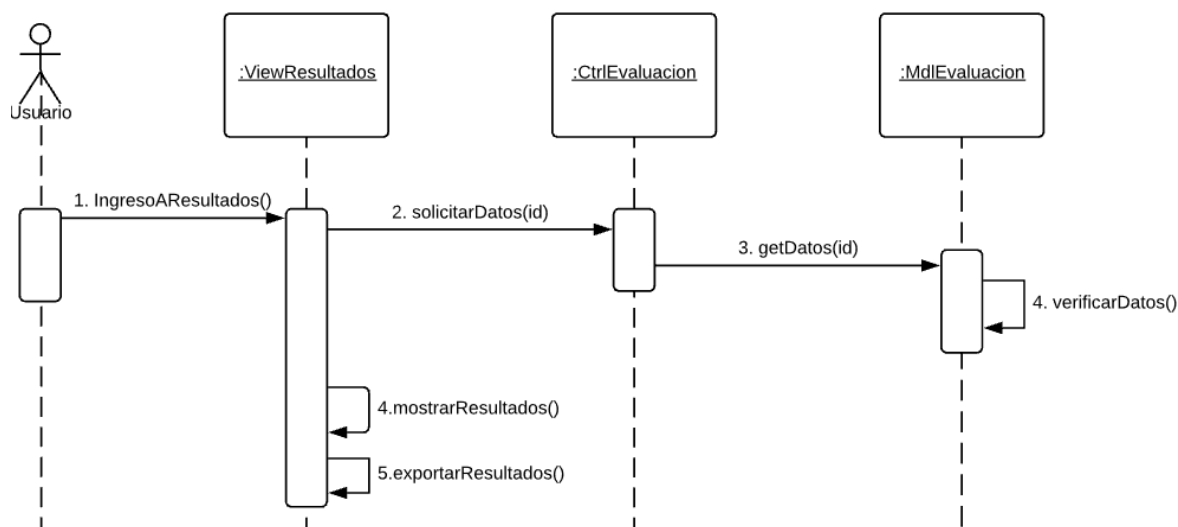


Figura 4.6 Diagrama de secuencia para visualizar resultados del sistema BHProject.

e) Revisar información

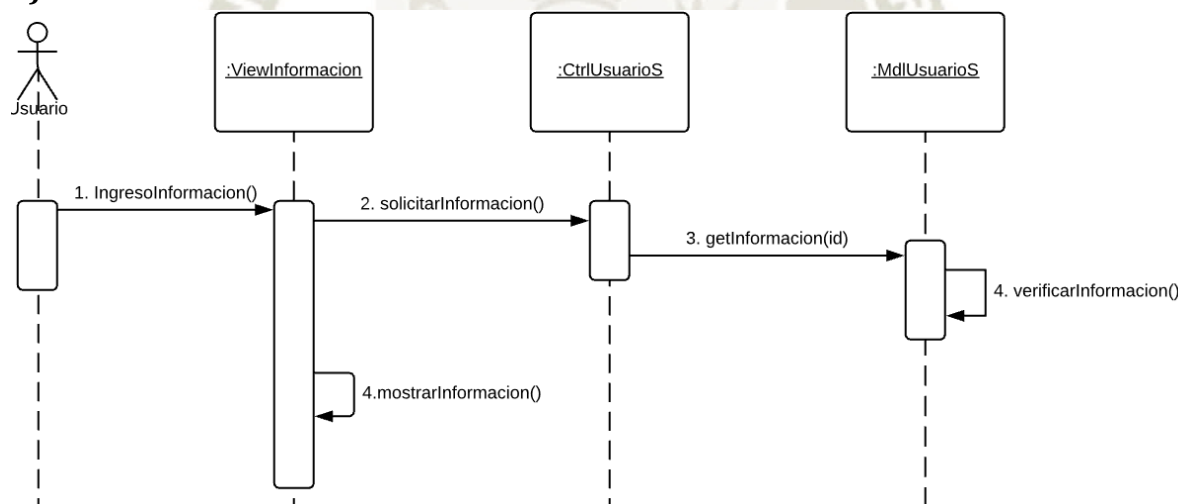


Figura 4.7 Diagrama de secuencia para revisar información del sistema BHProject.

4.4.2 Diagrama de Clase

En el siguiente diagrama representamos la estructura estática que describe el sistema, mostrando clases, atributos, operaciones (o métodos) y sus respectivas

relaciones entre los objetos presentes en el sistema BHProject, basado en el estudio realizado en puntos anteriores, se presenta mediante la siguiente figura:

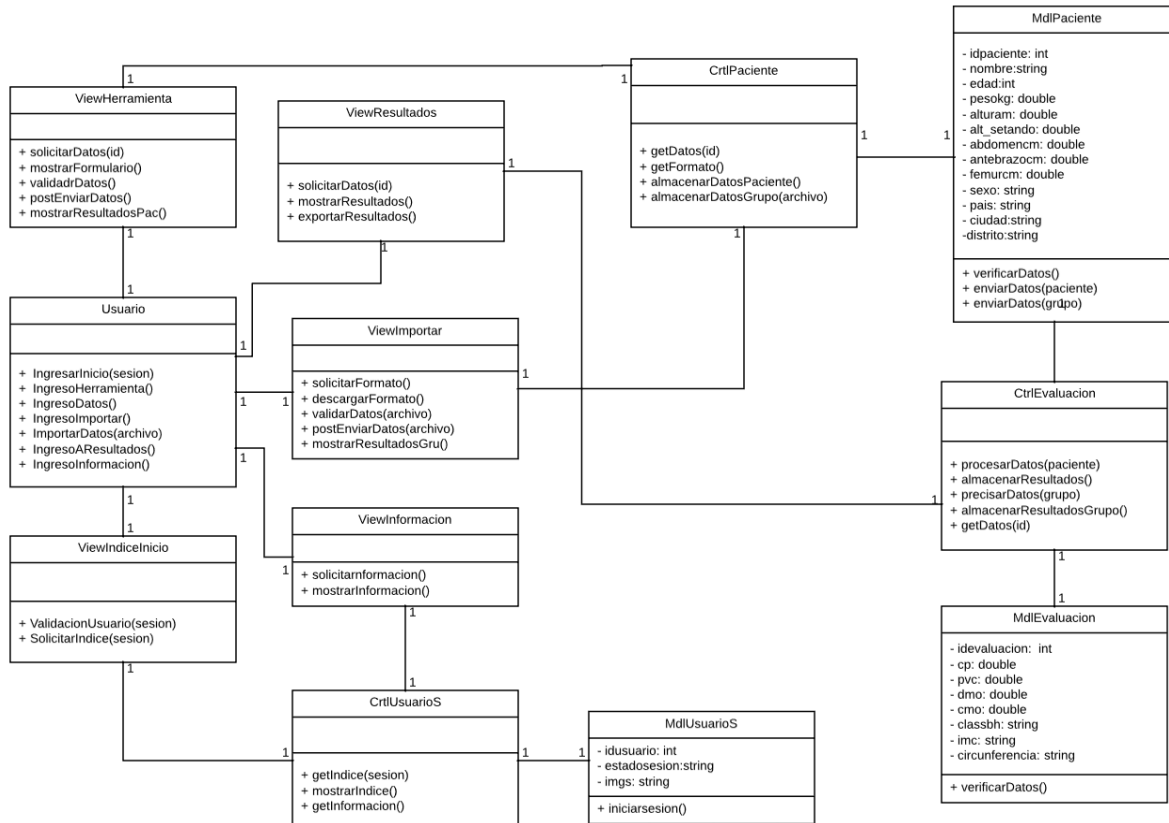


Figura 4.8 Diagrama de clase para el sistema BHProject.

4.4.3 Arquitectura del sistema

Se trabajará con un patrón de arquitectura de software MVC, el cual separa los datos y la lógica del negocio de la representación y el módulo encargado de gestionar los eventos y comunicaciones. Para esto, el patrón utilizado se divide en 3 componentes distintos que son el modelo, la vista y controlador, es decir, por un lado, define componentes para representación de la información y por otro lado la interacción con el usuario.

Para representar la arquitectura lógica del sistema, tenemos el siguiente diagrama de paquetes que divide el sistema en sus principales elementos:

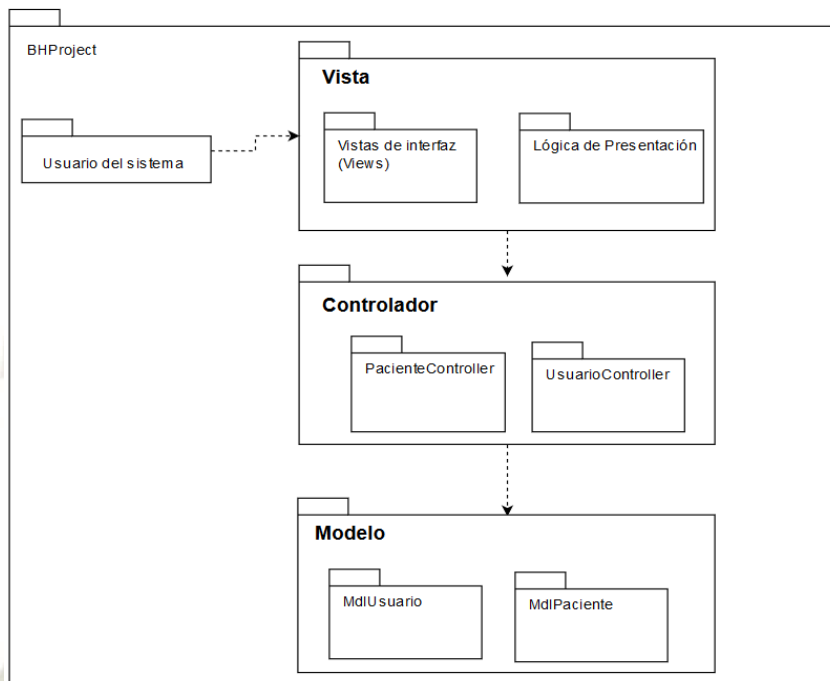


Figura 4.9 Diagrama de paquetes para el sistema BHProject.

Para representar la topología del sistema que nos dirá la manera en la que será asignado la forma física nuestro software a diferentes computadores que sería el hardware se aplica un modelo de cliente-servidor. El cliente representa todas las interfaces gráficas que se muestran y todas las peticiones que tendrá que realizar este para interactuar con el servidor, el cual se encarga de atender a todas las peticiones y mostrar los resultados adecuados. Para su correcta representación se tiene el siguiente diagrama de despliegue de nuestra aplicación web:

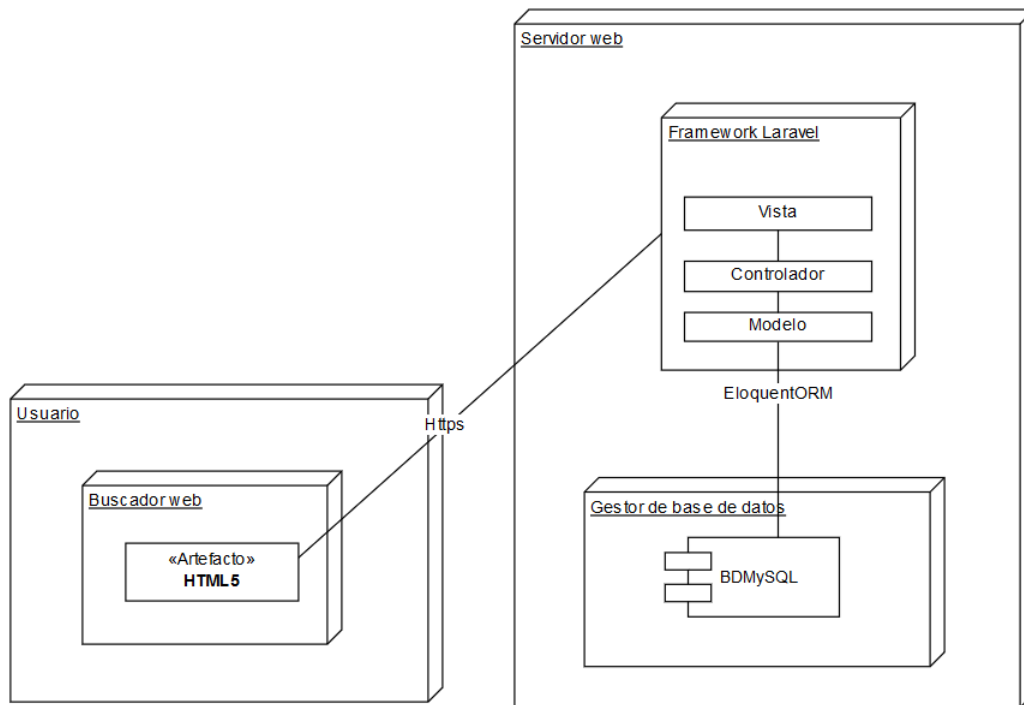


Figura 4.10 Diagrama de despliegue para el sistema BHProject.

4.4.4 Diseño de la base de datos

Antes de realizar propiamente el modelado de nuestra base de datos, creamos el diagrama de entidad-relación para nuestro sistema BHProject, el propósito de este es el facilitar el diseño de la BD y expresar la estructura lógica del modelo. Este diagrama se realiza con el objetivo de que el usuario tenga un entendimiento de alto nivel de la base de datos que se va a crear.

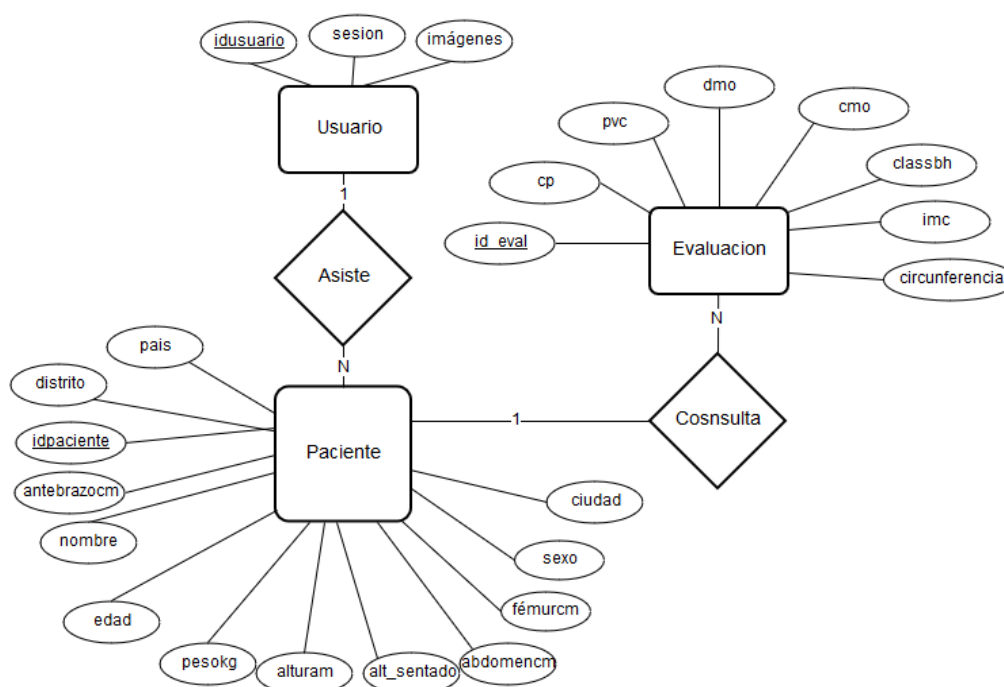


Figura 4.11 Diagrama de entidad-relación para el sistema BHProject.

Teniendo en cuenta todos los datos observados para un único paciente y sus resultados procederemos a utilizar la normalización de datos para tener un modelo relacional el cual podremos implementar en nuestra aplicación. Este proceso se basa en descomponer relaciones en otras de menor grado con el fin de evitar anomalías que puedan presentarse durante operaciones de actualización. Los datos que vamos a normalizar son los siguientes:

- Nombre -Edad -Sexo -Altura -Peso -Altura sentado
- País -Ciudad -Distrito -Antebrazo -Abdomen -Fémur
- Sesión -Imágenes -PVC -CP -DMO -CMO
- IMC -Circunferencia Abdominal -Clasificación BH

Aplicando la primera forma normal, la cual dice que todos los dominios subyacentes contienen sólo valores atómicos tendríamos la siguiente estructura:

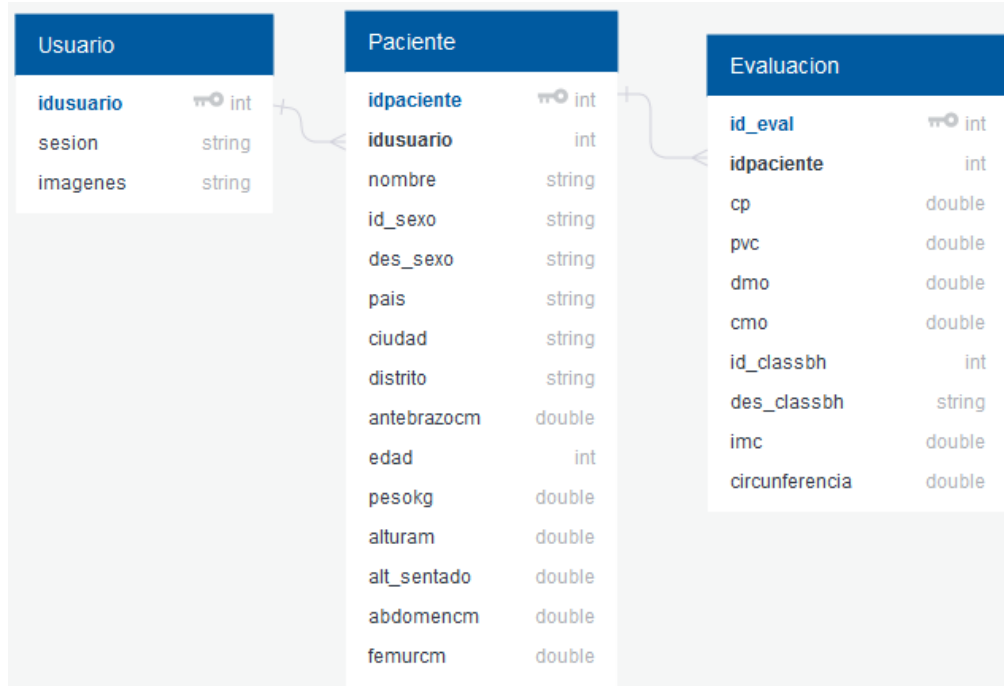


Figura 4.12 Modelo de la base de datos para el sistema Project aplicando 1era forma normal.

El modelo anterior presentado, nos asegura que todos los valores se mantienen atómicos y que podemos seguir aplicando la normalización. Para la segunda forma normal tenemos que tener en cuenta que cada uno de sus atributos primos (atributo que es llave primaria o forma parte de ella) depende funcional y completamente de la llave primaria de la relación. Teniendo esto en cuenta tendríamos el siguiente modelo:

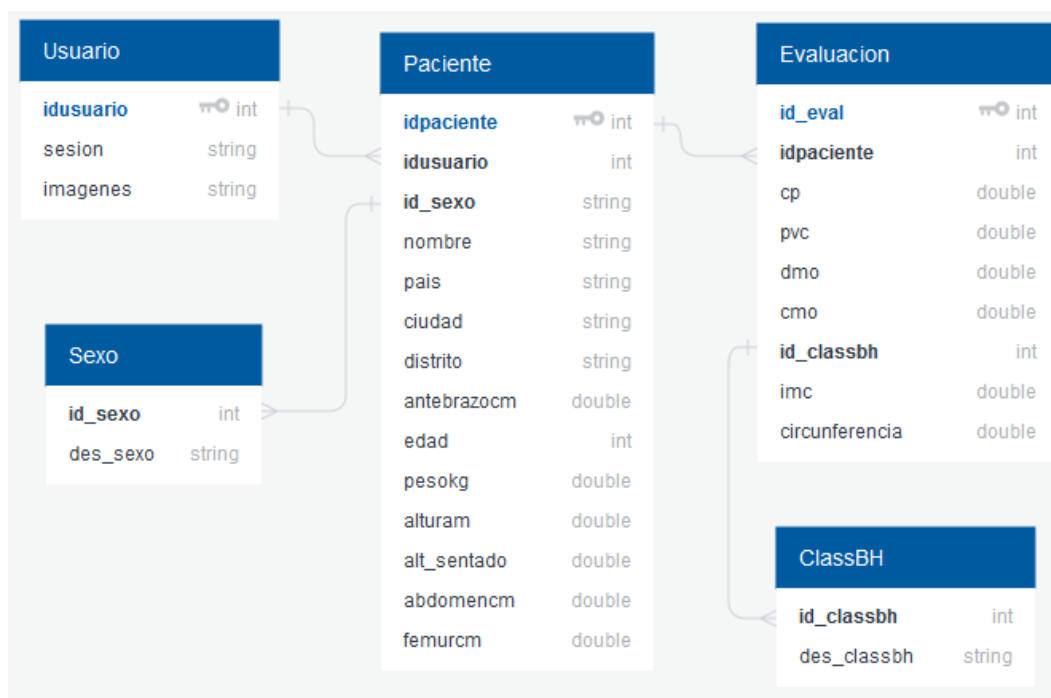


Figura 4.13 Modelo de la base de datos para el sistema Project aplicando 2da forma normal.

Luego de tener nuestro modelo en segunda forma normal, se procede a realizar la tercera forma normal la cual nos dice que debemos separar las columnas que no dependen transitivamente de la llave y que no formen parte de la misma llave primaria, es decir, que todos los atributos en las tablas deben ser independientes. Esto soluciona también el problema de incongruencia de datos al momento del ingreso y cálculo de estos, siguiendo estas reglas tendríamos el siguiente modelo:

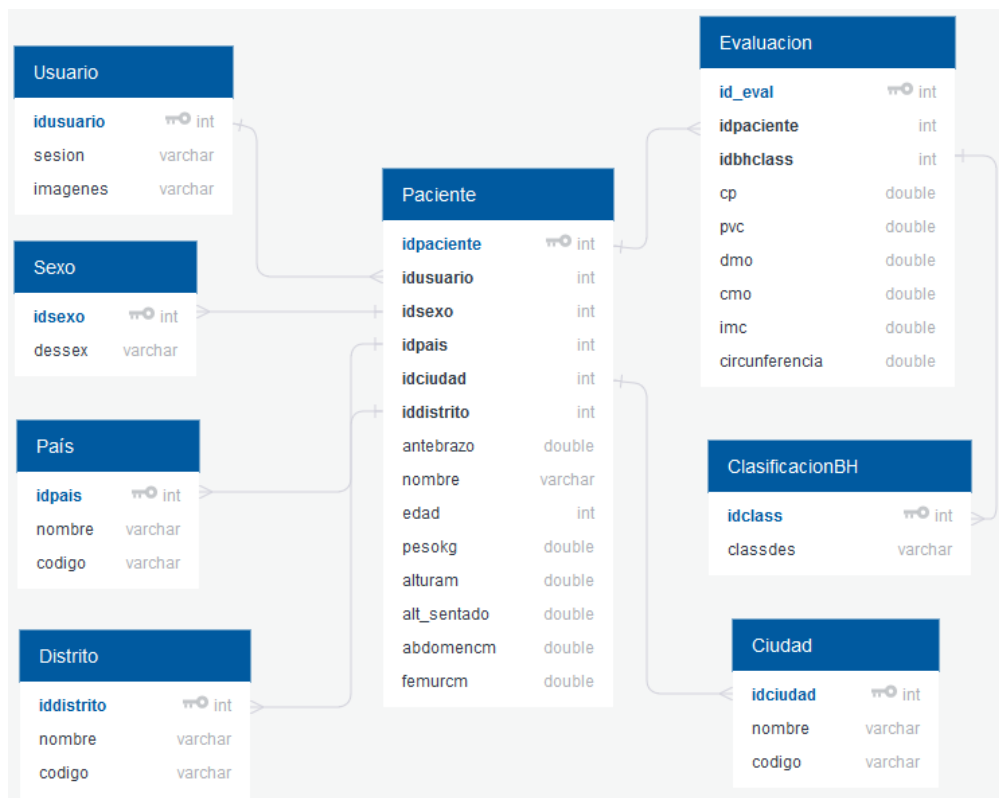


Figura 4.14 Modelo de la base de datos para el sistema Project aplicando 3era forma normal.

Teniendo el modelo anterior podemos decir que hemos completado los pasos principales de la normalización, esto quiere decir que el último modelo observado nos servirá para implementarlo a nuestra base de datos que guardará todos los datos relevantes en nuestro sistema para cada evaluación con su respectivo paciente.

4.5 Documentación técnica de programación (Desarrollo)

4.5.1 Entorno de programación

Se ha utilizado Laravel que es un entorno de trabajo de código abierto para desarrollar aplicaciones y servicios web con diferentes versiones a partir de PHP. La principal característica de este software es el de desarrollar de forma elegante y simple, evitando un código muy confuso en muchos aspectos, es decir, tener todo junto y

dividir lo que sea necesario. Se puede decir que es muy expresivo al lenguaje natural ya que trata de que todo el código se entienda de una manera muy sencilla permitiendo multitud de funcionalidades. Está basado en otros frameworks de los cuales intenta aprovechar lo mejor de ellos conjuntamente con las últimas características de las versiones de PHP.

Su característica principal de este framework es el patrón MVC que posee ya que propone el desarrollo usando la terminología “Routes with Closures” con el objetivo de hacer código más claro. Este patrón usa los siguientes elementos:

- **Modelo:** Incluye un sistema de mapeo de datos relacional llamado Eloquent ORM que facilita la creación de los modelos, su funcionamiento es muy sencillo, cada tabla de la base de datos debería apuntar a un modelo con sus respectivas funcionalidades y validaciones.

```
class User extends Authenticatable
{
    use Notifiable;

    /**
     * The attributes that are mass assignable.
     *
     * @var array
     */
    protected $fillable = [
        'id', 'session', 'imgs',
    ];
    /**
     * The attributes that should be hidden for arrays.
     *
     * @var array
     */
}
```

Figura 4.15 Modelo de Usuario en el sistema BHProject.

- **Vista:** Incluye un sistema de procesamiento de plantillas llamado Blade, que favorece el código mucho más limpio en las vistas y con la ventaja de hacerlo más rápido debido a un sistema caché que posee este sistema.

```

<section class="py-5">
<div class="container">

<br>
<h1> Total Cantidad de Pacientes Ingresados</h1>
<p class="lead"> Tiene la opción de descargar la lista y buscar su resultado. </p>

<div align="center">
<a href="{{url('/results/excel')}}" class="btn btn-success">Exportar Información a Excel</a>
</div>
<br>
<table class="table table-hover table-striped">
<thead>
<tr>
<th>Nombre</th>
<th>Sexo</th>
<th>Pais</th>
<th>Edad</th>
<th>APVC</th>
<th>DMO</th>
<th>Estado DMO</th>
<th>CMO</th>
<th>Estado CMO</th>
<th>Fecha Evaluación</th>
<th colspan="3">&nbsp;&nbsp;&nbsp;</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
@foreach($patients as $patient)
<tr>
<td>{{ $patient->name}}</td>
<td>{{ $patient->sexdes}}</td>
<td>{{ $patient->nombre}}</td>
<td>{{ $patient->age}}</td>
<td>{{ $patient->apvc}}</td>
<td>{{ $patient->bmd}}</td>
<td>{{ $patient->percentilbmd}}</td>
<td>{{ $patient->cmd}}</td>
<td>{{ $patient->percentilcmo}}</td>
<td>{{date('d-m-Y', strtotime($patient->created_at))}}</td>
</tr>
</foreach>
</tbody>
</table>
{{ $patients->links() }}
</div>
</section>

```

Figura 4.16 Vista de la sección visualizar resultados en el sistema BHProject.

- **Plantillas:** Son archivos de texto plano que contiene la mayor parte del código base HTML para el uso de todas las páginas o rutas que crearemos, con etiquetas que representan elementos o zonas para incluir en la plantilla.
- **Controlador:** Son los que poseen toda la lógica de la aplicación, permitiendo organizar el código en clases sin tener que escribirlo todo por cada ruta realizada.

Todos los controladores se extienden de una base y en cada ruta se puede utilizar una función definida en este dependiendo del modo de procesamiento de datos (get o post).

```
class PatientbhController extends Controller
{
    public function index(){
        $patients= Patientbh::all();
        return view('patients/index',['patients'=> $patients]);
    }

    public function show($id){
        $patient = Patientbh::find($id);

        return view('patients/show',['patient'=> $patient]);
    }

    public function create(){

        $country = Country::all();
        $sex = Sex::all();
        return view('/tool',compact('country','sex'));
    }
}
```

Figura 4.17 Controlador de pacientes para la salud ósea en el sistema BHProject.

4.5.2 Lenguajes y herramientas

Se ha utilizado los siguientes lenguajes para la creación de la herramienta:

- PHP 7.1.3.
- Javascript.
- HTML5.
- Bootstrap 4.1.
- JQuery.

Por otro lado, las herramientas que hemos incluido para manejar adecuadamente nuestros datos son:

- Eloquent ORM.

- Sistema de plantillas Blade.
- Laravel Excel.

4.5.3 Aspectos relevantes de la implementación

Como se mencionó anteriormente, al utilizar el framework Laravel, se ha trabajado con un patrón MVC, del cual describiremos cada parte en la implementación:

a) Modelos

- Pacientes (PatientBH): Modelo para los pacientes que ingresen sus datos a la herramienta.
- Sexo (Sex): Género del paciente que ingrese sus datos, relacionado al modelo de pacientes.
- País (Country): País del paciente que ingrese sus datos, relacionado al modelo de pacientes.
- Usuario: Usuario que navega por el sitio web.

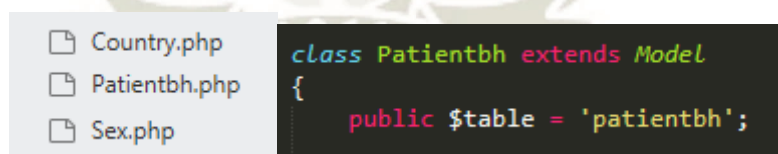


Figura 4.18 Modelos y ejemplo de modelo en el sistema BHPProject

b) Vistas

Se refiere a todo el conjunto de vistas que nuestra aplicación ofrece y que se describen a continuación:

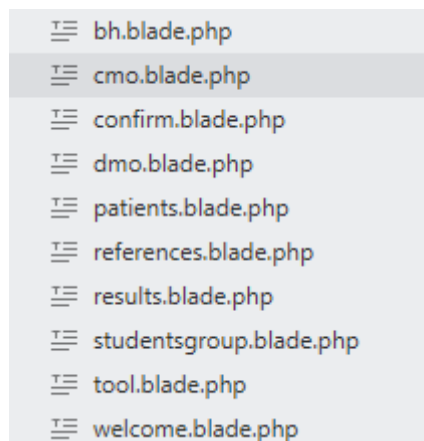


Figura 4.19 Lista de vistas del sistema BHPProject

- Bh: Información general de la salud ósea.
- Cmo: Información del contenido mineral óseo.
- Confirm: Vista de resultados a partir de los datos ingresados.
- DMO: Información de la densidad mineral ósea.
- Patients: Vista global de los pacientes ingresados.
- References: Referencias utilizadas para las fórmulas, percentiles e información utilizada en la herramienta.
- Results: Vista detallada de los pacientes ingresados.
- StudentsGroup: Módulo para ingresar un conjunto de pacientes a partir de un archivo.
- Tool: Módulo para ingresar los datos del paciente.
- Welcome: Vista de bienvenida y principal donde se muestra el índice respectivo.

c) Plantilla

Se ha utilizado una única plantilla para toda la herramienta que nos ayuda a navegar en las diferentes vistas ya mencionadas.

d) Controladores

Se tiene el controlador llamado PatientbhController, que realiza todas las funciones lógicas del sistema como guardar y mostrar data a partir de la información ingresada de los pacientes. También se tiene un controlador UserController para el usuario que únicamente crea una sesión virtual que lo permita navegar por la herramienta

e) Rutas

Se presentan todo el conjunto de rutas que usamos para direccionar al usuario en toda la página web, estas rutas se relacionan entre sí por lo que al ir navegando por la aplicación tendremos que toparnos con cada una de ellas.

```
Route::get('/', function () {return view('welcome')});  
Route::get('/patients', 'PatientbhController@index');  
Route::get('/patients/{id}', 'PatientbhController@show');  
Route::get('/tool', 'PatientbhController@create');  
Route::get('/studentsgroup', 'PatientbhController@loadgroup');  
Route::get('/studentsgroup/format', 'PatientbhController@format');  
Route::get('/results', 'PatientbhController@results');  
Route::get('/results/excel', 'PatientbhController@export');  
//Route::get('/tool', function () {return view('/tool')});  
Route::get('/bh', function () {return view('/bh')});  
Route::get('/dmo', function () {return view('/dmo')});  
Route::get('/cmo', function () {return view('/cmo')});  
Route::get('/references', function () {return view('/references')});  
Route::post('/tool', 'PatientbhController@store');  
Route::post('/confirm', compact('resultados'));  
Route::post('/studentsgroup', 'PatientbhController@storegroup');  
  
Route::get('cities/{id}', 'PatientbhController@getCities');  
Route::get('districts/{id}', 'PatientbhController@getDistricts');
```

Figura 4.20 Lista de rutas del sistema BHProject

4.5.4 Implementación del sistema

Al tener nuestro sistema en un proyecto framework en un servidor local en un comienzo, necesitamos implementarlo en un servidor web de acceso público, para que de esta forma podamos hacerlo accesible a todos los usuarios que tengan conexión a internet.

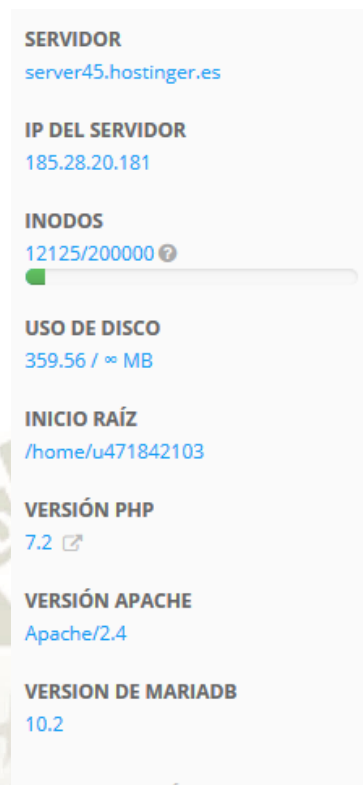
Para realizar esto contamos con un servicio de una página web llamada Hostinger, que se encarga de rentar espacios web dentro de un servidor que se encuentra en línea 24/7, de esta manera el sistema siempre estará disponible para los usuarios.

Primeramente, tenemos los datos más relevantes de nuestra cuenta en la cual colgaremos nuestra aplicación representada en la siguiente figura:



Figura 4.21 Cuenta de hostinger

El servidor que usamos para subir nuestra aplicación posee las siguientes características principales actualmente:



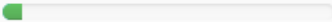

SERVIDOR	server45.hostinger.es
IP DEL SERVIDOR	185.28.20.181
INODOS	12125/200000 
USO DE DISCO	359.56 / ∞ MB
INICIO RAÍZ	/home/u471842103
VERSIÓN PHP	7.2 
VERSIÓN APACHE	Apache/2.4
VERSION DE MARIADB	10.2

Figura 4.22 Características principales del servidor web para BHPProject.

Utilizamos el protocolo de transferencia de archivos (FTP) para realizar todas las migraciones de nuestro proyecto que inicialmente estaba en un servidor local y así transferirlo en este servidor, una vez realizado dicho proceso tenemos la siguiente configuración y carpetas correspondientes a nuestro proyecto:

Inicio > Hosting > reidebihu.net > Archivos > Cuentas FTP

Selección

Refrescar

- ▼ []
- Antro1_files
- Antro1_images
- bhprojectlaravel** (Archivos internos)
- img
- public_html
 - Antro1_files
 - Antro1_images
 - bhproject** (Archivos públicos)
 - charts
 - code
 - img
 - sisprediccion

Acceso FTP

Host FTP	srv45.main-hosting.eu
IP FTP	185.28.20.193
Puerto FTP	21
Usuario FTP	u471842103
Contraseña FTP
Carpeta dónde Cargar Archivos	public_html
¿Olvidaste tu contraseña FTP?	Cambiar contraseña de la cuenta
Cientes FTP recomendados	<input checked="" type="radio"/> SmartFTP <input type="radio"/> FileZilla

Figura 4.23 Propiedades de acceso FTP al servidor web para la aplicación Project.

Como en la imagen anterior se observa se tienen dos entornos de nuestra aplicación, que son los archivos públicos e internos con los que trabaja el framework Laravel con lo que tenemos nuestro sistema protegido de alguna modificación externa y a su vez un sistema más organizado.

Por otro lado, para el entorno de base de datos, el servidor utiliza una herramienta con la intención de manejar la administración de MySQL a través de páginas web. En nuestro sistema con la base de datos ya diseñado se tiene la siguiente implementación realizada en base a las migraciones que el framework laravel utiliza:

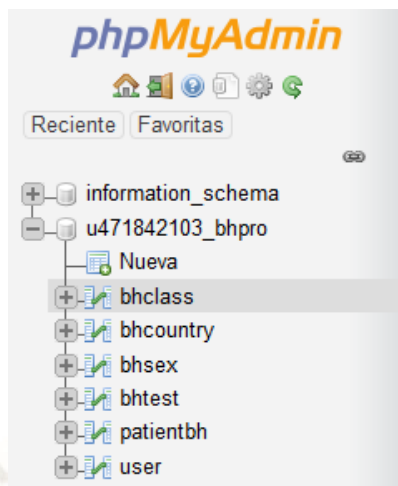


Figura 4.24 Base de datos implementada en la herramienta phpMyAdmin.

Una vez realizados todos los pasos mencionados y con la facilidad que nos brinda el framework laravel para cargar nuestra aplicación a un servidor web, tenemos que nuestra aplicación se está ejecutando normalmente en un ambiente web con su enlace correspondiente.

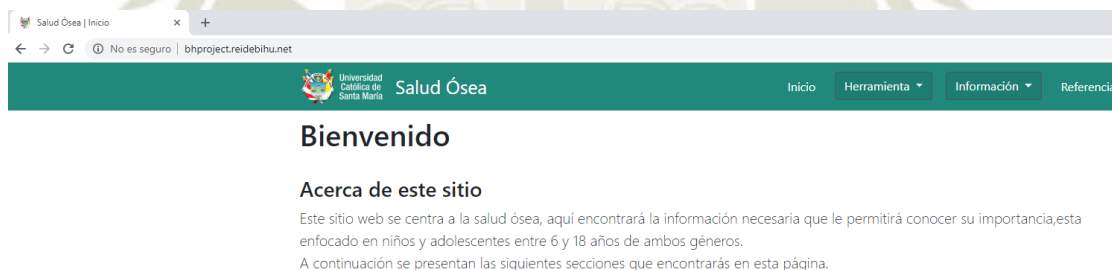


Figura 4.25 Proyecto Laravel BHProject cargado correctamente al servidor web de Hostinger.

4.6 Pruebas de Ejecución

Para realizar el debido análisis de nuestra aplicación y ver si realmente cumple los requerimientos recolectados inicialmente, realizamos una serie de pruebas que nos ayuden a realizar esta tarea, para esto primeramente realizaremos las pruebas unitarias las cuales determinarán que todos los módulos, clases, controladores y funciones individualmente en nuestra aplicación realicen lo que deberían. En segundo

caso de prueba determinaremos si todos estos elementos trabajan conjuntamente y entregan los resultados que deberían mostrarse al usuario final.

4.6.1 Pruebas unitarias

Este tipo de pruebas se realizan con el objetivo de comprobar el funcionamiento correcto de una unidad de código. En este caso probaremos nuestras clases y todas las funciones más importantes que tienen. Esto se utiliza para asegurar que cada unidad funcione correctamente y eficientemente por separado. Además de verificar que el código realiza lo que le corresponde, comprobamos que sea correcto, el nombre, los parámetros, el tipo de lo que devuelve y el estado inicial validado entonces del estado final.

Para realizar este tipo de pruebas el framework Laravel utilizado en este desarrollo nos ayuda con una herramienta llamada PHPUnit, el cual es un ambiente donde realizaremos todo nuestro conjunto de pruebas, las cuales se describirán a continuación:

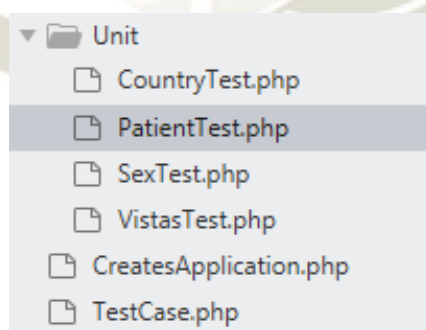


Figura 4.26 Lista de pruebas unitarias para el sistema BHPProject.

Como se observa en la anterior imagen tenemos un conjunto de pruebas las cuales estaremos mostrando a continuación con sus respectivos resultados:

- a) **PatientBHTest:** Comprueba todos los métodos principales, esta es nuestra clase principal ya que realizaremos todas las pruebas más importantes de los cálculos que se tienen para un paciente, las cuales se describen a continuación:

```
10 class PatientTest extends TestCase
11 {
12     /**
13      * A basic test example.
14      *
15      * @return void
16      */
17     public function testCalcularIMC()
18     {
19         //ARRANGE
20         $peso=47;
21         $estatura=1.48;
22         $valor_esperado= 21.46;
23
24         //ACT
25         $imc = Patientbh::calcular_imc($estatura,$peso);
26
27         //ASSERT
28         $this->assertEquals($valor_esperado,$imc);
29     }
30     public function testCalcularDMO()
31     {
32         //ARRANGE
33         $genero=1;
34         $antebrazo=20;
35         $femur=42;
36         $pvc=-1.71;
37         $valor_esperado= 1.59;
38
39         //ACT
40         $dmo = Patientbh::calcular_dmo($genero,$pvc,$antebrazo,$femur);
41
42         //ASSERT
43         $this->assertEquals($valor_esperado,$dmo);
44     }
45 }
```

Figura 4.27 Pruebas unitarias para la clase PatientBH. Elaboración propia.

```
45 public function testCalcularCmo()  
46 {  
47     //ARRANGE  
48     $genero=1;  
49     $antebrazo=20;  
50     $femur=42;  
51     $pvc=-1.71;  
52     $valor_esperado= 1.7;  
53  
54     //ACT  
55     $cmo = Patientbh::calcular_cmo($genero,$pvc,$antebrazo,$femur);  
56  
57     //ASSERT  
58     $this->assertEquals($valor_esperado,$cmo);  
59 }  
60 public function testCalcularPVC()  
61 {  
62     //ARRANGE  
63     $genero=1;  
64     $peso=47;  
65     $estatura=1.48;  
66     $edad= 12;  
67     $estsent= 80;  
68     $cp= $estatura - $estsent;  
69     $valor_esperado= -1.71;  
70  
71     //ACT  
72     $pvc = Patientbh::calcular_pvc($genero,$edad,$estatura,$peso,$estsent,$cp);  
73  
74     //ASSERT  
75     $this->assertEquals($valor_esperado,$pvc);  
76 }  
77  
78 public function testCalcularAdiposidad()  
79 {  
80     //ARRANGE  
81     $genero=1;  
82     $edad= 12;  
83     $circunf= 70;  
84     $valor_esperado= 'Normal';  
85  
86     //ACT  
87     $adiposidad = Patientbh::calcular_adiposidad($genero,$edad,$circunf);  
88  
89     //ASSERT  
90     $this->assertEquals($valor_esperado,$adiposidad);  
91 }  
92 }
```

Figura 4.28 Pruebas unitarias para la clase PatientBH. Elaboración propia.

Tenemos todo el conjunto de pruebas que se realizarán, las cuales constan de 3 partes, la primera son los datos de pruebas que insertamos para probar nuestra función y su valor esperado respectivo, la segunda es la de la acción que quiere decir el método o acción que realizaremos para probar y por último tenemos la aserción que es la que finalmente comprueba que nuestra función se ha realizado con éxito en base a nuestro valor esperado inicialmente.

```

93 public function testClasificacionDMO()
94 {
95     //ARRANGE
96     $genero=1;
97     $edad= 12;
98     $cmo=1.59;
99     $valor_esperado= 'Normal';
100
101     //ACT
102     $adiposidad = Patientbh::calcular_percentildmo($genero,$edad,$cmo);
103
104     //ASSERT
105     $this->assertEquals($valor_esperado,$adiposidad);
106 }
107
108 public function testClasificacionCMO()
109 {
110     //ARRANGE
111     $genero=1;
112     $edad= 12;
113     $cmo=1.7;
114     $valor_esperado= 'Normal';
115
116     //ACT
117     $adiposidad = Patientbh::calcular_percentilcmo($genero,$edad,$cmo);
118
119     //ASSERT
120     $this->assertEquals($valor_esperado,$adiposidad);
121 }
122
123 public function testIndicadorIMC()
124 {
125     //ARRANGE
126     $imc=21.46;
127     $valor_esperado= 'Peso normal';
128
129     //ACT
130     $adiposidad = Patientbh::calcular_indicadorimc($imc);
131
132     //ASSERT
133     $this->assertEquals($valor_esperado,$adiposidad);
134 }
    
```

Figura 4.29 Pruebas unitarias para la clase PatientBH. Elaboración propia.

Con todas estas pruebas se realizan las respectivas ejecuciones y se comprueba que no se tiene ningún error con todos los métodos analizados anteriormente.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject>c:\Users\Usuario\Desktop\BHProject\vendor\bin\phpunit --filter PatientTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

.....                                     8 / 8 (100%)

Time: 246 ms, Memory: 10.00MB

OK (8 tests, 8 assertions)
C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject>
    
```

Figura 4.30 Resultados para el conjunto de pruebas unitarias de la clase PatientBH. Elaboración propia.

b) **SexTest:** Se presentan las pruebas para el modelo de géneros (sexo):

```

1  <?php
2
3  namespace Tests\Unit;
4
5  use Tests\TestCase;
6  use Illuminate\Foundation\Testing\WithFaker;
7  use Illuminate\Foundation\Testing\RefreshDatabase;
8  use App\Sex;
9
10 class SexTest extends TestCase
11 {
12     /**
13      * A basic test example.
14      *
15      * @return void
16      */
17     public function testGetSex()
18     {
19         //ARRANGE
20
21         $masculino=1;
22         $valor_esperado= 'Masculino';
23
24         //ACT
25         $sex = Sex::where('id',$masculino)->first()->sexdes;
26
27         //ASSERT
28         $this->assertEquals($valor_esperado,$sex);
29     }
30 }

```

Figura 4.31 Prueba unitaria de la clase BHSex. Elaboración propia.

Como en esta clase solo probamos si la función de encontrar un sexo determinado nos servirá, tenemos un único test que realiza esta acción.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject>c:\Users\Usuario\Desktop\BHProject\vendor\bin\phpunit --filter SexTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

.
                                                                1 / 1 (100%)

Time: 190 ms, Memory: 10.00MB

OK (1 test, 1 assertion)
C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject>

```

Figura 4.32 Resultados para la prueba unitaria de la clase BHSex. Elaboración propia.

La prueba resulta positiva para conseguir un determinado sexo de los insertados en la base de datos, por lo que esta función se realiza correctamente para todo el sistema a la hora de conseguir estos datos.

c) **CountryTest:** Se presentan las pruebas para el modelo de países:

```

1  <?php
2
3  namespace Tests\Unit;
4
5  use Tests\TestCase;
6  use Illuminate\Foundation\Testing\WithFaker;
7  use Illuminate\Foundation\Testing\RefreshDatabase;
8  use App\Country;
9
10 class CountryTest extends TestCase
11 {
12     /**
13      * A basic test example.
14      *
15      * @return void
16      */
17     public function testGetSex()
18     {
19         //ARRANGE
20
21         $pais_id=173;
22         $valor_esperado= 'Perú';
23
24         //ACT
25         $pais = Country::where('id',$pais_id)->first()->nombre;
26
27         //ASSERT
28         $this->assertEquals($valor_esperado,$pais);
29     }
30 }

```

Figura 4.33 Prueba unitaria de la clase BHCcountry. Elaboración propia.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject>c:\Users\Usuario\Desktop\BHProject\vendor\bin\phpunit --filter CountryTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

.
                                                                    1 / 1 (100%)

Time: 189 ms, Memory: 10.00MB

OK (1 test, 1 assertion)
C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject>

```

Figura 4.34 Resultado para la prueba unitaria de la clase BHCcountry. Elaboración propia.

Como se observa para esta clase sólo se necesita saber si se consiguen todos los países dado un id específico, la prueba resulta positiva para el país que requerimos en la codificación de la prueba unitario, por lo que decimos que realiza correctamente esta acción.

d) **VistasTest:** Se realizan estas pruebas unitarias con el fin de saber si nuestras vistas que no dependen directamente de funciones especiales para ejecutarse, funcionen correctamente sin ningún problema, dichas vistas solo dependen de una sesión interna que se realizará automáticamente, por lo que se tienen las siguientes pruebas unitarias:

```

9  class VistasTest extends TestCase
10 {
11     /**
12      * A basic test example.
13      *
14      * @return void
15      */
16     public function testIndice()
17     {
18         $response = $this->call('GET', '/');
19
20         $this->assertEquals(200, $response->status());
21     }
22     public function testInformacionBH()
23     {
24         $response = $this->call('GET', '/bh');
25
26         $this->assertEquals(200, $response->status());
27     }
28     public function testInformacionDMO()
29     {
30         $response = $this->call('GET', '/dmo');
31
32         $this->assertEquals(200, $response->status());
33     }
34     public function testInformacionCMO()
35     {
36         $response = $this->call('GET', '/cmo');
37
38         $this->assertEquals(200, $response->status());
39     }
40     public function testInformacionReferencias()
41     {
42         $response = $this->call('GET', '/referencias');
43
44         $this->assertEquals(200, $response->status());
45     }
46 }

```

Figura 4.35 Pruebas unitarias para las vistas no dependientes. Elaboración propia.

Como se observa, si la aserción devuelve un valor de 200 (que significa que no hubo ningún problema al entrar en la página) a la respuesta que da el servidor, esta prueba unitaria pasará.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject>c:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject\vendor\bin\phpunit --filter VistasTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

.....                                                    5 / 5 (100%)

Time: 284 ms, Memory: 12.00MB

OK (5 tests, 5 assertions)
C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject>

```

Figura 4.36 Resultados de las pruebas unitarias para las vistas no dependientes. Elaboración propia.

e) **Resultados de pruebas unitarias:** Las pruebas unitarias realizadas anteriormente se hicieron siguiendo el patrón AAA (Arrange, Act and Assert). Por lo que cada prueba se realizó teniendo unos datos iniciales específicos (Arrange), luego, se realizó la acción que se quiere probar del sistema que en este caso serán cada uno

de los métodos que se tienen (Act) y por último, tenemos la verificación que comprueba si nuestra acción fue realizada con éxito y el resultado que devolvió fue igual al esperado (Assert).

Todas las pruebas unitarias realizadas satisfactoriamente arrojaron el valor que se le propuso, por lo que se puede decir que todos los métodos que utilizamos funcionan correctamente por separado. Por otro lado, todas las pruebas unitarias han sido realizadas en base a los requisitos recolectados inicialmente, que nos ayudan a la clasificación de la salud ósea.

4.6.2 Pruebas de integración

Las pruebas de integración nos ayudarán a probar el ámbito del desarrollo de software, una vez que se han probado las respectivas pruebas unitarias, las cuales hemos visto en el punto anterior. Lo que determinan este tipo de pruebas es que todos los elementos unitarios que componen el sistema funcionan juntos correctamente probandolos en grupo. Se enfoca principalmente en probar la comunicación entre los componentes y sus comunicaciones hacia todas las partes de la misma aplicación.

Para realizar esta tarea probaremos los principales módulos que tenemos y que utilizan todas las clases, métodos y vistas que probamos en el punto anterior, básicamente tenemos las siguientes pruebas:

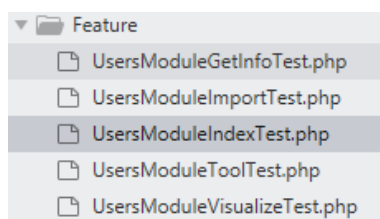


Figura 4.37 Pruebas de integración realizadas para el sistema BHProject. Elaboración propia.

A continuación, se muestran todas las pruebas de integración con sus respectivos resultados:

a) **Pruebas redirección páginas web:** Se presentan las pruebas de integración para la redirección de páginas web:

```

 9  class UsersModuleIndexTest extends TestCase
10  {
11      /**
12       * A basic test example.
13       *
14       * @return void
15       */
16      public function testInicio()
17      {
18          $this->get('/');
19          ->assertStatus(200)
20          ->assertSee('Bienvenido');
21      }
22      public function testRedirectTool()
23      {
24          $this->get('/');
25          ->press('Consultar salud ósea personal')
26          ->assertStatus(200)
27          ->assertSee('Herramienta');
28      }
29      public function testRedirectImport()
30      {
31          $this->get('/');
32          ->press('Consultar salud ósea grupo')
33          ->assertStatus(200)
34          ->assertSee('Importar Grupo de Pacientes');
35      }
36      public function testRedirectResults()
37      {
38          $this->get('/');
39          ->press('Visualizar estado de pacientes')
40          ->assertStatus(200)
41          ->assertSee('Total Cantidad de Pacientes Ingresados');
42      }
43      public function testRedirectBH()
44      {
45          $this->get('/');
46          ->press('Salud ósea')
47          ->assertStatus(200)
48          ->assertSee('Información generals');
49      }
50  }

```

Figura 4.38 Pruebas de integración para la redirección de páginas web. Elaboración propia.

Para realizar estas pruebas básicamente simulamos todos los pasos que el usuario debería realizar en la aplicación para poder navegar correctamente en ella.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject>C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject\vendor\bin\phpunit --filter UsersModuleIndexTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

.....                                         5 / 5 (100%)

Time: 254 ms, Memory: 12.00MB
OK (5 tests, 10 assertions)
C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject>

```

Figura 4.39 Resultados de las pruebas de integración para la redirección de páginas web. Elaboración propia.

b) **Pruebas consulta salud ósea personal:** Se presentan las pruebas de integración para la consulta de salud ósea personal.

```

9  class UsersModuleToolTest extends TestCase
10 {
11     /**
12      * A basic test example.
13      *
14      * @return void
15      */
16     public function testConsultBoneHealthPersonal()
17     {
18         $this->get('/tool')
19         ->assertStatus(200)
20         ->assertSee('Herramienta')
21         ->type('Deyby', 'nombre')
22         ->select('1', 'genero')
23         ->select('12', 'edad')
24         ->select('173', 'pais')
25         ->type('68,3', 'peso')
26         ->type('1,65', 'estatura')
27         ->type('100,2', 'estsent')
28         ->type('51,3', 'circunf')
29         ->type('24,4', 'antebrazo')
30         ->type('42,3', 'femur')
31         ->press('Calcular')
32         ->assertStatus(200)
33         ->assertSee('Resultados de la Herramienta')
34         ->assertSee('Estado según DMO: Normal')
35         ->assertSee('Estado según CMO: Normal');
36     }
37 }

```

Figura 4.40 Prueba de integración para la consulta de la salud ósea personal. Elaboración propia.

Para realizar esta prueba de integración básicamente realizamos el proceso que el usuario realiza para consultar sobre su salud ósea, poniendo unos datos antropométricos de prueba y presionando el botón de “Calcular”, el cual nos debería mostrar todos los resultados de la herramienta, con las características más importantes las cuales serían la clasificación según el DMO y CMO que en este caso son normales.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject>C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject\vendor\bin\phpunit --filter UsersModuleToolTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

.                                                                    1 / 1 (100%)

Time: 208 ms, Memory: 12.00MB

OK (1 test, 6 assertions)

```

Figura 4.41 Resultado de la prueba de integración para la consulta de la salud ósea personal. Elaboración propia.

c) **Pruebas consulta salud ósea en grupo:** Se presentan las pruebas de integración para la consulta de salud ósea en grupo.

```

9  class UsersModuleImportTest extends TestCase
10 {
11     /**
12      * A basic test example.
13      *
14      * @return void
15      */
16     public function testDescargarFormato()
17     {
18         $this->get('/studentsgroup')
19         ->assertStatus(200)
20         ->assertSee('Importar Grupo de Pacientes')
21         ->press('Descargar')
22         ->assertStatus(200)
23         ->assertResponseOk();
24     }
25     public function testConsultarSaludOseaGrupo()
26     {
27         $file='/public/TotalAlumnos.xlsx';
28
29         $this->get('/studentsgroup')
30         ->assertStatus(200)
31         ->assertSee('Importar Grupo de Pacientes')
32         ->attach($file, 'archivoimportar')
33         ->press('ImportarGrupo')
34         ->assertStatus(200)
35         ->assertSee('Resultados de la Herramienta')
36         ->assertSee('Estado según DMO: Normal')
37         ->assertSee('Estado según CMO: Normal');
38     }
39 }

```

Figura 4.42 Pruebas de integración para la consulta de la salud ósea en grupo. Elaboración propia.

En este caso se comprueban dos cosas, la primera es si el formato se puede descargar apretando la opción que le corresponde de descargar el archivo con el formato correcto para ingresar los datos de un conjunto de pacientes. Y segundo subir el archivo con el formato adecuado, el cual al accionar el botón de Importación de grupo debería mostrar todos los resultados de la herramienta con su clasificación.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject>C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject\vendor\bin\phpunit --filter UsersModuleImportTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

..
2 / 2 (100%)

Time: 229 ms, Memory: 12.00MB
OK (2 tests, 9 assertions)

```

Figura 4.43 Resultados para las pruebas de integración para la consulta de la salud ósea en grupo.

d) **Pruebas visualización de resultados:** Se presentan las pruebas de integración para la visualización de resultados.

```

9  class UsersModuleVisualizeTest extends TestCase
10 {
11     /**
12      * A basic test example.
13      *
14      * @return void
15      */
16     public function testVisualizarResultados()
17     {
18         $this->get('/results')
19         ->assertStatus(200)
20         ->assertSee('Total Cantidad de Pacientes Ingresados')
21         ->assertSee('Estado DMO')
22         ->assertSee('Estado CMO');
23     }
24
25     public function testExportarResultados()
26     {
27         $this->get('/results')
28         ->assertStatus(200)
29         ->assertSee('Total Cantidad de Pacientes Ingresados')
30         ->press('ExportarInformacion')
31         ->assertStatus(200)
32         ->assertResponseOk();
33     }
34 }

```

Figura 4.44 Pruebas de integración para la visualización de resultados. Elaboración propia

En este caso al visualizar nuestros resultados probaremos si podemos ver la clasificación realizada según el DMO y CMO adecuado, y conjuntamente ver si la opción de descargar el archivo que vamos a importar funciona.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject>C:\Users\Usuario\Desktop\BHPProject\vendor\bin\phpunit --filter UsersModuleVisualizeTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

..                                                                    2 / 2 (100%)

Time: 221 ms, Memory: 12.00MB

OK (2 tests, 7 assertions)

```

Figura 4.45 Resultados de las pruebas de integración para la visualización de resultados. Elaboración propia

e) **Pruebas revisión de información:** Se presentan las pruebas de integración para la revisión de información.

```

9  class UsersModuleGetInfoTest extends TestCase
10 {
11     /**
12      * A basic test example.
13      *
14      * @return void
15      */
16     public function testgetSaludOsea()
17     {
18         $this->get('/bh')
19         ->assertStatus(200)
20         ->assertSee('Información general');
21     }
22     public function testgetDMO()
23     {
24         $this->get('/dmo')
25         ->assertStatus(200)
26         ->assertSee('Densidad Mineral Ósea');
27     }
28     public function testgetCMO()
29     {
30         $this->get('/cmo')
31         ->assertStatus(200)
32         ->assertSee('Contenido Mineral Óseo');
33     }
34 }

```

Figura 4.46 Pruebas de integración para la revisión de información. Elaboración propia

En este caso básicamente solo revisamos si las redirecciones de la información para revisar corresponden y muestran sus títulos correspondientes.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject>C:\Users\Usuario\Desktop\BHProject\vendor\bin\phpunit --filter UsersModuleGetInfoTest
PHPUnit 7.4.0 by Sebastian Bergmann and contributors.

...                                     3 / 3 (100%)

Time: 236 ms, Memory: 12.00MB
OK (3 tests, 6 assertions)

```

Figura 4.47 Resultados de las pruebas de integración para la revisión de información . Elaboración propia

f) **Resultados de pruebas de integración:** Todas las pruebas de integración se realizaron satisfactoriamente cumpliendo con todos los pasos esperados para realizar en el sistema basados en el diseño construido inicialmente, por lo que se puede decir que las acciones realizadas en el sistema funcionan correctamente trabajando en conjunto.

4.6.3 Pruebas de sistema

Se ha utilizado la herramienta Achecker (<https://achecker.ca>) para determinar la accesibilidad de nuestra herramienta web con el siguiente resultado:

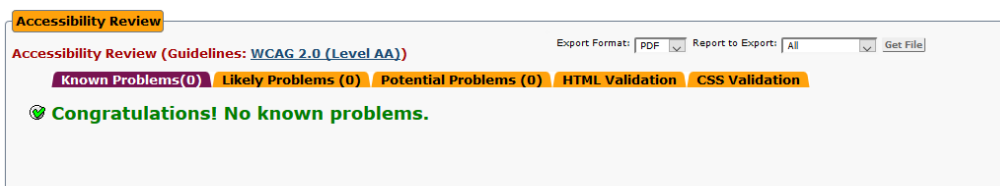


Figura 4.48 Resultado de la prueba de accesibilidad usando Achecker.

Utilizando la herramienta recomendada llamada TAW se han obtenido los siguientes resultados:

a) **Perceptible:** Se presentan las pruebas de perceptibilidad según la herramienta:

Perceptible

La información y los componentes de la interfaz de usuario deben ser presentados a los usuarios de modo que puedan percibirlos.

Pauta	Nivel	Resultado	Problemas	Advertencias	No verificados
11-Textos alternativos			0	0	0
11.1 - Contenido no textual	A	✓			
12-Medios basados en el tiempo			0	0	0
12.1 - Sólo audio y solo vídeo (grabaciones)	A	na			
12.2 - Subtítulos (pregabados)	A	na			
12.3 - Audiodescripción o Medio Alternativo (Pregabado)	A	na			
12.4 - Subtítulos (en directo)	AA	na			
12.5 - Descripción auditiva (Pregabada)	AA	na			
13-Adaptable			0	0	1
13.1 - Información y relaciones	A	✓			
13.2 - Secuencia con significado	A	✓			
13.3 - Características sensoriales	A	?			1
14-Distinguible			0	0	1
14.1 - Uso del color	A	?			1
14.2 - Control del audio	A	na			
14.3 - Contraste (Mínimo)	A	?			1
14.4 - Redimensionamiento del texto	AA	✓			
14.5 - Imágenes de texto	AA	?			1

Figura 4.49 Resultado en la sección Perceptible utilizando la herramienta TAW.

b) **Operable:** Se presentan las pruebas de operatividad según la herramienta:

Operable

Los componentes de la interfaz de usuario y la navegación deben ser operables.

Pauta	Nivel	Resultado	Problemas	Advertencias	No verificados
21-Accessible mediante el teclado			0	0	1
21.1 - Teclado	A	?			1
21.2 - Sin bloques de teclado	A	?			1
22-Tiempo suficiente			0	0	1
22.1 - Tiempo ajustable	A	?			1
22.2 - Pausar, detener, ocultar	A	?			1
23-Provocar ataques			0	0	1
23.1 - Umbral de tres destellos o menos	A	?			1
24-Navegable			0	7	5
24.1 - Evitar bloques	A	!		1	2
24.2 - Páginas tituladas	A	!		1	
24.3 - Orden del foco	A	?			1
24.4 - Propósito de los enlaces (en contexto)	A	✓			
24.5 - Múltiples vías	AA	?			1
24.6 - Encabezados y etiquetas	AA	!		5	
24.7 - Foco visible	AA	?			1

Figura 4.50 Resultado en la sección Operable utilizando la herramienta TAW.

c) Comprensible: Se presentan las pruebas de compresibilidad según la herramienta:

Comprensible

La información y el manejo de la interfaz de usuario debe ser comprensible.

	Plata	Nivel	Resultado	Problemas	Advertencias	No verificados
3.1-Legible				0	0	1
3.1.1 - Idioma de la página		A	✓			
3.1.2 - Idioma de las partes		AA	?			1
3.2-Predecible				0	0	1
3.2.1 - Al recibir el foco		A	?			1
3.2.2 - Al introducir datos		A	?			1
3.2.3 - Navegación consistente		AA	?			1
3.2.4 - Identificación consistente		AA	?			1
3.3-Introducción de datos asistida				0	0	0
3.3.1 - Identificación de errores		A	na			
3.3.2 - Etiquetas o instrucciones		A	na			
3.3.3 - Sugerencias ante errores		AA	na			
3.3.4 - Prevención de errores (legales, financieros, datos)		AA	na			

Figura 4.51 Resultado en la sección Comprensible utilizando la herramienta TAW.

Con estos resultados obtenidos determinamos que nuestra aplicación no tiene mayores problemas en estos 3 aspectos por lo que podemos decir que han pasado las principales pruebas del sistema para que el usuario pueda utilizar la herramienta que es lo principal y sus demás módulos.

4.6.4 Pruebas de facilidad de uso

Para las pruebas de facilidad de uso, se evaluó un total de 15 usuarios no expertos. La tarea que tienen que realizar trata de visualizar la pantalla de inicio, una vez ahí entrar a la herramienta de consulta personal, ingresar los datos antropométricos del paciente que deseen consultar y obtener los resultados correspondientes. Posteriormente se evaluaron a todos los usuarios que llegaron a completar todo el proceso de la aplicación y los errores cometidos:

Tabla 4.20

Validación con usuarios para la herramienta BHProject. Fuente propia.

Usuarios	Resultados				
	¿Ingresó al índice principal?	¿Ingresó a la herramienta?	¿Obtuvo resultados pedidos?	¿Pudo revisar resultados?	Errores cometidos
Cesar Casafranca	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Tania Casafranca	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Yanela Carrillo	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Jimena Carrillo	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Diego Bustamante	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Renato Aguilar	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Sandra Palacios	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Max López	Sí	Sí	Sí	No	1
Pedro Rojas	Sí	Sí	No	No	2
Anthony Rodriguez	Sí	Sí	Sí	Sí	0
María Paredes	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Claudia Carrillo	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Katherine Suca	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Ruben Flores	Sí	Sí	Sí	Sí	0
Fabiola Pérez	Sí	Sí	Sí	Sí	0

Según estos datos obtenidos y para calcular la eficacia de nuestra herramienta usaremos la tasa de finalización, la cual es conocida como la métrica de usabilidad fundamental. Se calcula asignando un valor binario de '1' si el paciente de la prueba logra completar la tarea de satisfacción y '0' si está sale fallida. Debido a su

simplicidad, esta medida es de fácil comprensión y que se puede representar por la siguiente ecuación:

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Número de tareas completadas satisfactoriamente}}{\text{Total número de tareas realizadas}} \times 100\%$$

Usando los datos que se mostraron anteriormente y aplicando esta ecuación, tendríamos lo siguiente:

$$\text{Eficacia} = \frac{13}{15} \times 100\%$$

Con este resultado, tenemos que nuestra aplicación tiene una evaluación de la funcionalidad con un porcentaje de eficacia del **86.6%**.

4.6.5 Pruebas de validación

Este tipo de pruebas verifican que el sistema de software producido cumple con las especificaciones y que logra su cometido, el cual, en este caso sería de entregar al usuario su consulta acerca de la salud ósea de los pacientes que quiera analizar. Se trata de evaluar el sistema o parte de este en el desarrollo para así determinar si satisface los requisitos iniciales y para comprobar si es realmente lo que quiere el cliente o usuario al cual está dirigido el sistema.

Para realizar estas pruebas se ha recolectado un conjunto de 257 datos de alumnos entre 6 y 12 años del colegio "200 MILLAS PERUANAS", ubicado en la ciudad de Arequipa, en el distrito Cerro Colorado. Los datos que se ha medido de cada alumno son los correspondientes a los que se requiere la herramienta para poder consultar su

salud ósea los cuales son: el nombre (opcional), edad, género, peso, estatura sentado, abdomen, antebrazo y fémur.

Como se trata de un conjunto de datos considerable y con el objetivo de no ingresar todos los datos individuales, se ha procedido a utilizar la opción de ingresar todo un grupo de pacientes en la herramienta, los cuáles han arrojado los siguientes resultados:

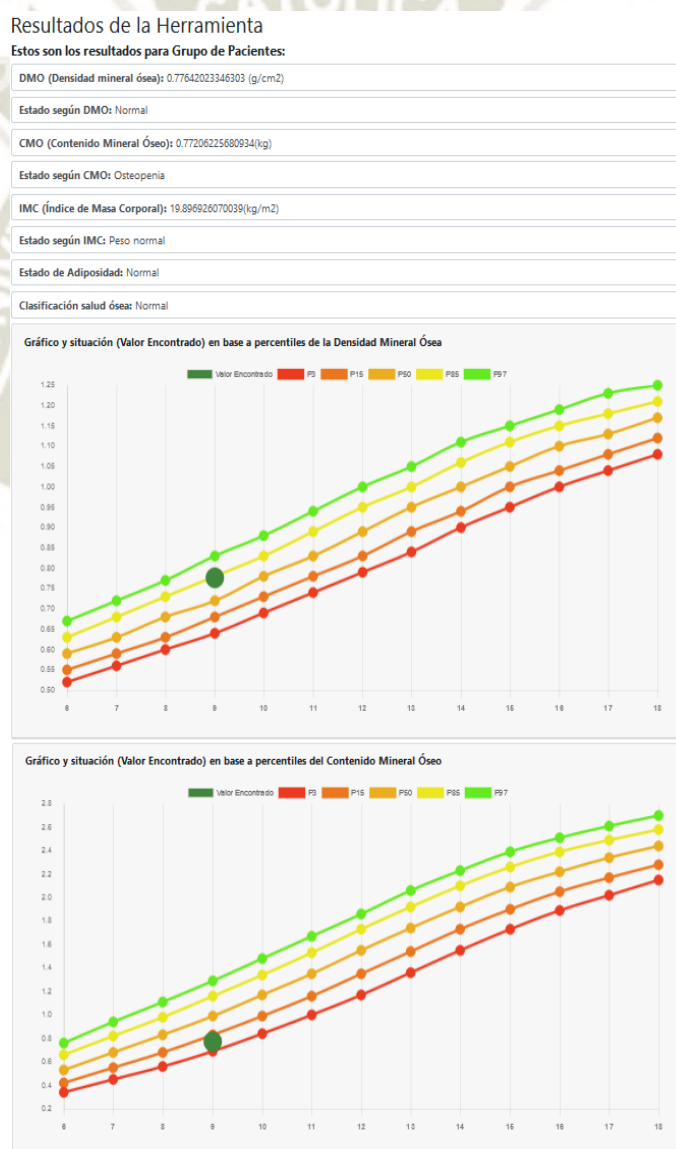


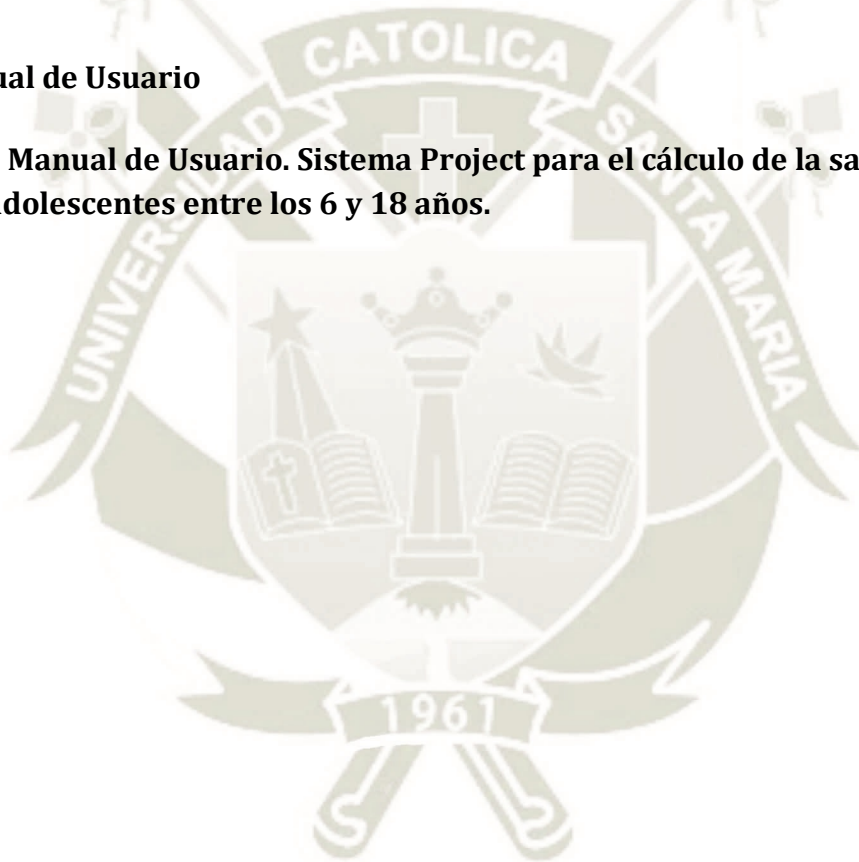
Figura 4.52 Resumen de resultados para todo el conjunto de datos obtenido.

Utilizando la opción para visualizar resultados, podemos ver la clasificación de cada alumno individualmente. Se han extraído todos los resultados de todo este conjunto de datos y se ha obtenido una muestra la cual se presenta como anexo.

Anexo A. Muestra de resultados obtenidos con la herramienta BHProject para los alumnos del colegio “200 MILLAS PERUANAS” del distrito Cerro Colorado, Arequipa.

4.7 Manual de Usuario

Anexo B. Manual de Usuario. Sistema Project para el cálculo de la salud ósea en niños y adolescentes entre los 6 y 18 años.



CAPÍTULO 5: RESULTADOS

En esta sección se presentarán todos los resultados obtenidos del proceso de extracción del conocimiento, es decir, en base a todos los pasos descritos en secciones anteriores, se determinará qué algoritmo es el mejor para clasificar el estado de la salud ósea de escolares entre los 6 y 18 años de ambos géneros. Para esto, como se indicó en la sección de comparación de algoritmos utilizaremos 3 cuadros resultantes los cuales son: la validación cruzada, la matriz de confusión y la precisión por clase.

Además de estos resultados, se mostrará el desarrollo de la herramienta ya publicado para calcular la salud ósea, la cual fue llamada BHProject. Se mostrarán todas las vistas más importantes de la herramienta que ayuden a comprender cómo funciona esta y a su vez validar todos los requerimientos, diseño e implementación que se documentó en capítulos anteriores.

5.1 Proceso de Extracción del Conocimiento

5.1.1 Cuadros de validación Cruzada

En este cuadro se presenta la validación cruzada para los 3 primeros algoritmos que son el Forest PA, J48 y Random Forest.

Tabla 5.1

Validación cruzada en la clasificación entre los algoritmos de aprendizaje automático Forest PA, J48 y Random Forest.

Detalle de resultados	Hombres		Mujeres			Todos			
	Forest PA	J48	Random Forest	Forest PA	J48	Random Forest	Forest PA	J48	Random Forest
Validación cruzada									
Instancias clasificadas correctamente	181	178	182	111	115	112	291	294	296
Instancias clasificadas incorrectamente	6	9	5	13	9	12	21	18	16
% clasificado correctamente	96.79%	95.19%	97.33%	89.52%	92.74%	90.32%	93.27%	94.23%	94.87%
% clasificado incorrectamente	3.21%	4.81%	2.67%	10.48%	7.26%	9.68%	6.73%	5.77%	5.13%
Estadística Kappa	0.2378	0.4477	0.4323	0.8191	0.8728	0.8317	0.8056	0.8476	0.8561
Error medio absoluto	0.0465	0.036	0.0369	0.1589	0.0728	0.1227	0.087	0.0547	0.0731
Error cuadrático medio	0.1371	0.1662	0.119	0.2452	0.2126	0.2275	0.1796	0.1941	0.01635
Error absoluto relativo	16.12%	4.90%	21.13%	24.42%	18.46%	31.11%	34.39%	21.63%	28.876%
Error cuadrático relativo	29.46%	26%	32.48%	38.63%	48.24%	51.64%	51%	55.12%	46.438
Total Número de instancias	187	187	187	124	124	124	312	312	312

Se puede observar que en cuanto a la clasificación de hombres y mujeres se tienen resultados parecidos. Sin embargo, en la clasificación de todo el conjunto de datos el que mejor los clasifica es el Random Forest debido a que se tiene solamente 16 instancias clasificadas incorrectamente. Por otro lado, sus demás campos como los errores y el azar (estadística Kappa) muestran valores no muy relevantes ya que se asemejan entre sí sin ninguna diferencia significativa hasta el momento, por lo que se tomarán en cuenta según se vea conveniente en caso de que algún algoritmo los clasifique de igual manera o mejor que este.

Tabla 5.2

Validación cruzada en la clasificación entre los algoritmos de aprendizaje automático EBMC, TAN y NB Tree.

Detalle de resultados	Hombres			Mujeres			Todos		
	EBMC	TAN	NB Tree	EBMC	TAN	NB Tree	EBMC	TAN	NB Tree
Validación cruzada									
Instancias clasificadas correctamente	181	181	181	63	111	104	241	279	293
Instancias clasificadas incorrectamente	6	6	6	61	13	20	71	33	19
% clasificado correctamente	96.79%	96.79%	96.790%	50.81%	89.52%	83.87%	77.24%	89.42%	93.91%
% clasificado incorrectamente	3.21%	3.21%	3.21%	49.19%	10.48%	16.13%	22.76%	10.58%	6.09%
Estadística Kappa	0.015	0.125	0.2378	0	0.8176	0.7195	0.7254	0.7156	0.8365
Error medio absoluto	0.0662	0.0585	0.0501	0.3941	0.1016	0.1326	0.2525	0.1003	0.0711
Error cuadrático medio	0.1467	0.1525	0.1407	0.4406	0.2301	0.2912	0.3521	0.2293	0.1916
Error absoluto relativo	4.34%	8.21%	34.75%	49.95%	25.76%	33.63%	4.47%	39.64%	28.11%
Error cuadrático relativo	24.83%	33%	72.53%	89.86%	52.21%	66.09%	26.74%	65.13%	54.41%
Total Número de instancias	187	187	187	124	124	124	312	312	312

En este cuadro se muestra la validación cruzada entre los algoritmos EBMC, TAN y NB Tree. De los cuales el más relevante para todo el conjunto de datos es el algoritmo EBMC con el mayor número de datos clasificados correctamente.

Tabla 5.3

Validación cruzada en la clasificación entre los algoritmos de aprendizaje automático DTNB, FURIA y CVR.

Detalle de resultados	Hombres			Mujeres			Todos		
	DTNB	FURIA	CVR	DTNB	FURIA	CVR	DTNB	FURIA	CVR
Validación cruzada									
Instancias clasificadas correctamente	181	181	181	109	111	110	289	290	295
Instancias clasificadas incorrectamente	6	6	6	15	13	14	23	22	17
% clasificado correctamente	96.79%	96.79%	96.79%	87.90%	89.51%	88.71%	92.63%	93.98%	94.55%
% clasificado incorrectamente	3.21%	3.21%	3.21%	12.10%	10.49%	11.29%	7.37%	6.02%	5.45%
Estadística Kappa	0.05	0.4398	0.2791	0.7901	0.8175	0.8066	0.7984	0.8444	0.8499
Error medio absoluto	0.0646	0.0256	0.0371	0.1047	0.0805	0.108	0.1081	0.036	0.0777
Error cuadrático medio	0.1454	0.1498	0.1205	0.2346	0.2489	0.2218	0.2197	0.1573	0.1594
Error absoluto relativo	24.37%	3.08%	26.93%	26.56%	20.42%	27.39	42.72%	14.24%	30.73%
Error cuadrático relativo	33.26%	19%	36.07%	53.24%	56.48%	50.33%	62.39%	44.68%	45.27%
Total Número de instancias	187	187	187	124	124	124	312	312	312

En este cuadro se muestra la validación cruzada para los algoritmos DTNB, FURIA y Classification Via Regression. En estos se tiene la curiosidad de que trabajando para hombres y mujeres individualmente se tiene valores iguales, pero al clasificar todo el conjunto de datos el más relevante para tomar en cuenta es el DTNB que tiene un similar número de instancias clasificadas que el algoritmo EBMC anteriormente visto.

Según todos los cuadros vistos se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- El algoritmo con más instancias clasificadas correctamente para todo el conjunto de datos es el Random Forest con un 94.87% de instancias clasificadas.
- El algoritmo que menos depende del azar es el Random Forest (0.8561), seguido del CVR y FURIA, según su estadística Kappa de todos los algoritmos.

- No hay mucha relevancia entre la clasificación entre géneros específicos (hombres y mujeres individualmente).
- En cuanto a errores medios y absolutos se observó que el algoritmo FURIA tuvo el menor índice de error con una pequeña diferencia frente a otros como el Random Forest.
- Todos los algoritmos mostraron un gran porcentaje de instancias clasificadas correctamente.

5.1.2 Cuadros de la matriz de confusión de la clasificación por percentil

En los siguientes cuadros se muestran las matrices de confusión para todos los algoritmos analizados que nos describen la clasificación de cada uno de ellos:

Tabla 5.4
Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmo de aprendizaje automático Forest PA.

<i>Forest PA</i>	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	180	99%		59	53%		240	82%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	1	1%	0.11	42	38%	0.26	40	14%	0.59
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		10	9%		11	4%	
<i>Total</i>	181	100%		111	100%		291	100%	

Tabla 5.5

Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmo de aprendizaje automático Random Forest.

Random Forest	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	180	99%		58	52%		240	81%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	2	1%	0.05	44	39%	0.12	40	14%	0.21
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		10	9%		16	5%	
Total	182	100%		112	100%		296	100%	

Tabla 5.6

Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmos de aprendizaje automático J48.

J48	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	174	98%		59	51%		233	79%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	4	2%	0.01	47	41%	0.1	47	16%	0.05
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		9	9%		14	5%	
Total	178	100%		115	100%		294	100%	

Tabla 5.7

Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmos de aprendizaje automático EBMC.

EBMC	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	181	0%		63	100%		241	100%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	0	0%	0.1	0	0%	0.03	0	0%	0.06
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		0	0%		0	0%	
Total	181	100%		63	100%		241	100%	

Tabla 5.8

Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmos de aprendizaje automático TAN.

TAN	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	181	100%		60	54%		229	82%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	0	0%	0.01	41	37%	0.03	36	13%	0.04
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		10	9%		14	5%	
Total	181	100%		111	100%		279	100%	

Tabla 5.9

Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmos de aprendizaje automático NB Tree. Elaboración propia.

NB Tree	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	180	99%		53	51%		235	80%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	1	1%	0.22	43	41%	0.83	48	16%	0.73
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		8	8%		10	3%	
Total	181	100%		104	100%		293	100%	

Tabla 5.10

Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmos de aprendizaje automático DTNB. Elaboración propia.

DTNB	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	181	100%		58	53%		234	81%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	0	0%	0.31	41	38%	0.25	41	14%	0.49
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		10	9%		14	5%	
Total	181	100%		109	100%		289	100%	

Tabla 5.11

Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmos de aprendizaje automático FURIA. Elaboración propia.

FURIA	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	179	99%		59	53%		235	81%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	2	1%	0.04	43	39%	0.16	42	14%	0.42
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		9	8%		13	4%	
Total	181	100%		111	100%		290	100%	

Tabla 5.12

Instancias clasificadas entre los diferentes percentiles que determinan la salud ósea usando el algoritmos de aprendizaje automático CVR. Elaboración propia.

CVR	Hombres			Mujeres			Todos		
	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo	fi	%	Tiempo
Instancias Clasificadas como Normal	180	99%		59	54%		239	81%	
Instancias Clasificadas como Osteopenia	1	1%	0.04	40	36%	0.16	40	14%	0.27
Instancias Clasificadas como Osteoporosis	0	0%		11	10%		16	5%	
Total	181	100%		110	100%		295	100%	

En los cuadros anteriores se observó principalmente dos cosas: la clasificación que se le asignó a cada instancia y el tiempo de ejecución de cada algoritmo trabajando con diferentes números de datos. Tomando en cuenta estos dos puntos se tienen los siguientes datos de importancia:

- Se han tomado en cuenta solamente el número de instancias que fueron clasificadas correctamente para todos los algoritmos.
- Todos los algoritmos clasifican el conjunto de instancia de una manera muy parecida, variando entre una cantidad mínima de valores.

- Los 3 algoritmos que demoraron menos en construir sus modelos fueron el algoritmo TAN (0.04s), seguido del algoritmo J48 (0.5) y por último EBMC (0.06s).

5.1.3 Cuadros de la precisión por clase

En los siguientes cuadros se muestran las precisiones por clase de todos los algoritmos analizados según lo que arroja la herramienta WEKA utilizada:

Tabla 5.13

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático Forest PA. Elaboración propia.

Forest PA	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	0.996	0.755	0.611
FP Tasa	0.183	0.023	0.007
Precisión por Clase	0.949	0.870	0.846
Sensibilidad	0.996	0.755	0.611
Valor-F	0.972	0.808	0.710
MCC	0.870	0.775	0.705
ROC Área	0.993	0.979	0.975
PRC Área	0.998	0.898	0.810

Tabla 5.14

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático J48.

J48	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	0.967	0.887	0.778
FP Tasa	0.056	0.042	0.010
Precisión por Clase	0.983	0.810	0.824
Sensibilidad	0.967	0.887	0.778
Valor-F	0.975	0.847	0.800
MCC	0.893	0.815	0.788
ROC Área	0.960	0.905	0.912
PRC Área	0.981	0.730	0.702

Tabla 5.15

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático Random Forest.

Random Forest	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	0.996	0.755	0.889
FP Tasa	0.127	0.012	0.014
Precisión por Clase	0.964	0.930	0.800
Sensibilidad	0.996	0.755	0.889
Valor-F	0.980	0.833	0.842
MCC	0.908	0.810	0.833
ROC Área	0.993	0.981	0.993
PRC Área	0.997	0.910	0.934

Tabla 5.16

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático EBMC.

EBMC	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	1	0	0
FP Tasa	1	0	0
Precisión por Clase	0.772	-	-
Sensibilidad	1	0	0
Valor-F	0.872	-	-
MCC	-	-	-
ROC Área	0.440	0.493	0.324
PRC Área	0.771	0.168	0.046

Tabla 5.17

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático TAN.

TAN	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	0.950	0.679	0.778
FP Tasa	0.169	0.058	0.020
Precisión por Clase	0.950	0.706	0.700
Sensibilidad	0.950	0.679	0.778
Valor-F	0.950	0.692	0.737
MCC	0.781	0.631	0.721
ROC Área	0.974	0.940	0.964
PRC Área	0.991	0.807	0.651

Tabla 5.18

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático NB Tree.

NB Tree	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	0.975	0.906	0.556
FP Tasa	0.056	0.054	0.003
Precisión por Clase	0.983	0.774	0.909
Sensibilidad	0.975	0.906	0.556
Valor-F	0.979	0.835	0.690
MCC	0.910	0.801	0.698
ROC Área	0.975	0.955	0.902
PRC Área	0.990	0.839	0.745

Tabla 5.19

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático DTNB.

DTNB	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	0.971	0.774	0.778
FP Tasa	0.141	0.031	0.017
Precisión por Clase	0.959	0.837	0.737
Sensibilidad	0.971	0.774	0.778
Valor-F	0.965	0.804	0.757
MCC	0.843	0.767	0.742
ROC Área	0.961	0.931	0.951
PRC Área	0.985	0.811	0.695

Tabla 5.20

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático FURIA. Elaboración propia.

FURIA	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	0.992	0.830	0.778
FP Tasa	0.141	0.015	0.003
Precisión por Clase	0.960	0.917	0.933
Sensibilidad	0.992	0.830	0.778
Valor-F	0.976	0.871	0.848
MCC	0.889	0.848	0.844
ROC Área	0.972	0.961	0.941
PRC Área	0.985	0.878	0.873

Tabla 5.21

Capacidad de precisión por clase de la técnica de aprendizaje automático CVR. Elaboración propia.

CVR	Normal	Osteopenia	Osteoporosis
TP Tasa	0.996	0.755	0.611
FP Tasa	0.183	0.023	0.007
Precisión por Clase	0.949	0.870	0.846
Sensibilidad	0.996	0.755	0.611
Valor-F	0.972	0.808	0.710
MCC	0.870	0.775	0.705
ROC Área	0.993	0.979	0.975
PRC Área	0.998	0.898	0.810

Leyenda TP: Verdadero Positivo, FP: Falso Positivo, MCC: Coeficiente de Correlación de Matthew (ϕ), ROC Area: Curva de la Característica Operativa del Receptor, PRC Área: Curva de Precisión y Sensibilidad.

En estos cuadros de precisión por clase observamos todos los algoritmos tienen una precisión significativa y favorable para los valores principales de verdaderos positivos (TP) y falsos negativos (FP), esto es debido a que como se mencionó anteriormente estos algoritmos tienen un gran porcentaje de instancias clasificadas y no dependen de otras variables externas.

Por lo tanto, en base a los cuadros presentados y tomando en cuenta todos los indicadores que nos arrojó la herramienta, se tiene muy claro que el algoritmo que mejor clasifica este conjunto de datos es el Random Forest, ya que en un principio es el que mayor número de instancias clasificadas tiene, su tiempo de ejecución no es el mejor pero no hay una diferencia importante con respecto a los demás, no depende del factor de aleatoriedad y tiene una precisión muy efectiva. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que los otros algoritmos de clasificación no se quedan muy alejados del Random Forest, por lo que también se deberían tomar en cuenta para similares estudios realizados en un futuro.

5.1.4 Modelo de clasificación

Teniendo en cuenta el algoritmo Random Forest como mejor algoritmo para esta clasificación, se utilizará el siguiente modelo en la herramienta para seleccionar la salud ósea en los niños y adolescentes. Se tiene en cuenta que el siguiente representa al mejor árbol de decisión extraído según el algoritmo mencionado:

Género = M

```

| Femur <= 8
| | Femur <= 7
| | | Estatura_Sentado <= 83.3: Osteopenia (9.0/1.0)
| | | Estatura_Sentado > 83.3
| | | | Abdomen <= 72: Osteopenia (4.0/1.0)
| | | | Abdomen > 72: Normal (5.0)
| | | Femur > 7
| | | | Antebrazo <= 18: Osteopenia (2.0)
| | | | Antebrazo > 18
| | | | | Edad <= 8: Normal (14.0)
| | | | | Edad > 8
| | | | | | Antebrazo <= 20: Osteopenia (3.0)
| | | | | | Antebrazo > 20
| | | | | | | Estatura_Sentado <= 82.5
| | | | | | | | Edad <= 14: Normal (16.0/2.0)
| | | | | | | | Edad > 14: Osteopenia (4.0/1.0)
| | | | | | | | Estatura_Sentado > 82.5: Normal (24.0)
| | | Femur > 8
| | | | Edad <= 12: Normal (237.0)
| | | | Edad > 12
| | | | | Estatura_Sentado <= 75.5
| | | | | | Femur <= 9: Osteopenia (7.0/1.0)
| | | | | | Femur > 9: Normal (3.0)
| | | | | Estatura_Sentado > 75.5: Normal (222.0/1.0)
    
```

Género = F

```

| PercentilCMO = Osteoporosis
| | DMO <= 0.95
| | | Femur <= 12.2: Osteoporosis (25.0)
    
```

| | | Femur > 12.2
 | | | | Edad <= 15
 | | | | | CMO <= 1.31: Osteoporosis (2.0)
 | | | | | CMO > 1.31: Osteopenia (8.0)
 | | | | Edad > 15
 | | | | | DMO <= 0.88: Osteoporosis (10.0)
 | | | | | DMO > 0.88
 | | | | | Edad <= 16: Osteopenia (7.0)
 | | | | | Edad > 16: Osteoporosis (6.0/1.0)
 | | DMO > 0.95: Normal (2.0)
 | PercentilCMO = Osteopenia
 | | Femur <= 14.3: Osteopenia (107.0/5.0)
 | | Femur > 14.3
 | | | DMO <= 0.91: Osteopenia (2.0)
 | | | DMO > 0.91: Normal (3.0)
 | PercentilCMO = Normal
 | | Femur <= 13.6
 | | | Edad <= 14
 | | | | Estatura_Sentado <= 76.4: Osteopenia (2.0)
 | | | | Estatura_Sentado > 76.4
 | | | | | Femur <= 12.6
 | | | | | Edad <= 13: Normal (5.0)
 | | | | | Edad > 13: Osteopenia (2.0)
 | | | | | Femur > 12.6: Normal (49.0)
 | | | Edad > 14
 | | | | DMO <= 0.89: Osteopenia (12.0)
 | | | | DMO > 0.89
 | | | | | Edad <= 15: Normal (15.0)
 | | | | | Edad > 15
 | | | | | DMO <= 0.91: Osteopenia (4.0)
 | | | | | DMO > 0.91: Normal (5.0)
 | | Femur > 13.6: Normal (99.0/1.0)

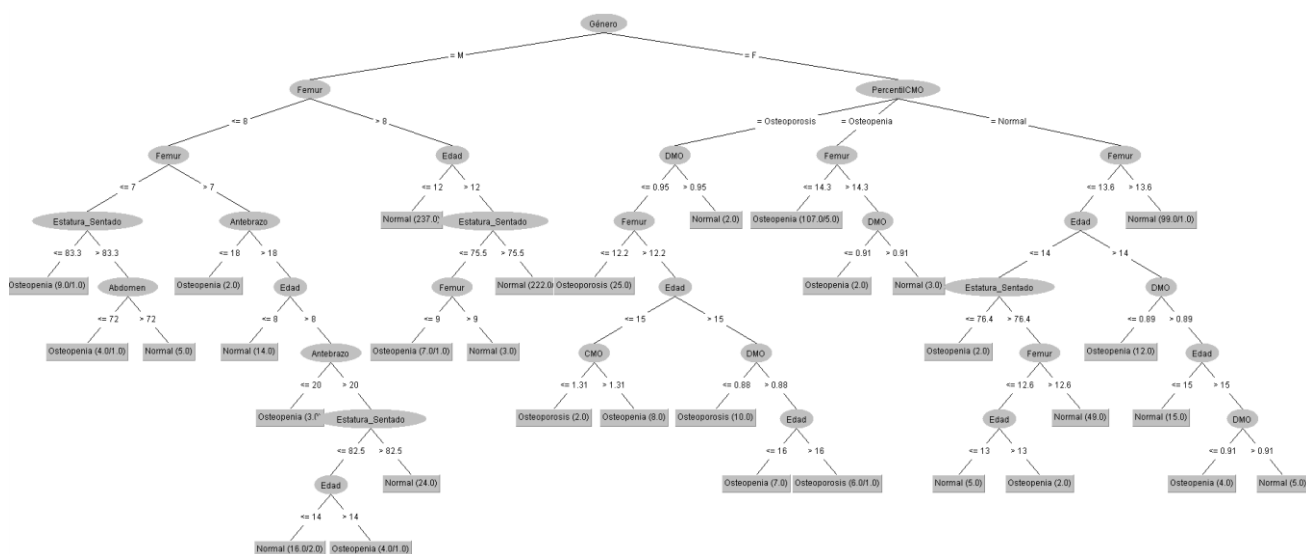


Figura 5.1 Árbol de decisión para la clasificación de la salud ósea utilizado en la herramienta.

5.2 Aplicación Web

A continuación, se presentan todas las vistas más relevantes del desarrollo realizado en un ambiente web:

5.2.1 Página de Inicio

Se presenta la página de inicio de nuestro sistema BHProject el cual muestra una breve descripción acerca de este sitio.

Bienvenido

Acerca de este sitio

Este sitio web se centra a la salud ósea, aquí encontrará la información necesaria que le permitirá conocer su importancia, esta enfocado en niños y adolescentes entre 6 y 18 años de ambos géneros.

A continuación se presentan las siguientes secciones que encontrarás en esta página.

Sección Herramienta

La sección más importante del sitio web, en esta sección se presentarán 3 opciones que el usuario (paciente) podrá realizar para consultar sobre su salud ósea:

- **Consultar salud ósea personal**
En base a datos proporcionados por el paciente y mediante fórmulas de regresión especificadas en la sección de información, se calculará la densidad mineral ósea y contenido mineral ósea que ayudará a determinar la situación del paciente en compañía de otros resultados en base a estos mismos datos.
- **Consultar salud ósea personal grupo**
En base a una base de datos proporcionada con un formato adecuado y mediante las fórmulas utilizadas anteriormente, se calcularán todos los indicadores de salud ósea para un conjunto de pacientes y se brindará un resumen de todos estos en general con su situación.
- **Visualizar estado de pacientes**
Se mostrarán los datos más importantes de los pacientes ingresados ya sea de forma individual como de forma masiva por el método anterior. A su vez se proporcionará un enlace en el cuál todos estos datos podrán ser exportados a un archivo en excel. El objetivo de esta opción es proporcionar a nuevos investigadores a realizar estudios parecidos con estos datos.

Sección Información

Esta sección servirá para explicar todos los resultados obtenidos por la herramienta, indicarán las fórmulas y percentiles utilizados.

- **Salud Ósea**
Información general sobre la salud ósea y los indicadores que ayudarán a identificar al paciente cuál es su situación actual.
- **Densidad Mineral Ósea**
Se presentan las fórmulas de regresión utilizadas para calcular la densidad mineral ósea, a su vez se muestran los percentiles que ayudan a determinar la situación de un paciente.
- **Contenido Mineral Óseo**
Se presentan las fórmulas de regresión utilizadas para calcular el contenido mineral óseo, a su vez se muestran los percentiles que ayudan a determinar la situación de un paciente.

Sección Referencias

Se presentan todas las referencias utilizadas para la creación de la herramienta, es decir, de todos los cálculos realizados en esta. Esta sección sirve de guía general para todo lo que se ha visto en esta página web.

Figura 5.2 Página de Inicio de la Herramienta BHPProject.

Es la página de presentación donde se describe brevemente cada sección y se redirecciona a ella, se utiliza principalmente como una guía para cualquier usuario nuevo que entre al sitio web.

5.2.2 Herramienta

A continuación, se muestra la herramienta principal del sistema:

Herramienta

Ingrese sus datos:

Todos los números decimales deben ser escritos con coma ",".

Nombre (Opcional):

Género*:
 Masculino Femenino

Edad*:

País (Opcional):

Ciudad (Opcional):

Distrito (Opcional):

Peso (kg.)*:

Estatura (m.)*:

Estatura sentado (cm.)*:

Circunferencia abdominal (cm.)*:

Longitud antebrazo (cm.)*:

Díámetro de fémur (cm.)*:

Figura 5.3 Vista del formulario para calcular la salud ósea de la herramienta BHPProject.

Se podría considerar que este es el módulo más importante de todo el desarrollo, ya que en un principio fue ideado a partir de la idea de tener una

herramienta para calcular la salud ósea en base a fórmulas de regresión, por lo que para aplicar estas fórmulas se necesitan ciertos datos de los pacientes los cuales se describen en este formulario. Por otro lado, tenemos dos datos que si bien no son relevantes para el cálculo propio de la herramienta, nos ayudarán a identificar a los pacientes y a dividirlos por sectores (países), esta opción es netamente opcional por lo que la persona que no quiera brindar sus datos estará en total libertad de no hacerlo, lo cual no influirá para nada en la vista de sus resultados. Para este caso se han hecho todas las validaciones necesarias que se indican más específicamente en el Manual de usuario.

5.2.3 Importación de Varios pacientes en base a Formato

A continuación, se muestra la sección para importar un grupo de pacientes y mostrar sus resultados con un formato dado por la misma herramienta:

Importar Grupo de Pacientes

Atención: Se necesita el formato adecuado para poder hacer la importación, puede descargar el formato en el siguiente enlace:

[Descargar Formato](#)

Nota: Las cabeceras del archivo no deben ser cambiadas y se deberán ingresar los datos según el ejemplo del formato

Ingrese el archivo que desee importar:

Seleccione el archivo*: No se ha seleccionado ningún archivo.

[Importar Grupo](#)

Figura 5.4 Vista para importar grupo de pacientes de la Herramienta BHPProject.

Este apartado para importar grupo de pacientes se desarrolló con la idea de que un tutor o profesor de un grupo de estudiantes pueda saber el estado de la salud ósea promedio de todos ellos, con lo que se brinda un formato específico para descargar y

donde pueda poner todos los datos requeridos por el mismo formato, que son básicamente toda información pedida por la herramienta estructurado de otra manera. Se entregarán los resultados de la misma manera que la herramienta por lo que se consideran los mismos datos, solo que en este caso se mostrará un promedio de todos los pacientes ingresados en el formato. Las siguientes vistas serán un ejemplo del resultado de realizar correctamente la inserción de la información requerido.

5.2.4 Resultados del cálculo (Ejemplo)

Se presenta un ejemplo del resultado que bota la herramienta cuando un usuario ingresa todos sus datos correctamente:

Resultados de la Herramienta

Estos son los resultados para YOVANA IBIA:

DMO (Densidad mineral ósea): 0.93 (g/cm ²)
Estado según DMO: Normal
CMO (Contenido Mineral Óseo): 1.66(kg)
Estado según CMO: Normal
IMC (Índice de Masa Corporal): 20.46(kg/m ²)
Estado según IMC: Peso normal
Estado de Adiposidad: Normal
Clasificación salud ósea: Normal
Su identificador es : 3968

Figura 5.5 Vista de resultados ejemplo de la Herramienta BHProject

Esta vista es la parte más importante de la herramienta misma, ya que, en base a todos los datos ingresados, te muestra un resumen sobre cómo es tu situación en tu salud ósea en base a los valores de densidad mineral ósea, contenido mineral óseo, índice de masa corporal y circunferencia abdominal (adiposidad) con sus respectivas medidas. Por lo que en base a estos datos se entrega una serie de indicadores para estos

valores, los cuales mencionan su estado o nivel en el que se encuentran. Tanto la densidad mineral ósea como el contenido mineral óseo fueron calculados en base a fórmulas de regresión especificadas en el apartado de información de la herramienta. El índice de masa corporal se halló en base al peso y altura de la persona y la adiposidad toma el calor de la circunferencia abdominal y lo pone en un rango determinado que mide si el paciente se encuentra en un estado normal o con sobrepeso.

5.2.5 Gráficos en base a los resultados

Los resultados entregan los siguientes gráficos explicados a continuación:

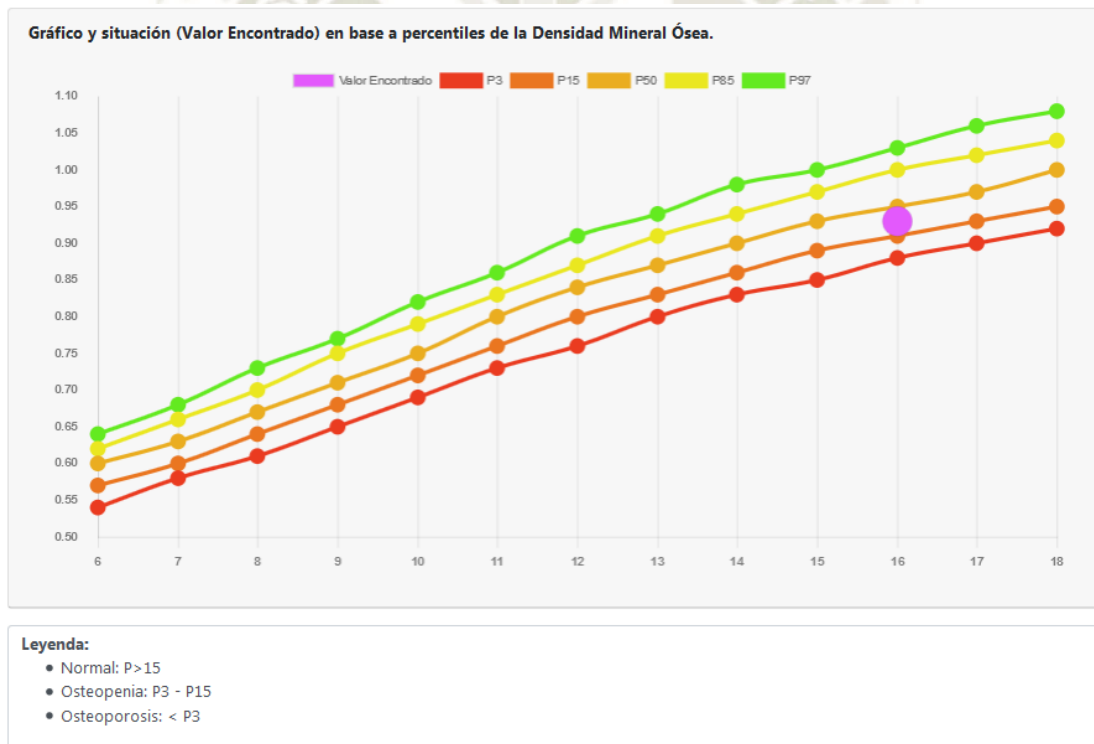


Figura 5.6 Resultado ejemplo de crecimiento y situación en base a los percentiles de la densidad mineral ósea de la Herramienta BHProject.

Se realizó este gráfico de crecimiento en base a los percentiles de la densidad mineral ósea que se tiene como información, estos percentiles están especificados en la sección de información de la herramienta. Lo que nos ayuda a identificar esta gráfica

es la posición en que nos encontramos en contraste a los valores normales que debería tener una persona por edad, esto quiere decir que una persona que se encuentre por debajo de estas líneas (Percentil 3 o P3) tiene una gran probabilidad de tener Osteoporosis lo cual debería indicarse en el resultado anterior. Cuando se encuentra del percentil 3 al percentil 15 (P3 a P15), el paciente tiene una gran probabilidad de sufrir de Osteopenia. Por último, si el paciente está por encima del Percentil 15 (P15) se encuentra en una situación normal, y mientras más alto este de la gráfica se considera que tiene una mejor salud ósea o unos niveles óptimos según su densidad mineral ósea.

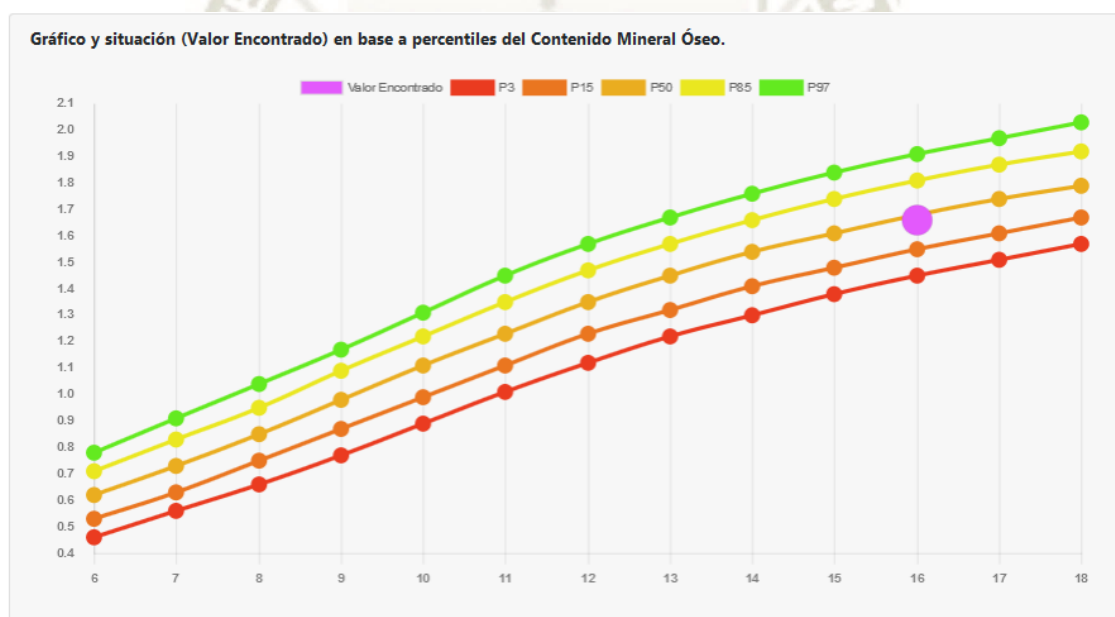


Figura 5.7 Resultado ejemplo de crecimiento y situación en base a los percentiles del contenido mineral óseo de la Herramienta Project.

Se realizó este gráfico de crecimiento en base a los percentiles del contenido mineral óseo que se tiene como información, estos percentiles están especificados en la sección de información de la herramienta. Lo que nos ayuda a identificar esta gráfica

es la posición en que nos encontramos en contraste a los valores normales que debería tener una persona por edad, esto quiere decir que una persona que se encuentre por debajo de estas líneas (Percentil 3 o P3) tiene una gran probabilidad de tener Osteoporosis lo cual debería indicarse en el resultado anterior. Cuando se encuentra del percentil 3 al percentil 15 (P3 a P15), el paciente tiene una gran probabilidad de sufrir de Osteopenia. Por último, si el paciente está por encima del Percentil 15 (P15) se encuentra en una situación normal, y mientras más alto este de la gráfica se considera que tiene una mejor salud ósea o unos niveles óptimos según su contenido mineral óseo.

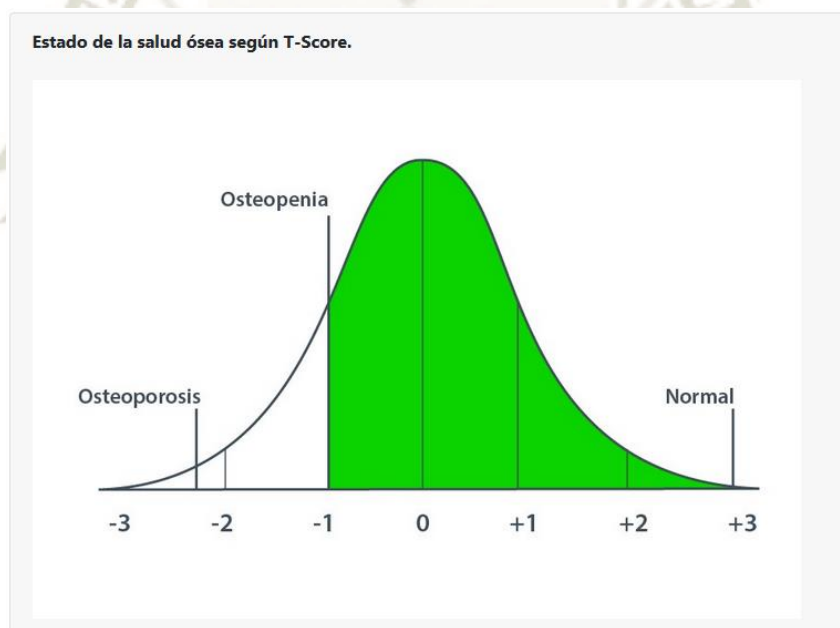


Figura 5.8 Resultado ejemplo de la situación de la salud ósea según el T-Score de la Herramienta BHPProject.

Por último, se tiene este gráfico resultante del T-score que muestra cuánto difiere la masa ósea del paciente de la masa ósea de una persona saludable. Los resultados para toda la población se distribuyen en torno a un puntaje promedio (media). El T-score es una desviación estándar, un término matemático que calcula

cuánto varía un resultado (en este caso la densidad mineral ósea) del promedio o la media. Este valor calculado mediante fórmula se toma como un valor medida a través de la prueba de densidad ósea. Esta prueba normalmente tiene programado usar una fórmula para calcular estos valores.

5.2.6 Visualización de Pacientes Insertados

Para la visualización de resultados tenemos la siguiente vista:

Total Cantidad de Pacientes Ingresados

Tiene la opción de descargar la lista y buscar su resultado.

Exportar Información a Excel

ID	Sexo	País	Ciudad	Distrito	Edad	APVC	DMO	CMO	Clasificación Salud Ósea	Fecha Evaluación
3936	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	17	0.94	0.93	1.61	Osteoporosis	21-10-2018
3167	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	15	0.77	1	1.48	Normal	21-10-2018
3895	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	16	0.28	0.92	1.58	Osteopenia	21-10-2018
3687	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	14	-0.68	0.87	1.44	Osteopenia	21-10-2018
3279	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	16	0.51	1.02	1.68	Osteopenia	21-10-2018
3067	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	13	-0.92	0.95	1.36	Normal	21-10-2018
3799	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	15	-0.11	0.89	1.48	Osteopenia	21-10-2018
3952	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	17	0.97	0.93	1.6	Osteoporosis	21-10-2018
3183	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	15	1.04	1.03	1.71	Normal	21-10-2018
3911	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	16	0.22	0.91	1.54	Osteopenia	21-10-2018

Figura 5.9 Vista para visualizar grupo de pacientes de la Herramienta Project.

En la última vista de la herramienta propiamente dicha y también importante se tiene un cuadro con paginación de todos los resultados obtenidos por la herramienta (ya sea personal o importación masiva), de los cuáles se tienen sus resultados más relevantes y que ayuda a interpretar el resultado de cada uno. A su vez se tiene un

enlace por el cual se puede exportar toda esta información a un archivo Excel para el análisis de estos datos o para buscar un resultado en específico.



CONCLUSIONES

1. En base a la investigación teórica se llega a observar cómo este proyecto mejorará a la obtención de datos por la herramienta desarrollada para un análisis KDD parecido al presentado con otro tipo de algoritmos.
2. Se han analizado y preparado todos los datos recolectado de los escolares para el correcto uso del proceso de extracción del conocimiento usando técnicas de discretización y limpieza de datos.
3. Se han extraído todos los modelos resultantes para los 9 algoritmos de aprendizaje automático utilizando la herramienta WEKA.
4. Se ha encontrado el mejor algoritmo de aprendizaje automático de los 9 analizados, el cual es el Random Forest con una ligera ventaja comparado a los demás y con 94.87% de instancias correctamente clasificadas.
5. Se ha diseñado y construido la arquitectura de la herramienta para determinar la clasificación de la salud ósea de un paciente.
6. Se ha realizado el desarrollo de la herramienta llamada BHProject en base al diseño y arquitectura documentada, la cual, en base a los datos ingresados por el usuario del paciente deseado, determina la clasificación de su salud ósea utilizando un modelo de la técnica de aprendizaje automático Random Forest.
7. El sistema desarrollado es práctico y fácil de usar, por lo que esto beneficiará a la población en general para determinar su estado en su salud ósea para una edad temprana de vida.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer un análisis más extenso en base a los datos recopilados por la herramienta con un número más grande de información.
2. Actualmente la herramienta funciona y cumple su objetivo, sin embargo, de encontrarse nuevas sugerencias o ideas para mejorarla o hacer que la interacción con el usuario sea más clara y entendible, se sugiere aplicar estas mejoras o proponerlas.
3. Este proyecto fue realizado en base a la salud ósea, pero según la investigación teórica se necesita aplicar este tipo de investigaciones para otras áreas de interés médico ya que para un futuro puede ser de gran utilidad debido a que algoritmos de aprendizaje automático cada vez están siendo más vistos actualmente.
4. En base a los resultados obtenidos en este proyecto, se sugiere hacer otro tipo de análisis con nuevos algoritmos que vayan saliendo en un futuro y que pueden llegar ser incluso mejores que el presentado actualmente.

REFERENCIAS

- Adnan, M., & Islam, M. (2017). Forest PA: Constructing a decision forest by penalizing attributes used in previous trees. *Expert Systems with Applications*, 89, 389-403. doi: 10.1016/j.eswa.2017.08.002
- Afsarimanesh, N., Mukhopadhyay, S., & Kruger, M. (2018). Sensing technologies for monitoring of bone-health: A review. *Sensors And Actuators A: Physical*, 274, 165-178. doi: 10.1016/j.sna.2018.03.027
- Alessandrini, N. (2015). APLICACIÓN DE ALGORITMOS DE APRENDIZAJE ESTADÍSTICO PARA PREDECIR VELOCIDADES DE BUSES CON INFORMACIÓN EN TIEMPO REAL. Extraído desde <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/15612/000658808.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ali, G., Abdelbary, E., Albuali, W., AboelFetoh, N., & AlGohary, E. (2017). Bone mineral density & bone mineral content in Saudi children, risk factors and early detection of their affection using dual-emission X-ray absorptiometry (DEXA) scan. *Egyptian Pediatric Association Gazette*, 65(3), 65-71. doi: 10.1016/j.epag.2017.03.005
- Arcelli Fontana, F., & Zanoni, M. (2017). Code smell severity classification using machine-learning techniques. *Knowledge-Based Systems*, 128, 43-58. doi: 10.1016/j.knosys.2017.04.014
- Arias, J., Martínez-Gómez, J., Gámez, J., Seco de Herrera, A., & Müller, H. (2016). Medical image modality classification using discrete Bayesian networks.

Computer Vision And Image Understanding, 151, 61-71. doi:

10.1016/j.cviu.2016.04.002

Bibi, S., Tsoumakas, G., Stamelos, I., & Vlahavas, I. (2008). Regression via Classification applied on software defect estimation. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 2091-2101. doi: 10.1016/j.eswa.2007.02.012

Bourque, P., & Fairley, R. E. (2014). SWEBOK: Guide to the software engineering body of knowledge. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society.

Byrne, M. (2017). Machine Learning in Health Care. *Journal of Perianesthesia Nursing*, 32(5), 494-496. doi: 10.1016/j.jopan.2017.07.004

Crown, W. (2015). Potential Application of Machine Learning in Health Outcomes Research and Some Statistical Cautions. *Value In Health*, 18(2), 137-140. doi: 10.1016/j.jval.2014.12.005

De Ávila, M., Xavier, M., Pintro, V., & de Azevedo, W. (2017). Supervised machine-learning techniques to predict binding affinity. A study for cyclin-dependent kinase 2. *Biochemical And Biophysical Research Communications*, 494(1-2), 305-310. doi: 10.1016/j.bbrc.2017.10.035

Fratello, M., & Tagliaferri, R. (2018). Decision Trees and Random Forests. *Reference Module in Life Sciences*. doi: 10.1016/b978-0-12-809633-8.20337-3

Gómez-Campos, R., Andruske, C., Arruda, M., Urra Albornoz, C., & Cossio-Bolaños, M. (2017). Proposed equations and reference values for calculating bone health in children and adolescent based on age and sex. *PLOS ONE*, 12(7), e0181918. doi: 10.1371/journal.pone.0181918

Gullberg, B., Johnell, O., & Kanis, J. (1997). Worldwide Projections for Hip Fracture.

Osteoporosis International, 7(5), 407-413. doi: 10.1007/pl00004148

Gutiérrez, J. (2009). Sistemas Expertos Basados en Reglas. Extraído desde:

<http://personales.unican.es/gutierjm/cursos/expertos/Reglas.pdf>

Heung, B., Ho, H., Zhang, J., Knudby, A., Bulmer, C., & Schmidt, M. (2016). An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping. *Geoderma*, 265, 62-77. doi:

10.1016/j.geoderma.2015.11.014

Home - National Osteoporosis Foundation. (2018). Extraído desde:

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

Hu, R., Mac Namee, B., & Delany, S. (2016). Active learning for text classification with reusability. *Expert Systems with Applications*, 45, 438-449. doi:

10.1016/j.eswa.2015.10.003

Hühn, J., & Hüllermeier, E. (2009). FURIA: an algorithm for unordered fuzzy rule induction. *Data Mining And Knowledge Discovery*, 19(3), 293-319. doi:

10.1007/s10618-009-0131-8

Introducción a la Teoría de Aprendizaje de Máquina y sus Aplicaciones: Un Tutorial Visual con Ejemplos. (2018). Retrieved from

<https://www.toptal.com/machine-learning/introduccion-a-la-teoria-de-aprendizaje-de-maquina-y-sus-aplicaciones-un-tutorial-visual-con-ejemplos/es>

- Istepanian, R., & Al-Anzi, T. (2018). m-Health 2.0: New perspectives on mobile health, Machine Learning and Big Data Analytics. *Methods*. doi: 10.1016/j.ymeth.2018.05.015
- Järvelin, A., & Juhola, M. (2011). Comparison of machine learning methods for classifying aphasic and non-aphasic speakers. *Computer Methods and Programs In Biomedicine*, 104(3), 349-357. doi: 10.1016/j.cmpb.2011.02.015
- Jiang, L., & Li, C. (2011). Scaling Up the Accuracy of Decision-Tree Classifiers: A Naive-Bayes Combination. *Journal Of Computers*, 6(7). doi: 10.4304/jcp.6.7.1325-1331
- John A Kanis. (2007). *ASSESSMENT OF OSTEOPOROSIS AT THE PRIMARY HEALTH CARE LEVEL*, World Health Organization Scientific Group (p. 65).
- Kanis, J. (2002). Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *The Lancet*, 359(9321), 1929-1936. doi: 10.1016/s0140-6736(02)08761-5
- Kavakiotis, I., Tsave, O., Salifoglou, A., Maglaveras, N., Vlahavas, I., & Chouvarda, I. (2017). Machine Learning and Data Mining Methods in Diabetes Research. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 15, 104-116. doi: 10.1016/j.csbj.2016.12.005
- Kazemian, H., & Ahmed, S. (2015). Comparisons of machine learning techniques for detecting malicious webpages. *Expert Systems with Applications*, 42(3), 1166-1177. doi: 10.1016/j.eswa.2014.08.046
- Khosla, S., Melton, L., Atkinson, E., O'Fallon, W., Klee, G., & Riggs, B. (1998). Relationship of Serum Sex Steroid Levels and Bone Turnover Markers with

- Bone Mineral Density in Men and Women: A Key Role for Bioavailable Estrogen¹. *The Journal Of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 83(7), 2266-2274. doi: 10.1210/jcem.83.7.4924
- Kostyukov, V., & Zaytsev, A. (2016). Using Adaptive Algorithms Based of Fuzzy Logic in Vibration Diagnostic Systems. *Procedia Engineering*, 152, 482-486. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.628
- Liu, Y., Zhao, T., Ju, W., & Shi, S. (2017). Materials discovery and design using machine learning. *Journal of Materiomics*, 3(3), 159-177. doi: 10.1016/j.jmat.2017.08.002
- López Pineda, A., Ye, Y., Visweswaran, S., Cooper, G., Wagner, M., & Tsui, F. (2015). Comparison of machine learning classifiers for influenza detection from emergency department free-text reports. *Journal of Biomedical Informatics*, 58, 60-69. doi: 10.1016/j.jbi.2015.08.019
- Lüftner, D., Niepel, D., & Steger, G. (2018). Therapeutic approaches for protecting bone health in patients with breast cancer. *The Breast*, 37, 28-35. doi: 10.1016/j.breast.2017.10.007
- Lupsa, B., & Insogna, K. (2015). Bone Health and Osteoporosis. *Endocrinology and Metabolism Clinics Of North America*, 44(3), 517-530. doi: 10.1016/j.ecl.2015.05.002
- Lynch, C., Abdollahi, B., Fuqua, J., de Carlo, A., Bartholomai, J., & Balgemann, R. et al. (2017). Prediction of lung cancer patient survival via supervised machine

- learning classification techniques. *International Journal of Medical Informatics*, 108, 1-8. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2017.09.013
- Maas, B., Wang, J., Cooner, F., Green, D., Yuan, Y., Yao, L., & Burckart, G. (2017). Bone Mineral Density to Assess Pediatric Bone Health in Drug Development. *Therapeutic Innovation & Regulatory Science*, 51(6), 756-760. doi: 10.1177/2168479017709047
- Maglogiannis, I. (2007). *Emerging artificial intelligence applications in computer engineering*. Amsterdam: IOS Press.
- Maniruzzaman, M., Kumar, N., Menhazul Abedin, M., Shaykhul Islam, M., Suri, H., El-Baz, A., & Suri, J. (2017). Comparative approaches for classification of diabetes mellitus data: Machine learning paradigm. *Computer Methods And Programs In Biomedicine*, 152, 23-34. doi: 10.1016/j.cmpb.2017.09.004
- Matindife, L., & Wang, Z. (2017). Fuzzy Logic Algorithms Based Measurement and Control System for Intermixed Biogas and Photovoltaic Systems. *Procedia Manufacturing*, 7, 339-344. doi: 10.1016/j.promfg.2016.12.083
- McDevitt, H., McGowan, A., & Ahmed, S. (2014). Establishing good bone health in children. *Paediatrics And Child Health*, 24(2), 78-82. doi: 10.1016/j.paed.2013.08.007
- Moorthy, N., Kumar, S., & Poongavanam, V. (2017). Classification of carcinogenic and mutagenic properties using machine learning method. *Computational Toxicology*, 3, 33-43. doi: 10.1016/j.comtox.2017.07.002

- Nitta, K., Yajima, A., & Tsuchiya, K. (2017). Management of Osteoporosis in Chronic Kidney Disease. *Internal Medicine*, 56(24), 3271-3276. doi: 10.2169/internalmedicine.8618-16
- Office of the Surgeon General (US) (2004). Bone Health and Osteoporosis: A Report of the Surgeon General. Rockville (MD).
- Osborn, W., Simm, P., Olds, T., Lycett, K., Mensah, F., & Muller, J. et al. (2018). Bone health, activity and sedentariness at age 11–12 years: Cross-sectional Australian population-derived study. *Bone*, 112, 153-160. doi: 10.1016/j.bone.2018.04.011
- Pal, R. (2017). Predictive modeling based on random forests. *Predictive Modeling Of Drug Sensitivity*, 149-188. doi: 10.1016/b978-0-12-805274-7.00007-5
- Rosen, C. (2013). *Diseases and disorders of mineral metabolism*. Iowa, U.S.A.: Wiley-Blackwell.
- Sankari, E., & Manimegalai, D. (2017). Predicting membrane protein types using various decision tree classifiers based on various modes of general PseAAC for imbalanced datasets. *Journal Of Theoretical Biology*, 435, 208-217. doi: 10.1016/j.jtbi.2017.09.018
- Seeman, E. (2003). Invited Review: Pathogenesis of osteoporosis. *Journal Of Applied Physiology*, 95(5), 2142-2151. doi: 10.1152/jappphysiol.00564.2003
- Seeman, E. (2003). Periosteal Bone Formation — A Neglected Determinant of Bone Strength. *New England Journal Of Medicine*, 349(4), 320-323. doi: 10.1056/nejmp038101

- Seligman, B., Tuljapurkar, S., & Rehkopf, D. (2018). Machine learning approaches to the social determinants of health in the health and retirement study. *SSM - Population Health*, 4, 95-99. doi: 10.1016/j.ssmph.2017.11.008
- Shang, N., & Wu, J. (2018). Nutrients for Bone Health. *Reference Module In Food Science*. doi: 10.1016/b978-0-08-100596-5.21744-7
- Shi, H. (2006) *Best-first Decision Tree Learning (master's thesis)*. The University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- Staa, T., Staa, T., Staa, T., Leufkens, H., & Cooper, C. (2002). The Epidemiology of Corticosteroid-Induced Osteoporosis: a Meta-analysis. *Osteoporosis International*, 13(10), 777-787. doi: 10.1007/s001980200108
- Sugiyama, M. (2016). Statistical Machine Learning. *Introduction To Statistical Machine Learning*, 3-8. doi: 10.1016/b978-0-12-802121-7.00012-1
- Swanson, C., Kohrt, W., Buxton, O., Everson, C., Wright, K., Orwoll, E., & Shea, S. (2018). The importance of the circadian system & sleep for bone health. *Metabolism*, 84, 28-43. doi: 10.1016/j.metabol.2017.12.002
- Uther, W., Mladenić, D., Ciaramita, M., Berendt, B., Kołcz, A., & Grobelnik, M. et al. (2011). Tree Augmented Naive Bayes. *Encyclopedia Of Machine Learning*, 990-991. doi: 10.1007/978-0-387-30164-8_850
- Viswanathan, M., Reddy, S., Berkman, N., Cullen, K., Middleton, J., Nicholson, W., & Kahwati, L. (2018). Screening to Prevent Osteoporotic Fractures. *JAMA*, 319(24), 2532. doi: 10.1001/jama.2018.6537

Wang, L., Li, X., Cao, C., & Yuan, S. (2006). Combining decision tree and Naive Bayes for classification. *Knowledge-Based Systems*, 19(7), 511-515. doi:

10.1016/j.knosys.2005.10.013

Williams, K. (2016). Update on Bone Health in Pediatric Chronic Disease.

Endocrinology and Metabolism Clinics Of North America, 45(2), 433-441. doi:

10.1016/j.ecl.2016.01.009

Yu, J., Sang, J., & Gao, X. (2017). Machine learning and signal processing for big multimedia analysis. *Neurocomputing*, 257, 1-4. doi:

10.1016/j.neucom.2017.01.091

Yu, L., Liu, H. (2004), *Efficient Feature Selection via Analysis of Relevance and Redundancy*, JMLR, 5(Oct):1205-1224.

ANEXOS

Anexo A. Muestra de resultados obtenidos con la herramienta BHPProject para los alumnos del colegio "200 MILLAS PERUANAS" del distrito Cerro Colorado, Arequipa.

ID	AÑOS PICO DE VELOCIDAD DE CRECIMIENTO	DENSIDAD MINERAL ÓSEA (g/cm ²)	CONTENIDO MINERAL ÓSEO (kg)	INDICE DE MASA CORPORAL (kg/m ²)	CLASIFICACIÓN	FECHA DE EVALUACIÓN
3342	-5.78	0.63	0.3	15.61	Normal	25-12-2018
3343	-6.56	0.57	0.18	14.36	Normal	25-12-2018
3344	-5.8	0.65	0.38	15.87	Normal	25-12-2018
3345	-6.38	0.58	0.17	17.47	Normal	25-12-2018
3346	-5.47	0.72	0.53	23.53	Normal	25-12-2018
3347	-6.2	0.63	0.25	22.4	Normal	25-12-2018
3348	-6.38	0.61	0.27	15.75	Normal	25-12-2018
3349	-5.36	0.72	0.53	27.28	Normal	25-12-2018
3350	-5.81	0.62	0.32	16.52	Normal	25-12-2018
3351	-6.32	0.63	0.26	19.17	Normal	25-12-2018
3352	-6.36	0.61	0.24	17.56	Normal	25-12-2018
3353	-5.86	0.63	0.33	15.86	Normal	25-12-2018
3354	-5.7	0.64	0.32	21.55	Normal	25-12-2018
3355	-5.84	0.64	0.37	16.52	Normal	25-12-2018
3356	-5.69	0.66	0.34	20.48	Normal	25-12-2018
3357	-5.91	0.61	0.2	15.8	Normal	25-12-2018
3358	-6	0.58	0.22	12.98	Osteopenia	25-12-2018
3359	-5.48	0.7	0.43	23.31	Normal	25-12-2018
3360	-5.97	0.62	0.27	15.61	Normal	25-12-2018
3361	-5.72	0.63	0.27	16.91	Normal	25-12-2018
3362	-5.81	0.64	0.34	19.07	Normal	25-12-2018
3363	-5.9	0.63	0.32	16	Normal	25-12-2018

3364	-5.6	0.65	0.37	19.84	Normal	25-12-2018
3365	-5.66	0.67	0.38	21.81	Normal	25-12-2018
3366	-5.99	0.58	0.17	14.12	Osteopenia	25-12-2018
3367	-6.24	0.63	0.31	21.42	Normal	25-12-2018
3368	-5.89	0.58	0.21	15.8	Osteopenia	25-12-2018
3369	-5.9	0.61	0.3	15.71	Normal	25-12-2018
3370	-5.44	0.7	0.54	23.53	Normal	25-12-2018
3371	-5.81	0.61	0.28	15.61	Normal	25-12-2018
3372	-5.81	0.62	0.32	16.52	Normal	25-12-2018
3373	-5.83	0.64	0.33	18.14	Normal	25-12-2018
3374	-6.48	0.57	0.16	15.34	Normal	25-12-2018
3375	-5.83	0.61	0.31	16.67	Normal	25-12-2018
3376	-6.23	0.66	0.3	22.76	Normal	25-12-2018
3377	-5.87	0.6	0.27	15.36	Normal	25-12-2018
3378	-5.47	0.69	0.45	26.66	Normal	25-12-2018
3379	-5.7	0.64	0.36	19.2	Normal	25-12-2018
3380	-5.92	0.61	0.2	17.39	Normal	25-12-2018
3381	-5.9	0.61	0.3	13.44	Normal	25-12-2018
3382	-5.39	0.71	0.55	21.74	Normal	25-12-2018
3383	-5.83	0.61	0.27	15.5	Normal	25-12-2018
3384	-5.78	0.61	0.28	15.5	Normal	25-12-2018
3385	-5.57	0.72	0.53	22.68	Normal	25-12-2018
3386	-5.61	0.66	0.35	19.84	Normal	25-12-2018
3387	-5.46	0.64	0.38	13.01	Normal	25-12-2018
3388	-5.3	0.67	0.43	13.88	Normal	25-12-2018
3389	-5.13	0.66	0.43	16	Normal	25-12-2018
3390	-5.35	0.69	0.44	23.08	Normal	25-12-2018
3391	-4.63	0.75	0.66	21.33	Normal	25-12-2018
3392	-5.61	0.66	0.41	19.53	Normal	25-12-2018
3393	-5.4	0.67	0.42	20.81	Normal	25-12-2018
3394	-5.09	0.69	0.47	21.89	Normal	25-12-2018
3395	-5.27	0.66	0.42	16.52	Normal	25-12-2018

3396	-4.94	0.72	0.59	20.4	Normal	25-12-2018
3397	-5.02	0.68	0.51	19.84	Normal	25-12-2018

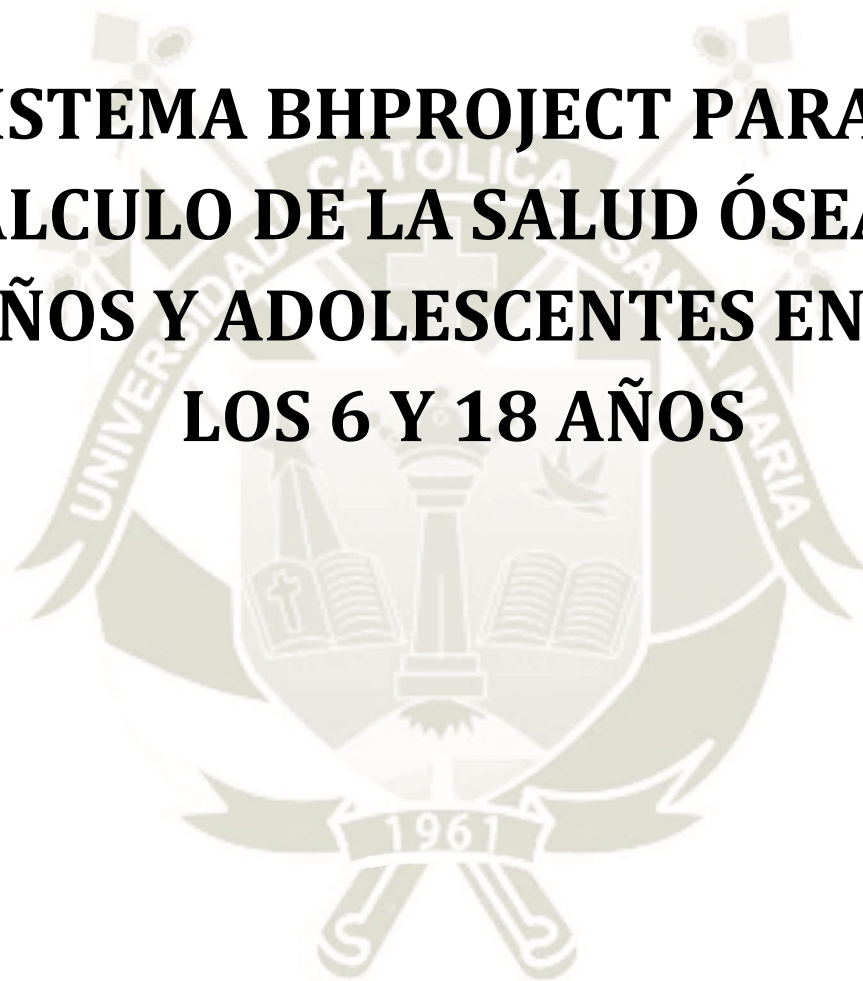
Nota: Los ID's presentados pueden ser buscados en la página web publicada de la herramienta en la sección de resultados (<http://bhproject.reidebiu.net/results>).



Anexo B. Manual de Usuario. Sistema Project para el cálculo de la salud ósea en niños y adolescentes entre los 6 y 18 años.

MANUAL DE USUARIO

SISTEMA BHPROJECT PARA EL CÁLCULO DE LA SALUD ÓSEA EN NIÑOS Y ADOLESCENTES ENTRE LOS 6 Y 18 AÑOS



INTRODUCCIÓN

El sistema para el cálculo de la salud ósea en niños y adolescentes entre los 6 y 18 años se desarrolló con la finalidad de que los usuarios (pacientes), a partir de datos antropomórficos requeridos por las herramientas, puedan hacer evaluaciones con el objetivo de que este sistema te permita saber sobre tu estado actual de la salud ósea que posees, dando una serie de gráficos y datos los cuales deben ser interpretados debidamente. Se tienen 3 módulos principales de la herramienta y una sección de información que te ayudará a interpretar debidamente tus resultados. El módulo principal es el de la herramienta para el cálculo de la salud ósea en base a datos que se te pedirá. El segundo módulo es el de importar un archivo Excel con todos los datos de una lista de pacientes, dando como resultado el promedio de todos ellos y utilizando la misma vista que se tiene para el primer módulo. Por último, el módulo de visualización de resultados donde tendrás la opción de exportar tu información a un archivo Excel y conjuntamente visualizarlo en la misma web.

REQUISITOS E INSTALACIÓN

Debido a que la herramienta está basada en un ambiente web se requerirá como mínimo estos dos requisitos.

- Conexión a Internet
- Explorador Web

Y la ventaja principal que tenemos es que no requiere instalación, basta con entrar en el siguiente enlace: <http://bhproject.reidebihu.net/> .

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

- Módulo del Cálculo de la Salud Ósea

Una vez ingresado a este módulo se le mostrará la siguiente vista:

Herramienta

Ingrese sus datos:

Todos los números decimales deben ser escritos con coma ",".

Nombre (Opcional):

deyby

Género*:

Masculino

Femenino

Edad*:

16

País (Opcional):

---- NINGUNO ----

Peso (kg.)*:

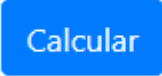
80

Estatura (m.)*:

1,7

En esta sección la herramienta le pedirá ingresar sus datos antropomórficos para calcular el estado de su salud ósea. Lo principal que se tiene que tener en cuenta es visualizar los mensajes de ayuda y tener en cuenta que campos son obligatorios.

Una vez ingresados todos sus datos tiene que accionar el botón “Calcular”, como se ve en la siguiente imagen:



Calcular

Una vez accionado este botón se le mostrará todos sus resultados de la siguiente forma, con algunos gráficos descriptivos:

Resultados de la Herramienta

Estos son los resultados para deyby:

DMO (Densidad mineral ósea): 1.4 (g/cm²)

Estado según DMO: Normal

CMO (Contenido Mineral Óseo): 3.06(kg)

Estado según CMO: Normal

IMC (Índice de Masa Corporal): 27.68(kg/m²)

Estado según IMC: Peso superior al normal

Estado de Adiposidad: Normal

- **Módulo para Importar Grupo de Pacientes**

Una vez ingresado a este módulo se le presentará la siguiente vista:

Importar Grupo de Pacientes

Atención: Se necesita el formato adecuado para poder hacer la importación, puede descargar el formato en el siguiente enlace:

[Descargar Formato](#)

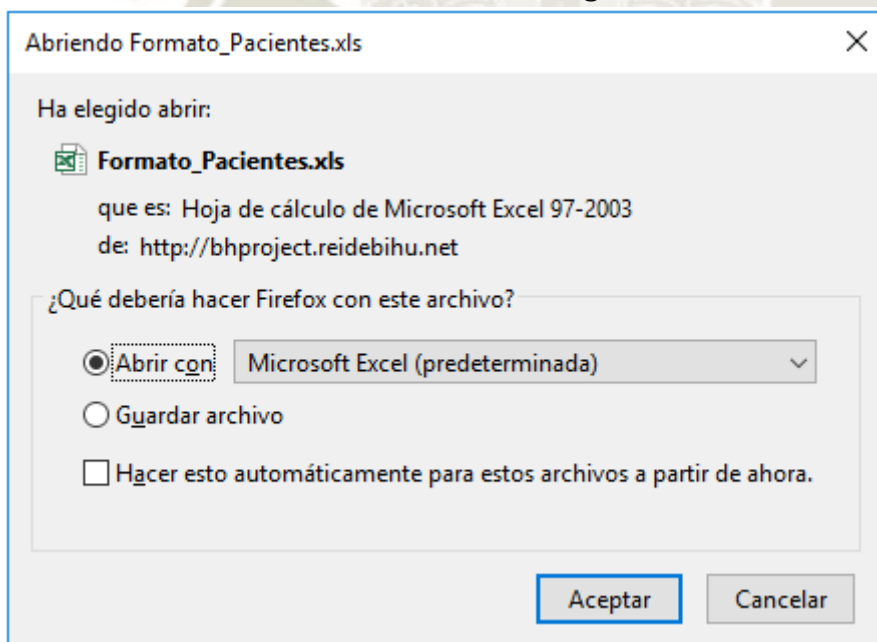
Nota: Las cabeceras del archivo no deben ser cambiadas y se deberán ingresar los datos según el ejemplo del formato

Ingrese el archivo que desee importar:

Seleccione el archivo*: No se ha seleccionado ningún archivo.

[Importar Grupo](#)

Primeramente, le pedirá descargar el formato adecuado que debe utilizar para rellenar todos los datos de los pacientes en base a dos ejemplos como se muestra, esto se realiza accionando el botón “Descargar Formato”:



Lo cual le proporcionará el siguiente archivo con estos datos:

Nombre	Sexo	Edad	Peso	Estatura	EstaturaSent	CircunferenciaAbd	Antebrazo	Femur	Pais
EjemploHombre	M	10	45	1.3	75	61	25	8	PER
EjemploMujer	F	12	40	1.45	89	72.5	31	15	ARG

Luego de rellenar todos los pacientes que quiera agregar con la consulta, guarde el archivo y selecciónelo. Luego accione el botón “Importar Grupo”. Le debería mostrar una vista parecida a la del módulo anterior:

Resultados de la Herramienta

Estos son los resultados para Grupo de Pacientes:

DMO (Densidad mineral ósea): 0.865 (g/cm²)

Estado según DMO: Normal

CMO (Contenido Mineral Óseo): 1.325(kg)

Estado según CMO: Normal

IMC (Índice de Masa Corporal): 22.825(kg/m²)

Estado según IMC: Peso normal

Estado de Adiposidad: Normal

- **Módulo Visualizar Resultados**

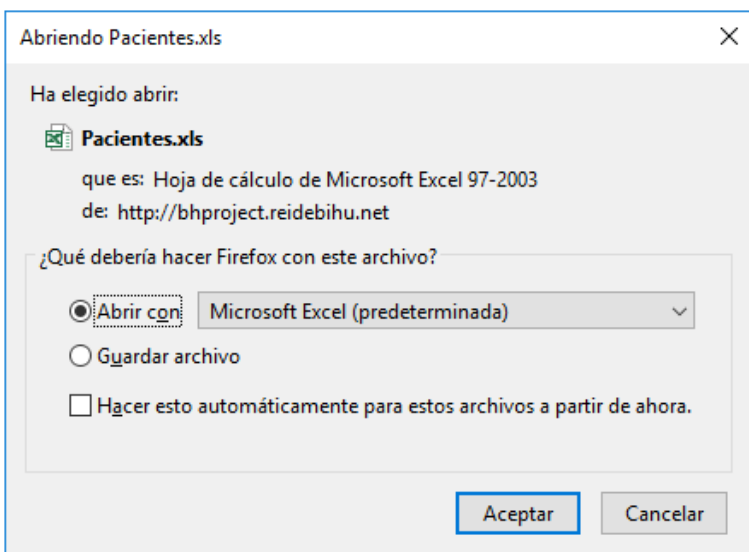
Una vez ingresado a este módulo se le presentará la siguiente vista:



ID	Sexo	País	Ciudad	Distrito	Edad	APVC	DMO	CMO	Clasificación Salud Ósea	Fecha Evaluación
3162	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	15	1.09	1.02	1.67	Normal	21-10-2018
3890	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	16	0.28	0.9	1.54	Osteopenia	21-10-2018
3682	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	14	-1.29	0.84	1.32	Osteopenia	21-10-2018
3274	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	16	1.67	1.09	1.89	Normal	21-10-2018
3062	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	13	-0.33	0.98	1.58	Normal	21-10-2018
3794	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	15	-0.17	0.89	1.51	Osteopenia	21-10-2018
3178	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	15	0.98	1.05	1.77	Normal	21-10-2018
3906	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	16	0.02	0.89	1.49	Osteopenia	21-10-2018
3698	Femenino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	14	-0.93	0.87	1.42	Osteopenia	21-10-2018
3290	Masculino	Perú	AREQUIPA	JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	16	1.66	1.1	1.91	Normal	21-10-2018

« 1 2 3 4 5 6 7 8 ... 92 93 »

Tendrá la capacidad de visualizar los resultados de los pacientes ingresados, conjuntamente, se le dará una opción para exportar esta información en un Excel y buscar su resultado adecuado, por lo que se descargará un archivo accionando el botón “Exportar Información a Excel” como se muestra a continuación:



Al abrir el archivo debería aparecerle de esta manera:

Nombre	Sexo	Edad	APVC	SIADH	Síndrome Etmico	CMRO	Índice CMRO	Fecha Evaluación
1. Daniela Carolina Emersion Santiago	Peru	32	-1.71	1.59	Normal	1.7	Normal	19-2018
2. Catalina Morales Jark Antonio	Peru	33	-0.03	1.82	Normal	2.08	Normal	19-2018
3. Chale Francis Johan Dayron	Peru	33	-0.71	1.76	Normal	2.03	Normal	19-2018
4. Denise Vilca Roberto Carlos	Peru	33	-0.7	1.82	Normal	2.11	Normal	19-2018
5. Marlene Villegas Walter	Peru	33	-1.49	1.82	Normal	1.78	Normal	19-2018
6. Wajca Condon Luis	Peru	33	1.01	1.72	Normal	1.91	Normal	19-2018
7. Rafael Espinosa Christoffer	Peru	33	-0.88	1.81	Normal	2.22	Normal	19-2018
8. Yanetha Pinzo Adolfo Miguel	Peru	33	-0.27	1.89	Normal	2.25	Normal	19-2018
9. Wladimir Aguilar Diego	Peru	33	-1.25	1.78	Normal	2.04	Normal	19-2018
10. Tavo Arellano Jordan	Peru	34	-0.97	1.83	Normal	2.41	Normal	19-2018
11. Valquiria Nuñez Diego	Peru	33	-1.34	1.75	Normal	1.94	Normal	19-2018
12. Victoria Chambi Eileen	Peru	34	1.79	1.82	Normal	1.79	Normal	19-2018
13. Anabel Ayala	Peru	34	-0.25	1.78	Normal	2.08	Normal	19-2018
14. Arlene Bryan Enrique	Peru	35	1.41	1.96	Normal	2.59	Normal	19-2018
15. Choque Trillo Carolina Iveta	Peru	34	-0.58	1.78	Normal	2.04	Normal	19-2018
16. Huancalla Carolina Angeli	Peru	33	1.27	1.78	Normal	1.93	Normal	19-2018
17. Susana Isabel Adams	Peru	34	-0.42	1.78	Normal	2.12	Normal	19-2018
18. Lucrecia Pizarro Jordan	Peru	33	1.12	1.74	Normal	2.1	Normal	19-2018
19. Inesora Cabrera Eileen	Peru	33	-0.33	1.76	Normal	2.34	Normal	19-2018
20. Palomina Valdivia Sebastian	Peru	33	-0.56	1.83	Normal	2.22	Normal	19-2018
21. Quimper Bermeo Carlos Daniel	Peru	33	-0.79	1.88	Normal	2.18	Normal	19-2018
22. Nayeli Santacruz Cristian	Peru	34	0.36	1.83	Normal	2.28	Normal	19-2018
23. Tuvia Fuentes Alejandro	Peru	33	-0.8	1.84	Normal	1.84	Normal	19-2018
24. Winifredo Salgado Jose Wilso	Peru	34	0.28	1.88	Normal	2.21	Normal	19-2018
25. Coana Gutierrez Fabian	Peru	33	-0.34	1.82	Normal	2.23	Normal	19-2018
26. Angeline Mandujano Fabian Andres	Peru	33	-0.95	1.75	Normal	1.93	Normal	19-2018
27. Cruz Caballero Alex	Peru	34	-0.34	1.86	Normal	2.27	Normal	19-2018
28. Wladimir Rosa Emerson	Peru	34	-0.38	1.78	Normal	2.28	Normal	19-2018
29. Wladimir Rojas Richard	Peru	33	0.27	2.01	Normal	2.71	Normal	19-2018
30. Tania Chumbe Diego	Peru	34	-0.02	1.75	Normal	2.1	Normal	19-2018
31. Yohan Pinzo Anthony	Peru	34	-0.05	1.82	Normal	2.26	Normal	19-2018
32. Yana Mercedes Marco Adrian	Peru	33	0.93	1.87	Normal	2.4	Normal	19-2018
33. Yanesa Fernandez Kevyn Leon	Peru	34	1.17	1.96	Normal	2.6	Normal	19-2018
34. Yusa Anco-Ordoñez Jean-Pier	Peru	34	0.26	1.89	Normal	2.49	Normal	19-2018
35. Yvanira Beatriz Jose Ricardo	Peru	33	0.17	1.92	Normal	1.84	Normal	19-2018
36. Yulberis Rosalee Yanaid	Peru	34	-0.18	1.72	Normal	2.08	Normal	19-2018
37. Yvanira Daphia Milani	Peru	34	0.11	1.73	Normal	2.13	Normal	19-2018
38. Yvanira Pinzo Yanaid	Peru	34	-0.49	1.91	Normal	1.91	Normal	19-2018

MENSAJES DE ERROR

- **Posibles errores al llenar el formulario**

- Ingresar campos obligatorios:

Errores:

- Debe seleccionar un género.
- El campo peso debe ser un número.
- El campo estatura debe ser un número.
- El campo estatura sentado debe ser un número.
- El campo circunferencia abdominal debe ser un número.
- El campo longitud antebrazo debe ser un número.
- El campo diámetro de fémur debe ser un número.

- Los valores de los campos no deben ser mayores o menores a un determinado número indicado en el mensaje, por ejemplo:

Seleccione un valor que no sea mayor de 150.

- **Posibles errores al importar pacientes:**

- Formato Incorrecto del archivo o se cambió alguno de los campos, el mensaje irá de acuerdo a lo que suceda como, por ejemplo:

Errores:

- Número de Columnas equivocado