

**DESARROLLO DE HERRAMIENTA WEB PARA EVALUAR
LA RENOVACIÓN Y REPOSICIÓN DE TECNOLOGÍAS
MÉDICAS EN INSTITUCIONES PRESTADORAS DE
SERVICIOS DE SALUD**

JORGE IVÁN AGUIRRE CARDONA

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero de Sistemas y Computación**

Isis Bonet Cruz

Javier Enrique Camacho Cogollo



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
ENVIGADO
2019**

Dedico este Trabajo de Grado a mis padres, por siempre desear que yo tuviera la opción de educarme aun cuando ellos no pudieron y a mis hermanos, al mayor por ser mi compañía en una ciudad desconocida y al menor porque es el mejor regalo que me ha dado la vida.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

AGRADECIMIENTOS

A Isis Bonet, porque sin ella este trabajo no existiría, además de ser la persona culpable que me apasionara por la ingeniería de sistemas.

A mi familia porque son el motor que ocasiono que este proceso llegar a un buen final.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

CONTENIDO

	pág.
Introducción.....	13
1. Preliminares	15
1.1 Planteamiento del problema	15
1.2 Objetivos del proyecto	15
1.2.1 Objetivo General	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 Marco de referencia	16
1.3.1 Antecedentes	16
1.3.2 Marco Teórico	17
2. Metodología	19
2.1 Cálculo del puntaje (score) para medir la vida Útil.....	20
2.1.1 Red neuronal.....	20
2.1.2 Análisis jerárquico	20
2.2 Requisitos de la aplicación.....	23
2.3 Base de datos.....	24
2.4 Tecnologías usadas	28
3. Presentación y discusión de resultados.....	29
3.1 Red neuronal	29
3.2 Aplicación web resultante	29
3.2.1 Inicio de sesión	29
3.2.2 Aplicación desde el lado del tipo de usuario cliente.....	31

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.2.3	Aplicación para el administrador del sistema	36
3.2.4	pruebas del sistema	38
3.3	Resultado del puntaje de reposición del equipo en la aplicación.....	40
4.	Conclusiones y consideraciones finales	43
5.	Referencias	44
6.	Anexos	46
6.1	Anexo 1.....	46

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Peso de los criterios	21
Tabla 2. Peso subcriterios técnicos	21
Tabla 3. Peso subcriterios clínicos	21
Tabla 4. Peso subcriterios económicos.....	22
Tabla 5. Peso de las variables.....	22
Tabla 6. Clases de equipos	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen que describe el proceso de Scrum en el cual se basó la metodología que se usa en este trabajo, recuperado de (Tobergte & Curtis, 2013).....	19
Figura 2. Árbol que describe la jerarquía usada para el análisis jerárquico del trabajo Recuperado de (TORRES VÉLEZ & RUA RODRÍGUEZ, 2018).....	20
Figura 3. Modelo entidad relación	25
Figura 4. Ejemplo del diccionario de variables.....	26
Figura 5. Base de datos MySql.....	27
Figura 6 Login de la aplicación	30
Figura 7 Home de clientes	30
Figura 8 Home de administrador	30
Figura 9 variables cualitativas de crear equipo	32
Figura 10 Variables cuantitativas de crear equipo	33
Figura 11 vista de equipo recién creado	34
Figura 12 formulario de criterios clínicos.....	34
Figura 13 opciones de función clínica	35
Figura 14 Ejemplo de un equipo después de calcular el puntaje	35
Figura 15 vista de categorías	36
Figura 16 formulario para modificar categorías.....	37
Figura 17 vista de variables	37
Figura 18 vista de opciones de una variable	38
Figura 19 vista de equipo que ya tiene un puntaje calculado	39
Figura 20 Proceso para modificación de subcategoría.....	39

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 21 Proceso de modificación de una opción de una variable 40

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Puntaje de un equipo.....	23
---------------------------------------	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.....	48
--------------	----

RESUMEN

En la actualidad determinar en qué momento se debe cambiar un equipo médico es uno de los mayores problemas que enfrentan las instituciones médicas en la administración de sus tecnologías, principalmente porque quienes usan los equipos siempre quieren la última tecnología, incluso cuando la que tienen es funcional y quienes los compran siempre quieren que un equipo dure más de lo que debe aun cuando ya el equipo es obsoleto.

En este trabajo se implementa una aplicación web que busca una forma fácil en que los usuarios puedan llegar a la conclusión de cuándo cambiar un equipo médico de forma objetiva. Para esto se utilizó como base un estudio preliminar que lo hace a través del análisis jerárquico.

El método de trabajo para desarrollar esta aplicación fue una adaptación de la metodología Scrum, en la cual se busca la agilidad de esta metodología. Debido a que la metodología original es para equipos de desarrollo y este trabajo sólo tenía un desarrollo se realizó una modificación de esta.

Al final se logró llegar a una aplicación sostenible y escalable que soluciona el problema y ayuda a los usuarios a determinar en qué momento se debe hacer el cambio de un equipo médico de forma objetiva.

Palabras clave: Vida útil, equipo médico, scrum, aplicación web, administración de tecnologías.

ABSTRACT

Currently determining when to change a medical equipment is one of the biggest problems faced by medical institutions in the management of their medical technologies, mainly because those who use the equipment always want the latest technology, even when the one they have is functional and those who buy them always want equipment to last longer than it should even when the equipment is obsolete.

In this work is implemented a web application that seeks an easy way for users to come to the conclusion of when to change a medical equipment in an objective way, for this is based on a study that does it through hierarchical analysis.

The working method to develop this application was an adaptation of the Scrum methodology, which seeks the agility of this methodology, but since this one is for teams, it was adapted a little.

In the end it was possible to reach a sustainable and scalable application that solves the problem and helps users to determine when to make the change of a medical team objectively.

Keywords: Useful lifetime, medical equipment, scrum, web application, technology management.

INTRODUCCIÓN

En el ciclo de vida de las diferentes tecnologías y dispositivos usados en la salud es necesario considerar como una pieza clave el proceso de reposición, considerándose éste necesario cuando un activo ha superado su periodo de vida útil, la relación costo-efectividad es negativa, ha sufrido daños por factores no previstos que afectan la continuidad de sus operaciones, han aumentado los problemas de seguridad para el paciente, entre otros (Dyro, 2004).

Desarrollar una metodología para la reposición de equipos ayudaría además a propiciar condiciones de calidad y seguridad en el sector salud, pero para ello es importante reemplazar los equipos de forma oportuna y controlada. La misión del mantenimiento es la de conservar los equipos en la mejor forma posible, es decir, como si estuvieran nuevos, evitando su destrucción o una alteración lesiva al proceso productivo. Pero muchas fuerzas se oponen a este empeño, de manera que, tarde o temprano el equipo termina siendo reemplazado (Ministerio de la protección social, s. f.).

Las decisiones de reemplazo generalmente se basan en factores económicos en vez de en alcanzar el final la vida física de servicio. Un equipo puede tener muchos años de servicio restantes pero en un momento se vuelve antieconómico de operar (Efendigil, 2011).

En términos de relación costo-beneficio, a un equipo que esté en uso en una institución es necesario no sólo medir los costos de compra, también es importante tener en cuenta los costos totales que genera en un tiempo determinado (reparaciones, repuestos, etc.), esto resulta imprescindible a la hora de decidir si se debe cambiar un equipo o no.

De esta forma y viendo la necesidad antes explicada este trabajo implementa una aplicación web para hacer este reemplazo de equipos de forma eficiente, buscando siempre que esta fuera sostenible en el tiempo.

Para el desarrollo de la aplicación se intentó usar una adaptación propia de la metodología Scrum ya que ésta es para equipos de trabajo y no para individuos, pero conservando los pilares de scrum.

Primero se logrará ver las 2 opciones que se intentaron para calcular la vida útil de un equipo y por qué se decidió por hacer la aplicación a partir de un análisis jerárquico y no con machine learnig.

Luego se explican los requisitos principales de la aplicación, estos son los mínimos para que la aplicación pudiera funcionar en su versión de producto mínimo viable, una vez explicado esto se explica la base de datos que se construyó para esta aplicación web y la explicación de cada tabla, por qué existe y cómo se relacionan las tablas entre sí.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En este trabajo se explica la base de datos usada para esta aplicación, exponiendo primero el modelo entidad relación, en este se puede ver la lógica que tiene todo el programa y las relaciones que hay entre sus entidades, además se explica cómo este modelo se convierte en la base de datos de mysql.

El programa web se divide en 2 partes, cada una con su lógica, la del usuario tipo cliente y la del administrador, el primero es que usara la aplicación para medir la vida útil, mientras que el segundo tipo es encargado de hacerle un mantenimiento básico a la aplicación, pudiendo hacer modificaciones que modifican la aplicación técnicamente y la forma en que esta calcula el puntaje que tiene un equipo.

Además de lo anterior, aquí se explica cómo se hizo la aplicación, que vistas principales tiene, que roles se crearon para que la aplicación funcionara de forma adecuada y que pruebas se hicieron para garantizar que el funcionamiento de la aplicación estuviera dentro de lo esperado.

Este trabajo cuenta con un marco de referencia que ayudará al lector a ubicarse en el contexto además de explicar algunos conceptos que puede no comprender si no está muy familiarizado con el tema.

Para elaborar la aplicación web se utilizó como base la investigación hecha por el grupo de investigación GIBEC del área de ingeniería clínica de la escuela de ingeniería de Antioquia (TORRES VÉLEZ & RUA RODRÍGUEZ, 2018), en esta un análisis jerárquico da un puntaje a los equipos que permite clasificarlos en 5 clases para así determinar qué tan urgente es cambiarlos.

Al final se logra hacer un aplicación sostenible y escalable, donde los cambios hechos por un usuario de tipo administrador se ven vistos tanto en las vistas del cliente como en el cálculo del puntaje.

Las clases en las que quedan los equipos después que se les calcula el puntaje por la aplicación coincide con las que se determinan con la metodología de análisis jerárquico de la investigación.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planeación es un proceso que se debe realizar sobre las tecnologías de una empresa. En el sector de la salud no hay excepción y se vuelve fundamental una buena planeación para administrar los equipos biomédicos de forma efectiva. Dentro de esta planeación se encuentra una actividad que es muy importante y afecta directamente la economía de las instituciones de salud, la reposición de los equipos médicos, que consiste en identificar las tecnologías que ya cumplieron su ciclo de vida para tener en cuenta la compra de nuevos equipos en el presupuesto, la relación costo-efectividad es negativa, ha sufrido daños por factores no previstos que afectan la continuidad de sus operaciones, han aumentado los problemas de seguridad para el paciente, entre otros (Dyro, 2004).

Actualmente las instituciones de salud en Colombia no tienen una metodología que les permita de forma objetiva medir la vida útil de los equipos médicos de una institución. Por lo tanto, alrededor del 98% de estas instituciones no cuentan con un proceso claro y definido para la reposición, lo cual conlleva a estructurar sus presupuestos para adquisición de tecnologías en base a información subjetiva, generando impactos negativos en la sostenibilidad económica (Núñez, Zapata, Castañeda, Fonseca, & Ramírez, 2012).

El reemplazo de equipo médico no debe ser un proceso político o una reacción automática a eventos aislados. A menos que un sistema cuantificado, objetivo y defendible con reportes claros de necesidades y prioridades sea desarrollado para el reemplazo de equipos, eventos subjetivos y no planeados de reemplazo van a ocurrir (J. Tobey Clark, MSEE, CCE and Raymond D. Forsell, CCE, CHFM, s. f.).

Con este trabajo se pretende responder la pregunta: ¿Se puede desarrollar una herramienta Web para evaluar la renovación y reposición de tecnologías médicas en instituciones prestadoras de servicio de salud? Si es así, se tendría un método objetivo que las instituciones médicas podrían usar.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación web que permita evaluar la renovación y reposición de tecnologías médicas en instituciones prestadoras de servicios de salud, con el uso de análisis jerárquico.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir los requerimientos del sistema que se deben tener en cuenta para crear una nueva aplicación sostenible que sirva como sistema prestador de servicio, con el apoyo de expertos en equipos médicos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Desarrollar una aplicación web, teniendo en cuenta las buenas prácticas de programación y la ingeniería de software.
- Evaluar el sistema con expertos y con una base de casos de equipos médicos.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

El reemplazo de equipos médicos ha sido de mucho interés y en los últimos años se ha puesto especial esfuerzo en hacerlo de forma oportuna, algunas investigaciones antes hechas tienen conclusiones interesantes.

Se encontró un trabajo donde se describían los criterios específicos para crear una herramienta que ayudara a los hospitales pertenecientes al Hamilton Health Science, para revisar sus equipos y hacer recomendaciones para adquirir o reemplazar sus ítems (Capuano, 2010). Capuano sacó los criterios que creía fundamentales para el reemplazo de equipos y al final buscó una forma de calificarlos, pero muy específicamente para esta red de hospitales.

De forma ideal, los equipos médicos en hospitales se reemplazarían bajo una base básica, pero, los fondos limitados es un gran reto para esta forma ideal, aun si hubieran fondos ilimitados, el reemplazo se debe hacer bajo opiniones subjetivas de ingenieros clínicos (Dreiss, 2008). Al igual que casi todos los artículos y documentos encontrados, en este se buscan criterios y se les da un peso, para luego hacer la sumatoria de todas las calificaciones de los criterios por el peso de estos, concluye que de esta forma se puede evaluar un equipo médico de forma más objetiva.

Por ejemplo, en un artículo se creó un sistema de puntos para reemplazar equipos médicos llamado MERS. Este sistema fue probado en Canadá y cuantifica variables cualitativas inmersas en el proyecto (Taylor & Jackson, 2005).

Además se encontró un artículo en el cual su objetivo principal era proponer un proceso de rankings para tomar decisiones de reemplazamiento en instituciones médicas teniendo en cuenta variables tanto cualitativas como cuantitativas (Efendigil, 2011). La metodología fue preparar una lista de criterios de decisión en el reemplazo de equipos para ranquearlos, en el artículo se concluye que es necesario tener en cuenta criterios no económicos para medir la vida útil de un equipo.

En otro trabajo se buscaba evaluar el tiempo de inactividad dentro del proceso de evaluación, los factores que impactaban el tiempo de inactividad, como medir el tiempo de actividad e inactividad, para terminar con la evaluación de equipos médicos respecto a su tiempo de inactividad (Tarawneh & El-Sharo, 2009). La conclusión de este trabajo fue que los resultados mostraron una mejora significativa en el proceso de planeación y le dio a la

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

ingeniería clínica una mejor vista acerca de la condición de muchos equipos médicos en Jordania.

Después de analizar estos artículos, se puede ver que es necesario tener en cuenta tanto criterios cuantitativos como cualitativos del equipo, así que en este trabajo se buscó una forma de clasificar a los equipos teniendo en cuenta variables importantes para expertos en el tema y contextualizando un poco el proyecto en Colombia, ya que las variables y la información disponible puede cambiar dependiendo del país.

1.3.2 Marco Teórico

Definiciones relacionadas con el reemplazo de tecnologías de salud

Administración de las tecnologías de salud: La administración es para asegurar la seguridad y a la vez ahorrar, pero que siempre esté disponible la tecnología médica de la mayor calidad para el cuidado de los pacientes (J. Tobey Clark, MSEE, CCE and Raymond D. Forsell, CCE, CHFM, s. f.).

Tecnología: Se refiere a herramientas o dispositivos que tienen entradas y salidas para crear nuevos productos o servicios (Amankwah-Amoah, 2017).

Tiempo muerto: Se denomina al tiempo del equipo durante el cual el dispositivo está fuera de servicio debido a fallas. Un factor muy importante para equipos tales como los de imágenes y laboratorio son los ingresos perdidos por concepto de pruebas y exámenes. Prioridad media a alta (Clark, 2015).

Obsolescencia de tecnología: Hay 2 tipos de obsolescencia de tecnología, la involuntaria y la voluntaria. La primera ocurre sin importar si el cliente o el fabricante necesariamente quieren alterar el producto. La voluntaria ocurre cuando el usuario o fabricante permiten que la tecnología quede obsoleta. Puede ser por alta ineficiencia o alto costo de mantenimiento (Amankwah-Amoah, 2017).

Hoy en día la economía mundial se ve afectada por usar tecnología obsoleta. Aun así hay compañías que insisten con tecnologías obsoletas hasta que el desastre ataca, el conocimiento acerca de las dinámicas de la insolencia de tecnologías y por qué se siguen usando sigue aún bajo exploración (Amankwah-Amoah, 2017).

Definiciones relacionadas con la metodología del proyecto

Iteración o sprint: cortos eventos en un tiempo determinado donde se construye nueva funcionalidad (Tobergte & Curtis, 2013).

Reglamentos en Colombia

En Colombia existe el decreto 4725 de 2005 relacionado con los equipos médicos con el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano (Ministerio de Salud y Protección Social, 2005).

En este decreto se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano (Ministerio de Salud y Protección Social, 2005). En éste se habla de los equipos médicos y su cuidado, uno de sus artículos dice:

Artículo 38. **Posventa de los dispositivos médicos considerados equipos biomédicos y su mantenimiento.** En la etapa de posventa de los equipos biomédicos, la responsabilidad del funcionamiento del equipo es compartida entre el fabricante o su representante en Colombia para el caso de los equipos importados y el propietario o tenedor.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2. METODOLOGÍA

Se usó una metodología ágil donde siempre se permite hacer cambios a lo largo del camino. Estas metodologías generalmente son hechas para grupos de trabajo, pero debido a que este trabajo fue individual, se hicieron pequeños ajustes a la metodología para que se adecuara a una forma de trabajo individual.

Se basa en iteración de aproximadamente 2 semanas, donde se desarrollan algunos requisitos y se evalúan, esto conlleva a que constantemente se pueda hacer una retroalimentación y así evitar que un error sea visto solo al final.

Esta metodología tiene un manifiesto que es como el método ágil cree que es mejor la programación:

- Individuos e iteraciones por encima de procesos y herramientas.
- Ayuda de los clientes por encima de negociar contratos.
- Software funcional por encima de documentación complicada.
- Adaptarse al cambio por encima de seguir un plan.

Según esto si bien se va a separar el proyecto en 3 etapas, siempre se estará trabajando en las 3, para así sacar software funcional rápido e ir evaluando poco a poco lo hecho.

Para este caso se usó una adecuación de la metodología ágil scrum, aquí el trabajo es hecho en iteraciones o sprint de 30 días o menos, todo el trabajo del proyecto es conocido como el backlog del producto, el trabajo de una iteración es conocido como sprint backlog, este proceso se puede ver en la Figura 1 (Tobergte & Curtis, 2013).

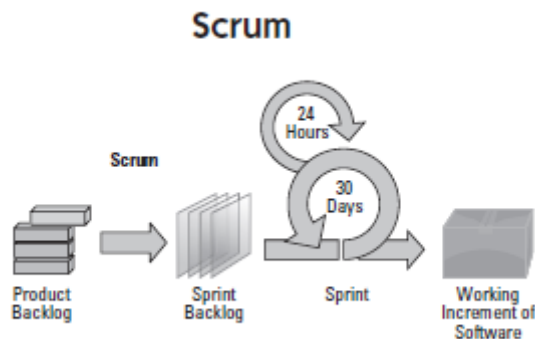


Figura 1. Imagen que describe el proceso de Scrum en el cual se basó la metodología que se usa en este trabajo, recuperado de (Tobergte & Curtis, 2013)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.1 CÁLCULO DEL PUNTAJE (SCORE) PARA MEDIR LA VIDA ÚTIL

Como ya se ha explicado, hoy en día la vida útil se mide de forma subjetiva y muchas veces dependiendo de intereses internos en una entidad de salud, el médico quiere algo nuevo así lo actual funcione y el gerente quiere manejar económicamente los recursos, así que muchas veces conserva lo actual así no funcionen muy bien. Con la ayuda del área de ingeniería clínica de la universidad EIA logramos conseguir una base de datos con aproximadamente 170 equipos que había sido evaluados con ayuda de La clínica Las Américas a través de un análisis jerárquico, producto de una investigación en conjuntos, esta investigación hace parte de los resultados del grupo de investigación GIBEC (TORRES VÉLEZ & RUA RODRÍGUEZ, 2018).

A partir de esta base de datos y de la investigación antes mencionada, se tomaron 2 caminos y elegir aquel que tuviera mejores resultados, primero se intentaría hacer una red neuronal con los datos suministrados, al ver que esta no funciona y era muy poca confiable se decidió por hacerlo a través del análisis jerárquico que se expresaba en la investigación.

2.1.1 Red neuronal

Para hacer la red neuronal se usó tensorflow.js que es una implementación de tensorflow hecho para que se pueda implementar en JavaScript, esta se consideró la mejor opción pues así se podría integrar fácilmente con nuestra aplicación web.

En la medida que se avanzaba en la implementación de esta red neuronal se logró descubrir que este wrapper, para el momento en que se hizo este trabajo, tenía menos de seis meses de vida y aun había muchas funcionalidades de la librería tensorflow que aún no se habían implementado para esta versión.

2.1.2 Análisis jerárquico

El análisis jerárquico con el que se hizo basado en la investigación mencionada anteriormente, el árbol que define la jerarquía se muestra en la **Figura 2**.

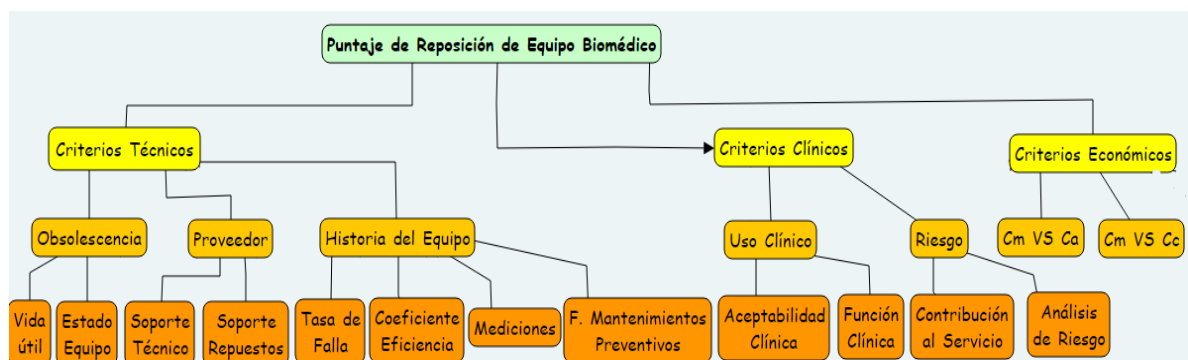


Figura 2. Árbol que describe la jerarquía usada para el análisis jerárquico del trabajo Recuperado de (TORRES VÉLEZ & RUA RODRÍGUEZ, 2018)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Como se puede ver en la **Figura 2** el puntaje se divide en 3 criterios: los criterios técnicos, los criterios clínicos y los criterios económicos.

- Criterios técnicos: estos representan toda la parte técnica y funcional de equipo.
- Criterios clínicos: estos son subjetivos y en su mayoría cualitativos pero fundamentales para el equipo como por ejemplo que impacto tiene el hecho de que no esté funcionando.
- Criterios económicos: son criterios que evalúan los costos del equipo tanto directos como indirectos.

A los componentes en los que se dividen los criterios (Obsolescencia, uso clínico, etc.) se les llamo subcriterios y a la vez a los componentes en que se dividen estos subcriterios se les llamo variables, estas últimas son las que el usuario define y a través de la jerarquía y unos pesos definidos se calcula el score.

En la **Tabla 1** se mostrará los pesos que tienen los criterios en el puntaje que define la reposición de un equipo o no:

Tabla 1. Peso de los criterios

Criterios Principales	PESOS
Criterios Técnicos	0.37
Criterios Clínicos	0.48
Criterios Económicos	0.15

A continuación, se mostrarán los pesos de los subcriterios y el peso que estos tienen en sus respectivas categorías:

Tabla 2. Peso subcriterios técnicos

Subcriterios Técnicos	PESOS
Obsolescencia	0.2
Proveedor	0.26
Historia del Equipo	0.54

Tabla 3. Peso subcriterios clínicos

Subcriterios Clínicos	PESOS
Uso Clínico	0.24
Riesgo	0.76

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 4. Peso subcriterios económicos

Subcriterios Económicos	PESOS
Costo de mantenimiento VS Costo en que se adquirió	0.59
Costo de mantenimiento VS Costo de nuevo	0.41

Por último, en la **Tabla 5** se pueden ver los pesos que tienen las variables en sus respectivos subcriterios:

Tabla 5. Peso de las variables

VARIABLES	PESOS
Vida útil	0.34
Estado de Equipo	0.66
Soporte Técnico	0.52
Soporte Repuestos	0.48
Coficiente Eficiencia	0.25
Tasa de Falla	0.22
Mediciones	0.41
Frecuencia mantenimientos preventivos	0.12
Aceptabilidad Clínica	0.58
Función Clínica	0.42
Contribución Servicio	0.33
Análisis Riesgo	0.67

En caso que se quiera entrar en más detalle en cada variable y subcriterio se puede consultar la investigación en la que nos estamos basando (TORRES VÉLEZ & RUA RODRÍGUEZ, 2018).

El usuario llenara un formulario donde sus respuestas representaran un número del 1 al 4 (nivel) que sería el valor que tendría la variable y la que entraría en la ecuación, esta ecuación consiste en multiplicar el valor de cada variable por su peso en el subcriterio, por el peso de este subcriterio en el criterio y por el peso de cada criterio en el puntaje, y se sumarían estos resultados de todas las variables, en la Ecuación 1 se puede ver esto, donde:

n = número de variables.

v = valor de la variable (número entre 1 y 4).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

pv= peso de variable al que pertenece el valor.

ps= peso de subcriterio al que pertenece la variable.

pc= peso de criterio al que pertenece el subcriterio.

$$\sum_{1}^{n} v_n * pv_n * ps_n * pc_v$$

Ecuación 1. Puntaje de un equipo

Esta sumatoria (**Ecuación 1**) siempre dará un valor entre 1 y 4 que sería el puntaje final con el cual se definirá si un equipo médico se debe cambiar rápidamente o al contrario todavía puede operar de forma correcta, mientras más bajo sea este puntaje significa que el equipo está en mejor estado y que su vida útil es mayor.

A partir del puntaje entre 1 y 4 se definieron 4 clases en las que se clasificarán los equipos, en la Tabla 6 (TORRES VÉLEZ & RUA RODRÍGUEZ, 2018) se pueden ver estas clases y que recomendación se da en cada una.

Tabla 6. Clases de equipos

TABLA DE CALIFICACIÓN	
Intervalo	Recomendación
3.5 < Score ≤ 4.0	REPONER INMEDIATAMENTE
3.0 < Score ≤ 3.5	REPONER A LA MAYOR BREVEDAD PLAZO 1 AÑO
2.5 < Score ≤ 3.0	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO 2 AÑOS
2 < Score ≤ 2.5	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO 3 AÑOS
0 < Score ≤ 2	REVISAR EN 4 AÑOS

2.2 REQUISITOS DE LA APLICACIÓN

Uno de los puntos más importantes de Scrum son los requisitos de software, entre el 80 y 85 por ciento de los proyectos fallidos se debe a una definición incorrecta de los requisitos de estos (Tobergte & Curtis, 2013), si bien hay muchas definiciones para este concepto se cree que la siguiente es bastante adecuada: la ingeniería de requisitos es una rama de la ingeniería de software relacionada con los objetivos reales, funciones y limitaciones de un sistema de software (Zave, 1997).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Si bien algunos autores de la metodología Scrum diferencian los requisitos de software de las reglas de negocio, para este trabajo se juntaron, tomando en cuenta la definición de Zave, tomaremos los requisitos como todo lo que afecte el software.

Los requisitos que se lograron identificar fueron:

- El usuario debe poder llenar la información necesaria para calcular la vida útil de un equipo, para ello es necesario un formulario.
- En este formulario las preguntas que afecten la vida útil de un equipo deben tener un peso dependiendo de que tanto afecte.
- Si el usuario quiere calcular la vida útil de un equipo y no es la primera vez, debe poder modificar lo que ha cambiado sin tener que llenar todo el formulario.
- El usuario puede ver la información y resultados de los equipos a los que ya les calculo la vida útil.
- El administrador debe poder modificar la importancia de cada pregunta, es decir, el peso que se le atribuye a su variable en la base de datos.
- La aplicación debe ser muy escalable, al punto de que el administrador pueda cambiar los intervalos que dan una recomendación o incluso las opciones de las preguntas.
- Habrá 2 tipos de usuario, uno administrador y uno usuario, el primero es el que puede hacer modificaciones en la forma en que se calcula el score (pesos, recomendaciones, etc.), el segundo son los hospitales.

2.3 BASE DE DATOS

Para este trabajo se utilizará MySQL, que es el gestor de bases de datos más popular del mundo. Se trabajará con este pues es de código abierto, maneja bases de datos relacionales y además la comunidad alrededor de él es muy grande.

En la **Figura 3** se muestra el modelo entidad relación de la aplicación, y se pueden apreciar diferentes aspectos que teniendo en cuenta la buenas prácticas, la escalabilidad, el funcionamiento y los requisitos de la aplicación era importante tener en cuenta en el momento de crear la base de datos:

- Un hospital puede tener muchos equipos, pero el equipo pertenece a un solo hospital.
- Un usuario puede tener muchos roles.
- Los usuarios que tienen rol usuario tienen que pertenecer a un hospital.
- Se creó un diccionario de variable donde están las opciones de las diferentes variables y el valor de cada uno, esto se hizo pensando en que el administrador pueda cambiar las opciones de cada variable que el usuario puede seleccionar cuando quiera calcular la vida útil de un equipo, en la **Figura 4** se muestra un ejemplo de esta tabla donde se muestra las opciones que tiene la variable con id 19 (Función clínica).
- Cada variable pertenece a una subcategoría y cada subcategoría pertenece a una categoría.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Se creó la tabla propuesta, en la cual están las diferentes clases e intervalos que se definieron en la **Tabla 6**. Esto se hizo pensando en que el administrador pueda cambiar lo que muestra cada recomendación e incluso modificar los intervalos.

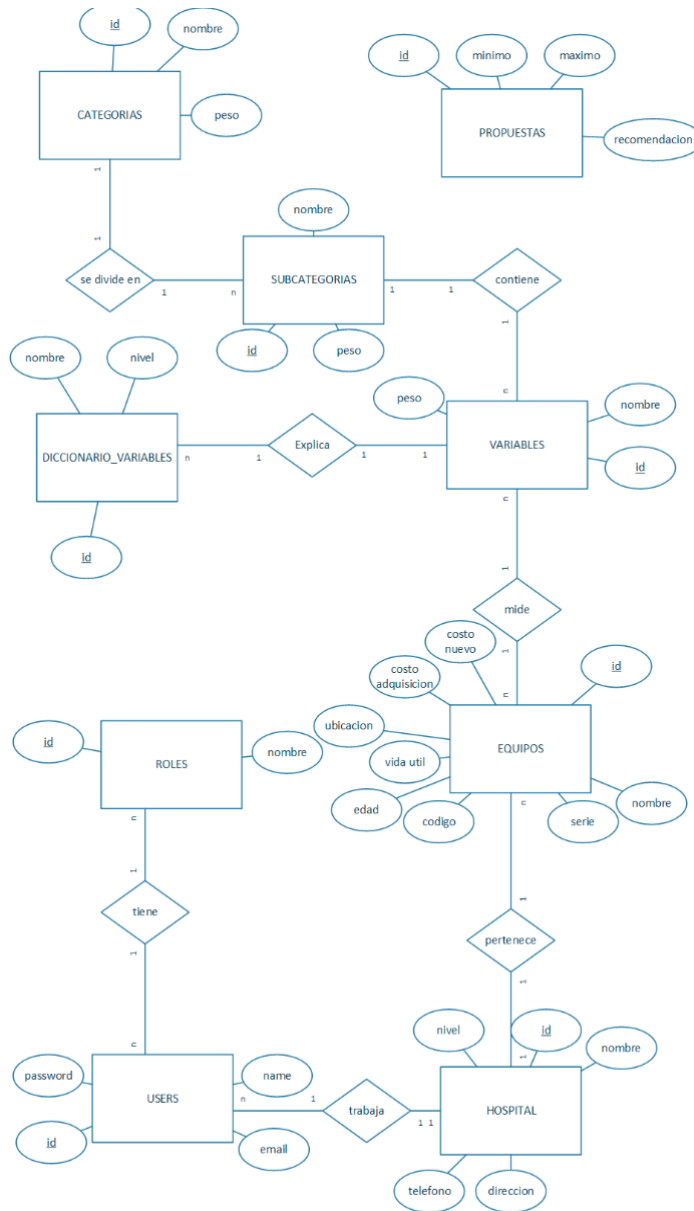


Figura 3. Modelo entidad relación

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

id	nombre	nivel	variable_id
5	Otro	1	19
6	Diagnóstico	2	19
7	Terapéutico	3	19
8	Soporte Vital	4	19
9	Sin Información	4	19

Figura 4. Ejemplo del diccionario de variables

Después de analizar el modelo entidad relación (**Figura 3**), se tuvieron que crear algunas tablas intermedias para las relaciones muchos a muchos que existen en el diagrama, se creó una entre equipos y variables y otra entre usuarios y roles.

En la **Figura 5**, se puede ver como quedó la base de datos y sus relaciones en mysql, las líneas que unen las tablas significa que éstas están relacionadas, se puede ver que los atributos son de varios tipos además que aquellos que tienen una llave amarilla son llaves primarias, las que tienen 2 llaves rojas son tablas intermedias cuya llave primaria se forma uniendo las llaves de las tablas que relaciona, así se evita que una relación se repita en la tabla y los que tienen un rombo rojos son llaves secundarias.

La tabla más grande y quizás la principal es *equipos*, en ésta se guardarán todos los equipos a los que se les hace la medición de vida útil, esta tabla está compuesta por información general del equipo, además de variables que afectan la vida útil de este.

Se puede ver que en este diagrama ya están las tablas intermedias que salieron del análisis del modelo entidad relación, para términos de este trabajo se permitió que muchos atributos pusieran estar nulos, pero desde el código con ayuda del validator de laravel se verificará que los registros vayan a la base de datos con las columnas que son totalmente necesarias para calcular el puntaje.

La tabla *users* es para manejar el inicio de sesión de la aplicación, cada usuario va relacionado con un hospital, para poder distinguir y dar permisos a diferentes tipos de usuario, se crea la tabla *roles* y por medio de una tabla intermedia se relaciona con la tabla *users*, así se puede verificar qué roles tiene un usuario y darle permisos o accesos dependiendo de esto.

La tabla *migrations* es necesaria para poder hacer migraciones de laravel, es decir para poder modificar la base de datos desde el código, y es creada automáticamente, más adelante se entrará más en detalle de laravel y el cómo y por qué se usará.

Por último, la tabla *Password_resets* también es creada automáticamente por laravel y sirve para la función de recuperar la contraseña de algún usuario, ya que laravel facilita muchas funciones relacionadas con el login se decidió dejar esta tabla y *users* con sus nombres en inglés pues es como este framework las reconoce.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

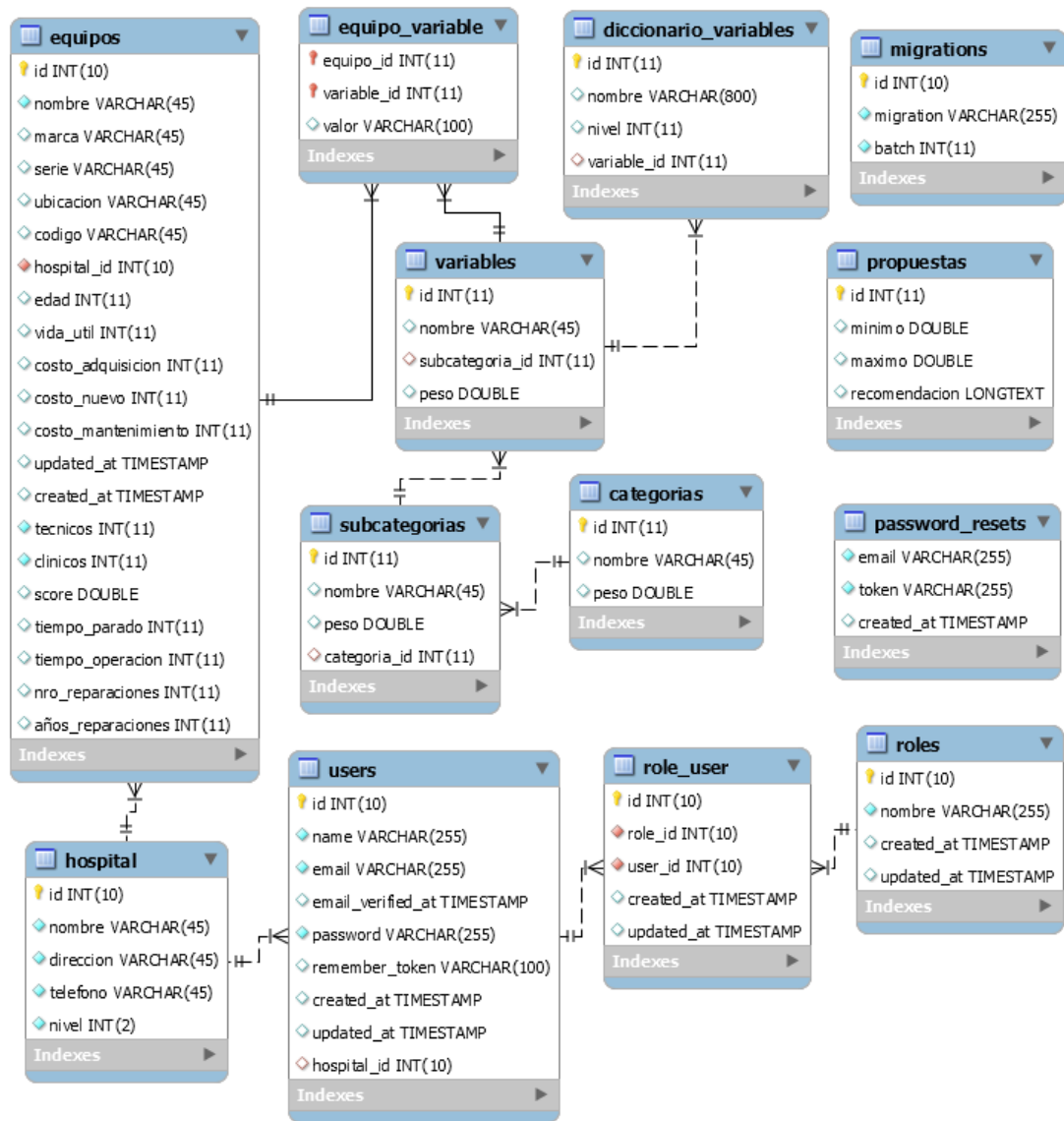


Figura 5. Base de datos MySQL

Las tablas *diccionario_variables* y *propuestas* no son estrictamente necesarias para el funcionamiento de la aplicación o para calcular la vida útil de un equipo, pero sí son fundamentales pues éstas son las que permiten que la aplicación sea tan granular que un administrador pueda cambiar incluso las opciones que se le mostrará a un usuario o las palabras exactas que quiere que se muestren a la hora que se da una recomendación en base al resultado del puntaje.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.4 TECNOLOGÍAS USADAS

Al considerar que con una aplicación web se puede lograr que usuarios de diferentes partes puedan acceder sin necesidad de ir físicamente a instalar un programa se vio que ésta era una solución muy viable para implementar el modelo de análisis jerárquico.

El lenguaje seleccionado para el back end de la aplicación fue php, ya que es el lenguaje más usado actualmente para hacer páginas web y su comunidad es muy grande lo cual facilitaría mucho la programación de la aplicación, además es bastante.

Además, se hizo la aplicación en el framework laravel para aprovechar todos los beneficios de escalabilidad y seguridad que da este framework de php, además de asegurar una estructura de programación

En la programación del front end se usó JavaScript y su librería jquery, además para el estilo se usó Bootstrap el cual es un framework de laravel que facilita mucho la forma en que se maneja el estilo en la base de datos y por último el lenguaje de etiquetado usado fue html y sobre este se hizo todo el front end.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 RED NEURONAL

En tensorflow.js se logró implementar una red neuronal que contaba con 3 capas, la primera capa era la de entrada y tenía 22 neuronas, la segunda capa era una oculta con 20 neuronas y la de salida que tenía 2 neuronas.

Para esta red neuronal se hizo una red neuronal que iba modificando la función de activación entre las capas para así lograr todas las combinaciones posibles en este hiper parámetro, para esto se usaron las funciones sigmoid y softmax.

Ninguna de estas redes logró un accuracy mayor al cincuenta por ciento con esto se decidió descartar la opción de implementar una red neuronal como solución para calcular la vida útil de los equipos médicos, ya que, las redes neuronales necesitan una gran cantidad de datos para poder entrenarse de forma correcta, en estos momentos es imposible tener dicha cantidad de datos.

Ante esto se toma la decisión de basar la aplicación web en el análisis jerárquico que se analizó previamente, este fue una investigación hecha por el grupo de investigación GIBEC, ya que en esta se logra clasificar los equipos en 5 clases y teniendo en cuenta las variables más determinantes en la vida útil de estos.

En un futuro, cuando esta aplicación recolecte una cantidad considerable de datos se puede volver a implementar una red neuronal, pero con la suficiente cantidad de entradas para que se pueda entrenar de forma correcta.

3.2 APLICACIÓN WEB RESULTANTE

3.2.1 Inicio de sesión

En la aplicación pueden acceder 2 tipos de usuarios el cliente y el administrador, cada uno tendrá unas funcionalidades y vistas diferentes, el primero es el que pertenece a un hospital y el administrados es el que está por parte del negocio y pude modificar algunas cosas técnicas de la aplicación web, en la **Figura 6** se puede observar cómo quedó el inicio de sesión de la aplicación web final.

Inicio de Sesión

Correo Electrónico

Contraseña

Login

Figura 6 Login de la aplicación

Los 2 tipos de usuario tiene unas vistas y menús diferentes, en la **Figura 7** se puede ver como luce la página principal de la sesión del tipo de usuario cliente, mientras que en la **Figura 8** se logran ver esto elementos de los administradores, los menús se dividen de la siguiente manera:

Vida Útil prueba ▾

Menú	Bienvenidos
Equipos Creados	
Equipos Sin Calcular	
Equipos Calculados	
Nuevo Equipo	

Figura 7 Home de clientes

Vida Útil administrador ▾

Menú	Bienvenido Administrador
Categoría	
Subcategorías	
VARIABLES	
Propuestas	
Crear Usuario	

Figura 8 Home de administrador

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Menú del cliente:

- Equipos creados: En esta opción del menú se pueden ver todos los equipos que han sido creados en el hospital al que pertenece el usuario que tiene la sesión iniciada.
- Equipos Sin calcular: Esta pestaña del menú muestra todos los equipos creados pero que aún no se les ha calculado del puntaje de reposición.
- Equipos calculados: Muestra todos los equipos a los que se les ha calculado el puntaje con su respectiva recomendación dada por el sistema.
- Nuevo equipo: Esta opción permite crear un equipo que pertenecerá al hospital del usuario que tenga la sesión iniciada.

Menú del administrador:

- Categoría: permite ver todas las categorías actuales, además de dar la opción de modificar estas.
- Subcategoría: Muestra las subcategorías y a que categorías pertenecen, también permite modificar algunas características de la subcategoría.
- Variables: Esta muestra todas las variables que han sido creadas en el sistema, a diferencia de las anteriores solo permite cambiar los pesos de estas.
- Propuestas: Permite ver y modificar las opciones que están en la tabla de la base de datos con este mismo nombre, es para poder modificar que se le quiere recomendar al cliente.

3.2.2 Aplicación desde el lado del tipo de usuario cliente

La parte del cliente de aplicación consiste principalmente en todo el proceso que hace una persona para poder calcular el puntaje de un equipo además de poder visualizar lo que el sistema recomienda dependiendo del resultado que dé al calcular dicho puntaje para los equipos.

Lo primero que se hizo fue crear una vista en la cual se puede crear un equipo nuevo, en esta se hizo un formulario con las variables cualitativas y cuantitativas que ayudan a identificar un equipo específico.

Como se puede ver en **Figura 9** las primeras 6 entradas del formulario son variables cuantitativas del usuario, estas no se usan a la hora de calcular el puntaje al final ayudan a identificar los equipos, entre estas 6 están las únicas 2 variables que no son obligatorias en todo el sistema, estas son marca, serie y código, se decidió esto porque estas variables no siempre existen para los equipos o los hospitales no saben cuáles son sus valores.

Información del equipo

Nombre del equipo*

Marca

Serie

Ubicación*

Código

Figura 9 Variables cualitativas de crear equipo

En la **Figura 10** se pueden ver las demás entradas de este formulario, se puede ver que son cuantitativos y que sirven para más adelante calcular otras variables como la eficiencia. Además, con las 3 entradas que son relacionados con los costos que tiene un equipo se pueden calcular todas las variables de los criterios económicos, por esto es que más adelante no se pide ingresar los criterios económicos.

Edad*

Vida Útil*

Costo que tuvo el equipo*

Costo de Nuevo*

Costo de Mantenimiento Anual*

Tiempo Parado Que Debió Operar (Horas)*

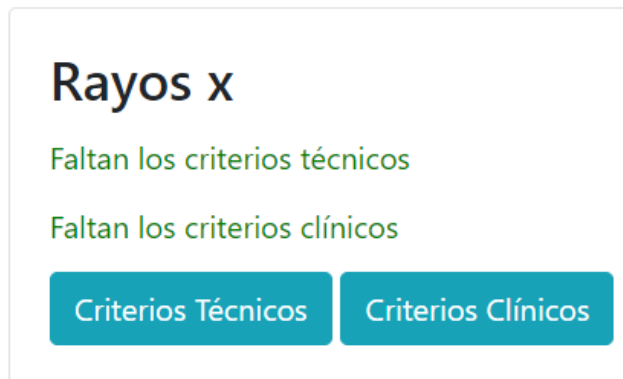
Tiempo en Operación (Horas)*

Número de Reparaciones*

Número de años en que se hicieron las reparaciones*

Figura 10 Variables cuantitativas de crear equipo

Una vez creado el equipo se muestra en las vistas de equipos creados y equipos sin calcular, en la **Figura 11** se muestra como se ve un equipo recién creado, nótese que muestra los criterios que aún faltan por llenar además una vez estos criterios se llenan aparece un nuevo botón que es el que permite calcular el puntaje del equipo.



The screenshot shows a card titled "Rayos x". Below the title, there are two green text prompts: "Faltan los criterios técnicos" and "Faltan los criterios clínicos". At the bottom of the card, there are two teal buttons: "Criterios Técnicos" and "Criterios Clínicos".

Figura 11 Vista de equipo recién creado

Después de lograr mostrar los equipos de esta forma se crearon los formularios para que el usuario defina los criterios técnicos y clínicos, estos dos formularios son bastante parecidos, la **Figura 12** muestra el formulario de los criterios clínicos que tiene la misma estructura que el de criterios técnicos.



The form is titled "Criterios Clínicos" and contains four dropdown menus:

- Aceptabilidad Clínica:** El Equipo Satisface Completamente la
- Función Clínica:** Otro
- Nivel de Riesgo INVIMA:** CLASE I
- Contribución al Servicio:** Sin impacto en la prestación de servic

At the bottom right of the form is a blue button labeled "Guardar".

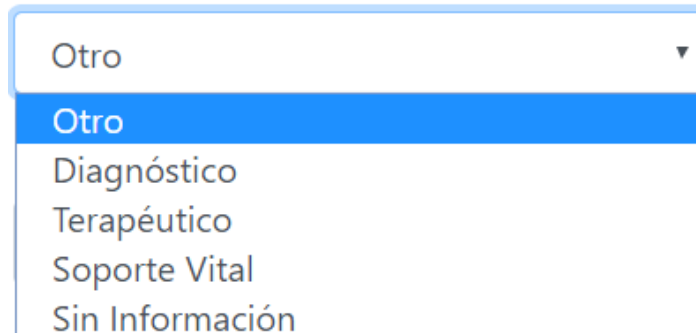
Figura 12 Formulario de criterios clínicos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Para estos dos formularios se decidió que todos sus inputs serian de tipo select en html, es decir que el usuario sólo puede escoger el valor de una variable a partir de unas opciones dadas. Estas opciones se llevan al select desde la tabla diccionario variables, en la

Figura 13 se pueden ver las opciones que puede seleccionar el usuario para la variable función clínica y se puede ver que coincide con las mostradas en **Figura 4** donde se tomó esta variable como ejemplo.

Función Clínica



A dropdown menu titled "Función Clínica" is shown. The menu is currently open, displaying a list of options. The top option, "Otro", is highlighted in blue. Below it are "Diagnóstico", "Terapéutico", "Soporte Vital", and "Sin Información". A small downward-pointing triangle is visible on the right side of the "Otro" option.

Figura 13 Opciones de función clínica

Una vez llenados los criterios técnicos y clínicos y considerando que los económicos se pueden calcular por las características cuantitativas que se ingresan al crear el equipo, ya se pasó a calcular el puntaje y dar una recomendación a la entidad de salud dependiendo del resultado del puntaje, este puntaje nunca se le muestra al usuario pero si se guarda en la base de datos, en la **Figura 14** se muestra cual es el resultado final después de calcular el puntaje, esto es lo que se le muestra al usuario e incluye una recomendación.

ecocardiografo ie33

Ubicación: imagenologia

Recomendación: REPONER A LA MAYOR BREVEDAD PLAZO 1 AÑO

Edad: 8

Figura 14 Ejemplo de un equipo después de calcular el puntaje

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.2.3 Aplicación para el administrador del sistema

El administrador es aquel que puede hacer cambios que afectan la aplicación ya sea en el front end o en el back end, este tipo de usuario tiene como principal tarea modificar los pesos de cada uno de los componentes del análisis jerárquicos, ya sea categoría, subcategoría o variable, además puede modificar tanto las opciones que se mostrara al usuario de las variables técnicas y clínicas como el nivel al que pertenece cada acción, este tipo de usuario también puede modificar la tabla propuestas ya sea para cambiar los intervalos en los que esta una recomendación o lo que dice la recomendación como tal.

La sección de subcategoría y categoría se hicieron con la misma lógica, como se puede ver en la **Figura 15** el usuario puede ver los diferentes registros de las categorías y se integró un botón editar en cada uno para que el usuario pueda decidir a cuál quiere modificar, estos pueden modificar el nombre y el peso de la categoría que se decida modificar, este peso modificara la forma en que se calcula el puntaje, para la subcategorías existe una vista muy parecida en la cual solo cambian los registros que se muestran y además se muestra la categoría a la que pertenece.



Nombre	Peso	Editar
Económicos	0.15	Editar
Clínicos	0.48	Editar
Técnicos	0.37	Editar

Figura 15 Vista de categorías

Para las vistas de editar se decidió que para categorías y subcategorías el usuario podría modificar tanto el nombre como el peso de estas, en la **Figura 16** se puede ver como quedo el formulario, si bien la imagen muestra el de categorías, en la sección de subcategoría simplemente se hizo un símil donde el formulario es el mismo pero se conecta con subcategorías.

Información de la Categoría

Nombre*

Económicos

Peso*

0.15

Siguiente

Figura 16 Formulario para modificar categorías

Para la sección de variables la lógica cambio un poco, ya que, si bien modificar una variable es igual a como se explicó anteriormente que se modifican las categoría o subcategorías, como se puede ver en la **Figura 17**, que muestra un recorte de la vista para mostrar las variables, se agregó otro botón para editar las opciones.

Variables

Nombre	Peso	Subcategoría	Editar	
Soporte Técnico (Años Restantes)	0.52	Proveedor	Editar	Editar Opciones
Contribución al Servicio	0.33	Riesgo	Editar	Editar Opciones
Función Clínica	0.42	Uso Clínico	Editar	Editar Opciones
Aceptabilidad Clínica	0.58	Uso Clínico	Editar	Editar Opciones

Figura 17 Vista de variables

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Cuando el usuario entra a editar, el programa maneja una lógica para modificar la variable que es igual a la de las categorías, pero se hizo que el botón editar opciones redirigiera a una vista (**Figura 18**) donde se pueden ver las opciones que se muestran al usuario de cada variable, desde esta vista se puede acceder a modificar las opciones.

Nombre	Nivel (Más alto, afecta negativamente el score)	Editar
Otro	1	Editar
Diagnóstico	2	Editar
Terapéutico	3	Editar
Soporte Vital	4	Editar
Sin Información	4	Editar

Figura 18 Vista de opciones de una variable

Se creó un formulario que funciona igual que el de criterios, donde el usuario puede modificar tanto el nombre como el nivel de cada opción, este es el nombre que se mostrara en los inputs de criterios técnicos y clínicos.

3.2.4 Pruebas del sistema

Al decidir hacer la aplicación con una metodología ágil se lograba que constantemente estuvieran saliendo funcionalidades de la aplicación aun sin tener la versión final, cada vez que salía una nueva se empezaba a hacer pruebas para definir que la aplicación en determinadas situaciones reaccionara como se esperaba y no mostrara errores, esto con el objetivo que cada funcionalidad implementaba no tenía comportamientos atípicos.

Se probó que cuando no estuvieran creados los criterios técnicos y clínicos el botón calcular no se le mostrará al usuario pues estos eran obligatorios para lograr hacer los cálculos del puntaje, además que el programa le dijera al usuario que criterios faltaban, como se puede ver en la **Figura 11** todas estas características si se cumplieron.

Además de lo explicado en el párrafo anterior también se debía garantizar que el botón calcular se mostrara una vez los formularios de estos criterios fueran llenos y si el usuario calculaba el puntaje que la aplicación me dijera que el equipo ya tiene un score calculado.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En la **Figura 19** se muestra cómo se ve un equipo al que ya se le calculo el puntaje desde la vista de creados, se puede ver que los requerimientos expresados en el párrafo anterior si se cumplieron, además se dejan los botones para que si el usuario quiere recalculer el puntaje de este equipo lo pueda hacer sin tener que volver a empezar todo el proceso desde cero.

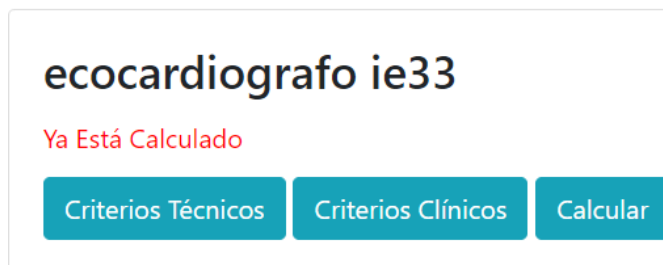


Figura 19 Vista de equipo que ya tiene un puntaje calculado

Desde la parte del administrador se verificó que categorías, subcategoría y variables si mostrara los cambios que se realizaban ya fuera en su nombre o en su peso, en la **Figura 20** se puede ver el proceso de modificación de una subcategoría donde antes tenía el nombre era “Uso Clínico” y a través de la misma aplicación se logró modificar y poner una tilde que hacía falta y quedo con el nombre “Uso Clínico”, variables y categorías tienen la misma lógica y al hacer las pruebas se vio que funcionaron de igual manera.

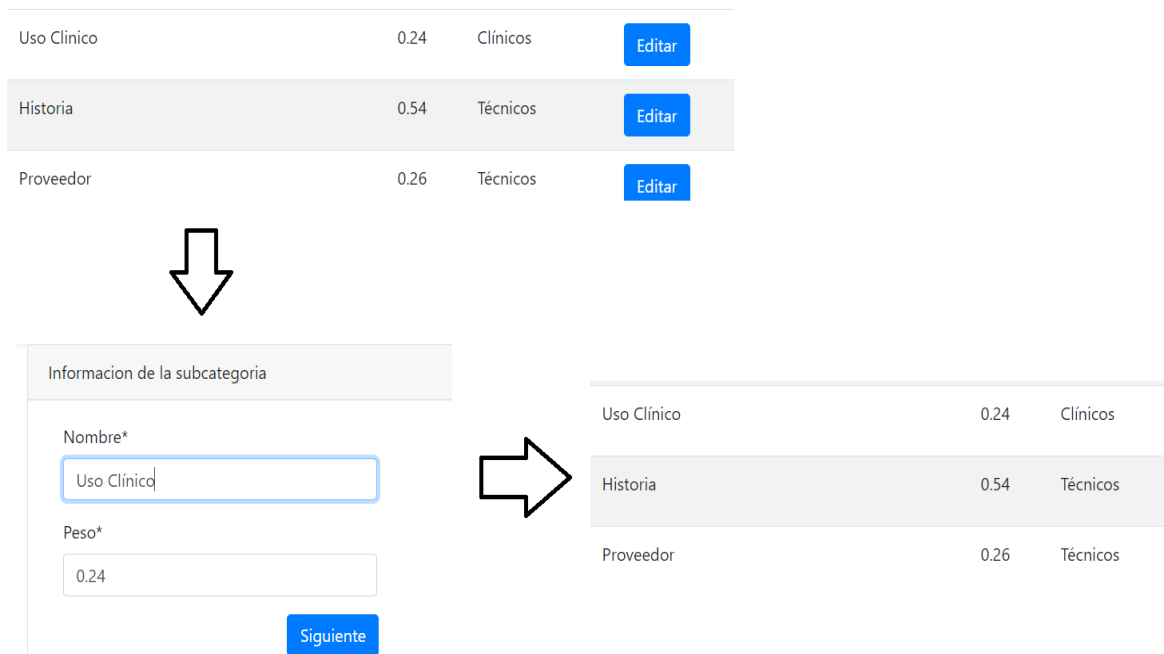


Figura 20 Proceso para modificación de subcategoría

La última verificación que se hizo respecto al funcionamiento de la aplicación fue que al modificar una opción de una variable efectivamente esto se viera reflejado en el input respectivo a esa variable, la **Figura 21** es un proceso donde primero se puede ver el input

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

antes de cualquier modificación, luego la vista donde se aplica la modificación de una de las opciones de la variable estado de la tecnología y se le agrega una tilde y por último se puede volver a ver el input con la corrección implementada.

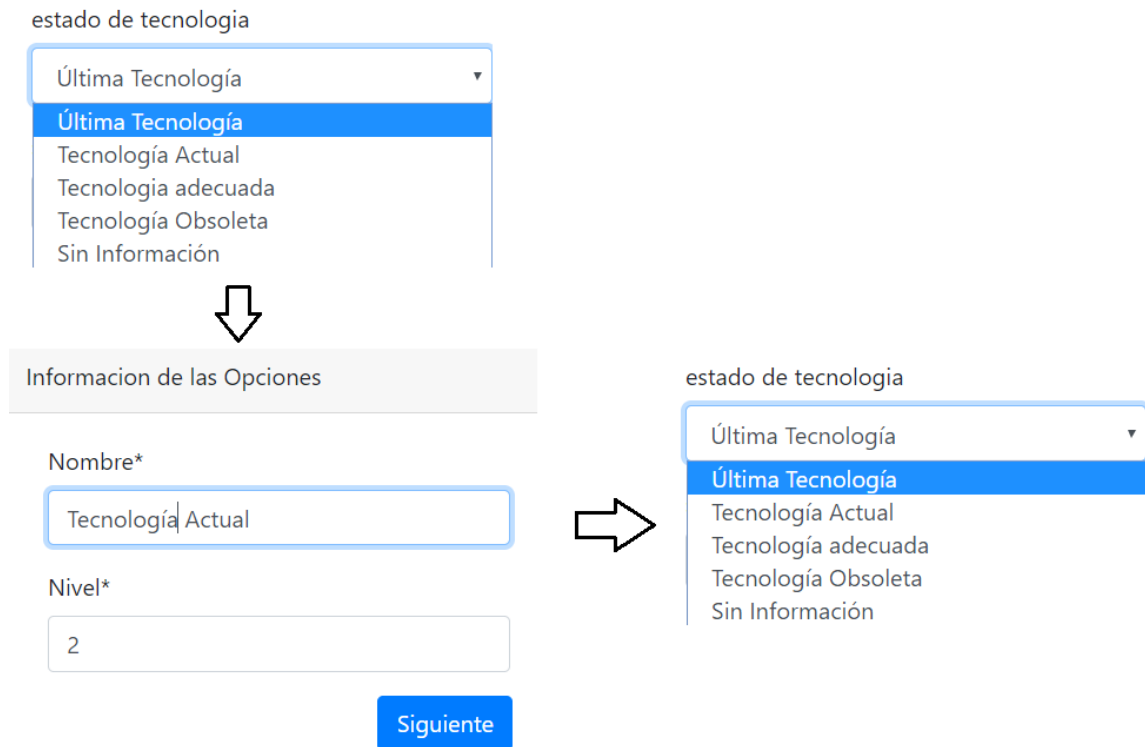


Figura 21 Proceso de modificación de una opción de una variable

3.3 RESULTADO DEL PUNTAJE DE REPOSICIÓN DEL EQUIPO EN LA APLICACIÓN

El grupo de investigación GIBEC suministro una base de datos con equipos con toda la información necesaria para el análisis jerárquico además de la clase en la que quedaba cada equipo, a partir de esta información se crearon estos equipos con un usuario de prueba y en un hospital ficticio para comparar los resultados y la recomendación que daba la aplicación con las clases que estaba consignada en la base de datos.

Se crearon estos nuevos equipos tomando 8 al azar de esta base de datos, asegurando que hubieran 2 que pertenecientes a cada clase, además se crearon 2 equipos ficticios, uno para ponerle las variables en las peores opciones posibles y otro con las mejores., vale la pena aclarar que no se agregaron equipos que cayeran en la clase más baja en la que se recomienda reponer inmediatamente por que en la base de datos no había, pero en uno de los equipos ficticios debería caer en esta clase

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Los datos básicos de los 8 equipos escogidos de la base de datos se pueden ver en la **Tabla 7**, además de la clase en la que debería quedar cada uno para ver más detalles acerca de cada equipo se puede ir al **Anexo 1**.

Tabla 7 Equipos seleccionados para las pruebas

NOMBRE EQUIPO	MARCA	SERIE	UBICACIÓN	CÓDIGO DE INVENTARIO	Clases
rayos x	siemens	j9ff64j	radiología	dbmiderxpo1	REPONER A LA MAYOR BREVEDAD, PLAZO 1 AÑO
eco transesofágico	hp	j9ff64j	cirugía	dbmidecfhp2	REPONER A LA MAYOR BREVEDAD, PLAZO 1 AÑO
Máquina de Anestesia	Drager	ARMB0061	Cirugía	DBMAVMQA013	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO 2 AÑOS
Electrobisturí	Valley Lab	F9L37790T	Cirugía	DBMCCELB011	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO 2 AÑOS
Ventilador	Hamilton	S-8104	UCI	DBMAVVEN022	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO 3 AÑOS
Ecógrafo	philips	j9ff64j	city	dbmidecfph5	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO 3 AÑOS
Desfibrilador	Nihon Kodhen	00-121	Hemodinamia	DBMRADEB034	REVISAR EN 4 AÑOS
Rayos X	Toshiba	G1B1292028	Imagenología	DBMIDERXTO2	REVISAR EN 4 AÑOS

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Estos equipos se crearon en la aplicación y se observaron los resultados dados por esta y se consignó en la **Tabla 8** la recomendación que daba la aplicación para luego hacer la comparación con lo dado por el grupo de investigación.

Tabla 8 Recomendación dada por la aplicación

NOMBRE EQUIPO	CÓDIGO DE INVENTARIO	recomendación
rayos x	dbmiderxpo1	REPONER A LA MAYOR BREVEDAD PLAZO 1 AÑO
eco transesofágico	dbmidecfhp2	REPONER A LA MAYOR BREVEDAD PLAZO 1 AÑO
Máquina de Anestesia	DBMAVMQA013	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO EN 2 AÑOS
Electrobisturí	DBMCCELBO11	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO EN 2 AÑOS
Ventilador	DBMAVVEN022	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO EN 3 AÑOS
Ecógrafo	dbmidecfph5	EVALUAR NUEVAMENTE, MÁXIMO EN 3 AÑOS
Desfibrilador	DBMRADEB034	REVISAR EN 4 AÑOS
Rayos X	DBMIDERXTO2	REVISAR EN 4 AÑOS

Al comparar estas 2 tablas se logró identificar que efectivamente las clases a las que fueron estos equipos corresponden en las 2 tablas, pues quedaron 2 en cada una de las clases para las que se evaluó y que efectivamente los equipos en una y otra tabla corresponden.

A los 2 equipos creados se les llamo Equipo_prueba1 y Equipo_prueba2, el primero se creó con el objetivo de que fuera un equipo ideal en el cual todas sus variables son favorable, el segundo equipo es la versión contraria y sus características son desfavorables para el puntaje.

Se logró ver que ambos equipos quedaron en las clases esperados por lo cual se logró comprobar que los casos extremos la aplicación los logra clasificar de forma correcta y da la recomendación que debería dar cada clase.

4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

La administración de equipos médicos es actualmente y seguirá siendo un tema muy importante y en el cual se debe profundizar cada vez más y mediante más se investigue seguramente se pueda encontrar que variables son más importantes a la hora de reponer un equipo, la intenta abordar un poco este problema, ya que permite al administrador de la aplicación pueda cambiar la importancia de los diferentes niveles del análisis jerárquico, esto abre la puerta a que en un futuro el puntaje de un equipo pueda cambiar.

Se logro hacer una aplicación web para que los usuarios pudieran determinar si es necesario el cambio de un equipo médico de una forma sencilla y objetiva, a través de llenar 3 diferentes formularios.

El análisis jerárquico usado, que fue sacado de una investigación hecha por la universidad EIA en ingeniería clínica, funciona de forma correcta al llevarlo a la aplicación web, enviando cada equipo a una clase que correspondía a lo esperado por las variables que tenía cada equipo.

Para un futuro, a medida que esta aplicación recolecta más datos de equipos reales en diferentes instituciones médicas se puede optar por hacer analítica e implementar machine learning o incluso Deep learning para determinar la vida útil de un equipo de forma mas inteligente y aprovechando las ventajas de las tecnologías y las grandes cantidades de datos de hoy en día.

Se hicieron pruebas a la aplicación a partir de una base de datos suministrada por el grupo de investigación GIBEC, en esta habían diferentes equipos médicos con las clases a las que pertenecían y las variables necesarias para el cálculo del puntaje, de esta base se sacaron 8 equipos y los resultados fueron los esperados, además se hicieron 2 equipos imaginarios, uno con las variables en sus valores mas pesimistas y otro con las optimistas, estos también quedaron en las clases esperadas, a partir de esto se puede concluir que la aplicación esta calculando el puntaje de forma correcta.

Se espera que a medida que se use la aplicación se logre obtener retrospectiva acerca de la clasificación que esta haciendo de los equipos, esto permitirá que se puedan ajustar algunos pesos de variables que pueden ser mas importantes o por lo contrario deberían pesar menos en el cálculo del puntaje.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

5. REFERENCIAS

- Amankwah-Amoah, J. (2017). Integrated vs. add-on: A multidimensional conceptualisation of technology obsolescence. *Technological Forecasting and Social Change*, 116, 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.10.006>
- Capuano, M. (2010). Prioritizing equipment for replacement, a plan based on data not perception. *Biomedical Instrumentation and Technology*, 44(2), 100.
- Clark, j. (2015). Planeación de la reposición de tecnología médica. Recuperado 15 de marzo de 2018, de <http://www.elhospital.com/temas/Planeacion-de-la-reposicion-de-tecnologia-medica+106788?pagina=1>
- Dreiss, A. (2008). When does medical equipment need to be replaced? *Journal of Clinical Engineering*, 33(2), 78-81. <https://doi.org/10.1097/01.JCE.0000305870.48824.91>
- Dyro, J. (2004). The Clinical Engineering Handbook. *Elsevier, Academic Press*, 1, 1-674. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Efendigil, T. (2011). an Integrated Ranking Procedure for Replacement. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 3(1), 1-5.
- J. Tobey Clark, MSEE, CCE and Raymond D. Forsell, CCE, CHFM, P. (s. f.). Medical Equipment Replacement: Planning, Factors, Methods, and Outcomes.
- Ministerio de la protección social. (s. f.). Unidad Didáctica 1 - El Equipamento Médico: Ciclo de Vida. Recuperado 6 de abril de 2018, de <http://mps1.minproteccionsocial.gov.co/evtmedica/1.1 EVALUACION DE LA TECNOLOGIA EN SERVICIOS DE SALUD/3.1modelosdereposicion.html>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2005). Decreto 4725 de 2005. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(diciembre 26), 1689-1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Núñez, J., Zapata, J. G., Castañeda, C., Fonseca, S. M., & Ramírez, J. (2012). *La Sostenibilidad Financiera Del Sistema De Salud Colombiano -Dinámica Del Gasto Y Principales Retos De Cara Al Futuro*. Recuperado de [http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2906/LIB_2012_La Sostenibilidad Financiera.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2906/LIB_2012_La_Sostenibilidad_Financiera.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tarawneh, W., & El-Sharo, S. (2009). Assessment of medical equipment in respect to their down time. *IFMBE Proceedings*, 25(7), 267-270. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03885-3-74>
- Taylor, K., & Jackson, S. (2005). A medical equipment replacement score system. *Journal of Clinical Engineering*, 30(1), 37-41. <https://doi.org/10.1097/00004669-200501000-00046>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). *Agile software requirements*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

TORRES VÉLEZ, D. M., & RUA RODRÍGUEZ, S. (2018). METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE REPOSICIÓN DE TECNOLOGÍAS BIOMÉDICAS EN IPS DE TERCER NIVEL.

Zave, P. (1997). Classification of Research Efforts in Requirements Engineering . <https://doi.org/10.1109/ISRE.1995.512563>

6. ANEXOS

6.1 ANEXO 1

En el Archivo de Excel llamado Equipos de prueba se pueden ver los 8 equipos seleccionados para pruebas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.