

UNIVERSIDAD PANAMERICANA
Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Licenciatura en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación



Evaluación de captura correcta de imágenes obstétricas de primer trimestre a través de modelo de *Machine Learning* supervisado implementado en página web

(Tesis de Licenciatura)

Mateo Juan Gaspar

Guatemala, noviembre de 2022

Evaluación de captura correcta de imágenes obstétricas de primer trimestre a través de modelo de *Machine Learning* supervisado implementado en página web

(Tesis de Licenciatura)

Mateo Juan Gaspar (000044450)

Ing. Carmen Fabiola Morales Pérez (**Asesora y Revisora**)

Guatemala, noviembre de 2022

Autoridades de la Universidad Panamericana

M. Th Mynor Augusto Herrera Lemus

Rector

Dra. Hc. Alba Aracely de González

Vicerrectora Académica

M.A. César Augusto Custodio Cobar

Vicerrector Administrativo

EMBA. Adolfo Noguera Bosque

Secretario General

Autoridades de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Ing. César Augusto Cuevas Guerra

Decano

Licda. Mónica Lissette Alcázar Serralde

Coordinadora

Carta de Responsabilidad de Derechos de Autor

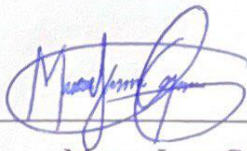
En la ciudad de Guatemala, en el departamento y municipio de Guatemala
a los 28 días del mes de noviembre del 2022

Por medio de la presente YO Mateo Juan Gaspar y en lo sucesivo “LA PERSONA AUTORA” hago constar que soy el único titular intelectual de la obra denominada “Evaluación de captura correcta de imágenes obstétricas de primer trimestre a través de modelo de *Machine Learning* supervisado implementado en página web”, en lo sucesivo “LA OBRA”, en virtud de lo cual autorizo Universidad Panamericana de Guatemala, “EL ORGANISMO” para que efectúe resguardo físico y/o electrónico mediante copia digital e impresa con la finalidad de garantizar su disponibilidad, divulgación, comunicación pública, distribución, transmisión, reproducción, así como digitalización de la misma sin fines de lucro y con el objetivo de divulgarla.

“LA PERSONA AUTORA” autoriza a “EL ORGANISMO” y/o a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la mencionada casa de estudios “LA OBRA” de forma exclusiva en los términos y condiciones aquí expresados, sin que ello implique que se le concede licencia o autorización alguna o algún tipo de derecho distinto al mencionado respecto a la “propiedad intelectual” de la misma obra; incluyendo todo tipo de derechos patrimoniales sobre obras y creaciones protegidas por derechos de autor y demás formas de propiedad industrial o intelectual reconocida o que lleguen a reconocer las leyes correspondientes.

Al reutilizar, reproducir, transmitir y/o distribuir “LA OBRA” se debe reconocer y dar crédito de autoría de la obra intelectual en los términos especificados por el autor, y el no hacerlo implica el término de uso de esta licencia para los fines estipulados. Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos patrimoniales y morales de “LAPERSONA AUTORA”.

De la misma manera, se hace manifiesto que el contenido artístico y/o intelectual de cualquier parte de "LA OBRA" son responsabilidad de "LA PERSONA AUTORA", por lo que se deslinda a "EL ORGANISMO" por cualquier violación a los derechos de autora o autor, de acuerdo con lo establecido en la Ley Guatemalteca y/o tratados internacionales, así como cualquier responsabilidad relacionada con la misma frente a terceros.



Mateo Juan Gaspar

Dedicatoria



UNIVERSIDAD
PANAMERICANA
"Sabiduría ante todo, adquiere sabiduría"

Guatemala, 13 de junio de 2024

Ref. FICA-061/2024

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Campus Central, Guatemala

De acuerdo con el dictamen rendido por la Ingeniera Carmen Fabiola Morales Pérez, asesora de la tesis denominada **Evaluación de Captura Correcta de Imágenes Obstétricas de Primer Trimestre a través del Modelo de *Machine Learning* Supervisado Implementado en Página Web**, presentado por el estudiante **Mateo Juan Gaspar** quien se identifica con ID **000044450** y, habiendo optado el alumno por la opción de egreso por maestría, en la Escuela de Alto Nivel – ENAN –; se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN**, previo a conferirle el título de Licenciado en Ingeniería en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación.


Decano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Ingeniero César Augusto Cuevas Guerra M.Sc., MBA

Decano

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Guatemala, 13 de junio de 2024

Ref. FICA-060/2024

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Campus Central, Guatemala

CARTA DE ACUSE

Por este medio hago constar que previo a la otorgársele el grado académico de Licenciado en Ingeniería en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación, el estudiante *Mateo Juan Gaspar* quien se identifica con ID *000044450*, ha desarrollado el Proyecto de Tesis denominado "*Evaluación de Captura Correcta de Imágenes Obstétricas de Primer Trimestre a través del Modelo de Machine Learning Supervisado Implementado en Página Web*".

Aunado a ello, posterior a la lectura del informe de Licenciatura, se hace constar que el trabajo realizado por el estudiante en mención reúne las cualidades necesarias de un trabajo profesional universitario de Licenciatura.

Por tanto,

En calidad de Decano de Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.



Ing. César Augusto Cuevas Guerra
Decano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas



Ingeniero César Augusto Cuevas Guerra M.Sc., MBA

Decano

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

DICTAMEN DEL ASESOR DE TESIS

Nombre del estudiante: Mateo Juan Gaspar

Título de la tesis: Evaluación de Captura Correcta de Imágenes Obstétricas de Primer Trimestre a través del Modelo de Machine Learning Supervisado Implementado en Página Web

Asesora de la tesis: Inga. Carmen Fabiola Morales Pérez

Considerando,

Primero: Que previo a la otorgársele el grado académico de Licenciado en Ingeniería en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación el estudiante **Mateo Juan Gaspar** quien se identifica con ID **000044450**, ha desarrollado el trabajo de Tesis denominado **“Evaluación de Captura Correcta de Imágenes Obstétricas de Primer Trimestre a través del Modelo de Machine Learning Supervisado Implementado en Página Web”**.

Segundo: Que la profesional Ingeniera Carmen Fabiola Morales Pérez, ha leído el informe de tesis donde consta que el trabajo de investigación realizado por el estudiante en mención reúne las cualidades necesarias de un trabajo profesional universitario de Licenciatura.

Por tanto,

En su calidad de asesor del proyecto de tesis se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.



Ingeniera Carmen Fabiola Morales Pérez
Asesora de Contenido de Tesis

Guatemala, 07 de junio de 2024

DICTAMEN DEL REVISOR DE FORMA DE LICENCIATURA

Nombre del estudiante: Mateo Juan Gaspar

Título de la Tesis: Evaluación de captura correcta de imágenes obstétricas de primer trimestre a través de modelo de Machine Learning supervisado implementado en página web

Revisor de forma de Tesis: Luis Alberto Mendoza Pérez

Considerando,

Primero: Que previo a la otorgársele el grado académico de Licenciatura en Licenciatura en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación, el estudiante **Mateo Juan Gaspar** quien se identifica con ID **000044450**, ha desarrollado el trabajo de Tesis denominado **“Evaluación de captura correcta de imágenes obstétricas de primer trimestre a través de modelo de Machine Learning supervisado implementado en página web”**.

Segundo: Que he leído el trabajo de Tesis, donde consta que el estudiante en mención realizó el proyecto investigativo de egreso atendiendo a un método y técnicas propias de esta modalidad académica.

Tercer: Que ha realizado todas las correcciones de redacción y estilo que le fueron planteadas en su oportunidad.

Cuarto: Que dicho trabajo reúne las calidades necesarias de un trabajo de licenciatura.

Por tanto,

En su calidad de revisora de forma del proyecto de Tesis de licenciatura se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.

Luis Alberto Mendoza Pérez
Revisor Metodológico de Licenciatura

A Dios:

A Dios en primer lugar, por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y ser mi fortaleza en los momentos difíciles que he vivido durando mi proceso de formación.

A mis padres:

Mi madre María Gaspar Lucas y mi amado padre Abel Juan Baltazar que se encuentra en el cielo, por haber estado siempre en cada momento importante de mi vida, por el apoyo incondicional y cuidarme en todo momento, por el gran amor que me ha demostrado día a día con cada gesto de preocupación hacia mi persona y oraciones. Los amo mucho.

A mi amiga:

Margarita Diego, una persona muy especial, que me motivó a seguir estudiando, a superarme y luchar por mis sueños, por creer siempre en mí, y que a través de sus logros me demostró que ningún sueño es imposible. Eres una de las personas por la cual este logro es posible.

A mis compañeros:

Michael Martín & Osman Castañeda por el apoyo incondicional, por ser grandes compañeros durante este proceso, ser amigos que me han enseñado que los grandes sacrificios valen la pena y especialmente por ser amigos con los que comparto la misma pasión por nuestra profesión.

A mi mejor amiga:

Natalí Mérida por ser mi sustento, la persona que siempre se ha preocupado por que sea una persona conforme a la voluntad de Dios, quien me ha cuidado a través de sus oraciones y me ha motivado.

A mi asesora:

Ing. Carmen Fabiola Morales Pérez por toda la enseñanza y su dedicación por enseñar y formar a personas de calidad tanto académicamente como moralmente, sobre todo por creer en mí cuando y mi capacidad de lograr mis objetivos y retornos y demostrarnos habilidades que no creíamos poseer.

A mis docentes:

Ing. Juan José Rodríguez, Ing. Almeida Mérida, por ser personas quienes confiaban en mí, y demostrarme que elegir la carrera de ingeniería es una de las mejores decisiones que he tomado en mi vida. Ing. Juan Francisco Krings Klusmann, Roberto Guillermo Lavagnino Rodríguez, por todas las enseñanzas que me brindaron y fueron parte fundamental para mi proceso de preparación.

Al Decano:

Por el apoyo que nos brindó a nosotros como estudiantes durante todos estos años y creer en nuestras capacidades y recordarnos que, con perseverancia y disciplina se puede lograr las metas establecidas.

A la universidad:

Por el apoyo que me brindó durante estos años en mi formación académica, y sobre todo por la puerta que me abrieron con la carrera de ingeniería en el municipio de Barillas. Huehuetenango.

Tabla de Contenidos

Lista de Tablas	1
Lista de Gráficos	2
Lista de Figuras	3
Resumen.....	i
<i>Abstract</i>	iii
Introducción	v
Capítulo I	1
Marco Contextual	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Pregunta de Investigación	4
1.4 Justificación del Problema	4
1.5 Importancia de la Investigación	5
1.6 Objetivos	6
1.6.1 Objetivo General.....	6
1.6.2 Objetivos Específicos.....	6
1.7 Alcances y Límites.....	7
Capítulo II	8
Marco Teórico	8
2.1 Antecedentes	8
2.2 Ecografías	9
2.2.1 ¿Qué es ecografía?	9
2.2.2 Tipos de Ecografías.....	9
2.2.2.1 Ecografías no obstétricas	10
2.2.2.2 Ecografía Obstétrica.....	11
2.2.3 Importancia de las ecografías obstétricas	11
2.3 Embarazo	11
2.3.1 Fases del embarazo	12
2.3.1.1 Primer trimestre	12

2.3.1.2 Segundo trimestre	12
2.3.1.3 Tercer trimestre	13
2.3.2 Complicaciones durante el embarazo	13
2.3.3 Causas de muertes mortinatos.....	14
2.4 Inteligencia Artificial	14
2.4.1 Ramas de la inteligencia artificial.....	15
2.4.1.1 Procesamiento de Lenguaje Natural (PNL)	16
2.4.1.2 Sistemas expertos.....	16
2.4.1.3 Visión por computadoras	16
2.4.1.4 Reconocimiento automático del habla	16
2.4.1.5 Planificación	16
2.4.1.6 Robótica	17
2.4.1.7 Machine Learning / Aprendizaje automático.....	17
2.4.1.7.1 Supervisado.....	17
2.4.1.7.2 No supervisado.....	19
2.4.1.7.3 Aprendizaje semi-supervisado	19
2.4.1.7.4 Aprendizaje por refuerzo	20
2.4.2 Fases del Machine Learning	20
2.4.2.1 Entrenamiento	20
2.4.2.2 Prueba	21
2.4.3 Herramientas para el procesamiento de imágenes	21
2.4.3.1 Python	22
2.4.3.2 Flask	23
2.4.3.3 Tensorflow	24
2.4.3.4 Keras	24
2.5 <i>Machine Learning</i> supervisado en la evaluación de imágenes obstétricas.....	25
2.5.1 Proceso de entrenamiento de un modelo	25
2.5.2 Importancia	26
2.5.3 Ventajas y desventajas	26
2.5.3.1 Ventajas.....	26
2.5.3.2 Desventajas	27
2.6 Glosario.....	28

2.7 Cronograma de actividades.....	29
2.7.1 Desarrollo de Aplicación	29
Capítulo III.....	30
Marco Metodológico.....	30
3.1 Tipo de Investigación.....	30
3.2 Sujetos de Investigación	30
3.3 Procedimiento	30
3.3.1 Enfoque cuantitativo	30
3.4 Universo / Población.....	31
3.4.1 Tipo de población	31
3.4.2 Población.....	31
3.5 Muestra	31
3.6 Plan de recolección de datos.....	32
3.6.1 Técnica de la encuesta	32
3.6.1.1 Instrumento cuestionario.....	32
3.7 Validez y confiabilidad.....	32
3.8 Metodología de desarrollo del Aplicativo.....	32
3.8.1 Descripción del requerimiento del producto.....	33
3.8.1.1 Requerimientos Funcionales.....	33
3.8.1.2 Requerimientos no Funcionales	34
3.8.2 Equipo de trabajo y roles	34
3.8.3 Metodología ágil Scrum.....	35
3.8.4 Producto	37
Capítulo IV	38
Resultados de la investigación.....	38
4.1 Presentación de resultados	38
4.1.1 Encuesta previo a implementación	38
4.1.2 Encuesta posterior a implementación	43
4.2 Desarrollo del modelo de <i>Machine Learning</i>	47
4.2.1 Fases del desarrollo.....	47
4.2.2 Análisis	47
4.2.2.1 Situación actual.....	48

4.2.2.2 Situación optimizada.....	50
4.3 Planificación	52
4.3.1 Cronograma de desarrollo.....	52
4.4 Desarrollo.....	53
4.4.1 Arquitectura del <i>software</i>	53
4.4.1.1 Front-end.....	54
4.4.1.2 Back-end	55
Capítulo V	57
Discusión y análisis de resultados	57
5.1 Discusión de resultados.....	57
5.1.1 Encuesta previo a implementación	57
5.1.2 Encuesta posterior a implementación	60
5.2 Utilidad de la aplicación	62
Conclusiones	64
Recomendaciones	65
Referencias.....	66

Lista de Tablas

Tabla No. 1.....	29
Tabla No. 2.....	52

Lista de Gráficos

Gráfica No: 1.....	38
Gráfica No: 2.....	39
Gráfica No: 3.....	39
Gráfica No: 4.....	40
Gráfica No: 5.....	40
Gráfica No: 6.....	41
Gráfica No: 7.....	41
Gráfica No: 8.....	42
Gráfica No: 9.....	42
Gráfica No: 10.....	43
Gráfica No: 11.....	43
Gráfica No: 12.....	44
Gráfica No: 13.....	44
Gráfica No: 14.....	45
Gráfica No: 15.....	45
Gráfica No: 16.....	46

Lista de Figuras

Figura No. 1	15
Figura No. 2	18
Figura No. 3	19
Figura No. 4	37
Figura No. 5	48
Figura No. 6	51
Figura No. 7	53
Figura No. 8	54
Figura No. 9	55
Figura No. 10	56
Figura No. 11	56

Resumen

La ecografía es una técnica de diagnóstico por imágenes que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para crear imágenes en tiempo real del interior del cuerpo, permitiendo a los profesionales de la salud visualizar la forma, tamaño, y la ubicación de órganos y estructuras internas. Las ecografías son ampliamente utilizadas en obstetricia para observar el desarrollo fetal y diagnosticar complicaciones durante el embarazo. Sin embargo, la escasez de especialistas en obstetricia en el primer nivel de atención en salud ha destacado la necesidad de capacitar a enfermeros profesionales que laboran en los puestos de salud y de convergencia en las áreas rurales del país para realizar ecografías obstétricas. Pero la falta de experiencia de este personal a menudo conduce a capturas incorrectas de imágenes ecográficas, complicando las evaluaciones por parte de especialistas en obstetricia para identificar complicaciones para el feto o la embarazada que pueden terminar en una muerte materna, teniendo en cuenta que la muerte materna en Guatemala ha sido un desafío persistente en el ámbito de la salud pública. La tasa de mortalidad materna es el registro de muertes maternas entre la población de mujeres en edad reproductiva por cada 100,000 habitantes. Para 2021, la tasa de mortalidad materna fue de 6.6, en 2020 de 5.5, en el 2019 de 5.6 y en 2018 de 6.2. Aunque las cifras específicas pueden variar, Guatemala ha enfrentado problemas significativos en este aspecto.

Por ellos se plantea la siguiente investigación, centrada en desarrollar un modelo de *Machine Learning* supervisado por clasificación. Este modelo tiene como objetivo evaluar imágenes obstétricas del primer trimestre y determinar, previo a la revisión de los especialistas, si las ecografías se realizaron correctamente. En casos de capturas incorrectas, se sugerirá repetir las ecografías. Dicha solución se ha planteado con la finalidad de mejorar las atenciones realizadas a las gestantes, no citar nuevamente a las gestantes en el puesto de salud o centro comunitario para repetir las evaluaciones, considerando que la mayoría de las gestantes deben viajar o caminar por horas para llegar a los puestos y/o centros comunitarios, y al detectar imágenes incorrectas se reduce el número de solicitudes de repetición de ecografías por parte de los especialistas permitiendo detectar complicaciones de manera oportuna.

Además, esta propuesta tiene el potencial de ser escalable, adaptable en investigaciones relacionadas con la evaluación de imágenes ecográficas, ofreciendo una solución innovadora y eficiente para mejorar la calidad de la atención médica en entornos rurales y remotos.

Palabras clave: *Machine Learning* Supervisado, Evaluación, Identificar, Captura, Modelo.

Abstract

Ultrasound is an imaging diagnostic technique that utilizes high-frequency sound waves to create real-time images of the interior of the body, enabling healthcare professionals to visualize the shape, size, and location of internal organs and structures. Ultrasounds are widely used in obstetrics to observe fetal development and diagnose complications during pregnancy. However, the shortage of obstetric specialists at the primary level of healthcare has underscored the need to train professional nurses working in health posts and convergence areas in rural areas of the country to perform obstetric ultrasounds. Nevertheless, the lack of experience among these personnel often leads to incorrect captures of ultrasound images, complicating assessments by obstetric specialists to identify complications for the fetus or pregnant woman that may result in maternal death, considering that maternal mortality in Guatemala has been a persistent challenge in public health. The maternal mortality rate records maternal deaths among the population of women of reproductive age per 100,000 inhabitants. For 2021, the maternal mortality rate was 6.6, in 2020 it was 5.5, in 2019 it was 5.6, and in 2018 it was 6.2. Although specific figures may vary, Guatemala has faced significant issues in this regard.

Therefore, the following research is proposed, focused on developing a supervised classification Machine Learning model. The objective of this model is to assess first-trimester obstetric images and determine, before the specialists' review, whether the ultrasounds were performed correctly. In cases of incorrect captures, a recommendation to repeat the ultrasounds will be suggested. This solution is intended to improve the care provided to pregnant women, avoiding reappointments at health posts or community centers for repeat assessments, considering that most pregnant women must travel or walk for hours to reach health posts and/or community centers. Detecting incorrect images reduces the number of requests for repeat ultrasounds by specialists, allowing the timely identification of complications.

Furthermore, this proposal has the potential to be scalable and adaptable in research related to the evaluation of ultrasound images, offering an innovative and efficient solution to enhance the quality of healthcare in rural and remote environments.

Keywords: *Supervised Machine Learning, Evaluation, Identify, Capture, Model.*

Introducción

La presente investigación denominado “Evaluación de captura correcta de imágenes obstétricas de primer trimestre a través de modelo de *Machine Learning* supervisado implementado en página web”, que se puede definir como el proceso de evaluar imágenes de ultrasonidos realizadas a mujeres embarazadas utilizando aprendizaje automático supervisado por clasificación, el cual, es uno de los campos de la Inteligencia Artificial con más demanda en la actualidad, que permite a través de algoritmos enseñar a la máquina evaluar si la imagen es capturada de manera correcta.

Las características de este tipo evaluaciones es la complejidad de interpretación de las ecografías, es por lo que, el personal capacitado para la evaluación adecuada de las imágenes son especialistas en obstetricia.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la dificultad del personal de primer nivel en realizar las ecografías de manera adecuada e identificar si la imagen capturada es correcta debido a la complejidad de su visualización, ya que al ser capturas a través de ondas sonoras de alta frecuencia solo permite visualizar órganos, tejidos y huesos.

En el capítulo I se describen los antecedentes realizados por otros investigadores que refuta y/o apoya el tema de investigación, el planteamiento del problema, ¿Qué beneficios tiene el uso de modelado de *Machine Learning* supervisado en la evaluación de imágenes obstétricas?, justificación y declaración de los objetivos generales y específicos de la investigación.

En el capítulo II se describen cada uno de los temas relacionados a las ecografías y las tecnologías utilizadas para el proceso de entrenamiento de un modelo de *Machine Learning* para la evaluación de imágenes obstétricas

El capítulo III se describe la metodología y el enfoque utilizada para la recolección de datos, técnicas e instrumentos de investigación, la metodología utilizada para el desarrollo del modelo y la página web, los requerimientos de aceptación y la solución al problema planteado.

En el capítulo IV se presentan los resultados obtenidos a través de los instrumentos de recolección de datos utilizados, análisis de las situaciones actuales y optimizadas, descripción de la planificación y la arquitectura del sistema.

En el capítulo V se interpreta y se discuten los resultados obtenidos de las encuestas realizadas y evaluar si los resultados cumplen de manera satisfactoria con los objetivos y requerimientos planteados

Capítulo I

Marco Contextual

1.1 Antecedentes

Desde su surgimiento en 1956, la Inteligencia Artificial (IA) ha desempeñado un papel fundamental en el avance tecnológico, buscando siempre simplificar las tareas humanas. En los últimos años, el *Machine Learning* ha experimentado un notable crecimiento en el campo de la salud, especialmente en la interpretación de imágenes médicas para predecir, identificar y analizar información clave para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades.

Como antecedente de la investigación de modelo de *Machine Learning*, se hace referencia a la investigación de tesis titulada “Aprendizaje supervisado eficiente para el análisis de datos geoespaciales” realizado por Javier Lozano Silva (2015), cuyo objetivo fue desarrollar una plataforma para el mapeo de datos temáticos sobre imágenes de teledetección de muy alta resolución mediante aprendizaje supervisado implementado en una plataforma web.

Esta investigación puede ser referenciado para demostrar cómo el *Machine Learning*, aplicado a través de una plataforma web, ha facilitado la interpretación y el manejo de datos geoespaciales de alta resolución en términos de tiempo de respuesta y rendimiento. Esto demuestra la versatilidad y eficacia del *Machine Learning* en diferentes campos de estudio, lo que tiene implicaciones directas en su potencial uso en áreas como la salud, donde la interpretación precisa de datos es crucial.

Blanc G, Cevallos L y Arteaga J (2020) para su investigación titulado “Modelo computacional de clasificación de aprendizaje de datos cardiovasculares y pronóstico médico” cuyo objetivo fue desarrollar un modelo de *Machine Learning* que permitiera realizar una evaluación más precisa de los pronósticos y diagnósticos de enfermedades cardiovasculares en los pacientes. Esta investigación demuestra cómo el *Machine Learning* puede ser una herramienta valiosa para los especialistas en salud, permitiendo un análisis más preciso y una mejor predicción de riesgos en enfermedades cardiovasculares, lo cual es crucial para una atención médica eficiente y

personalizada. También resalta la importancia de integrar tecnologías avanzadas en el diagnóstico y tratamiento médico.

1.2 Planteamiento del Problema

Según la investigación realizada por la OPS (Organización Panamericana de la Salud) en el año 2019, cada día mueren en todo el mundo unas 830 mujeres por complicaciones relacionadas con el embarazo o el parto. En el 2015 se estima que aproximadamente 303,000 mil muertes de mujeres durante el embarazo y el parto o después de ellos, las cuales se producen en países de bajos recursos y la mayoría de las muertes podrían haberse evitado.

Las gestantes con índice de mayor riesgo de mortalidad materna corresponden a las adolescentes menores de 15 años, en las cuales una de las causas principales de las muertes maternas son los abortos espontáneos, embarazos a edad temprana, embarazos ectópicos, complicaciones hemorrágicas, infecciones graves y entre otros.

La investigación también argumenta que las mujeres de bajos recursos o en situación de pobreza, son las que tienen menos probabilidades de recibir una atención sanitaria adecuada, mayormente en las regiones remotas en las que el servicio de salud pública es escasa o nula. Aunque en los últimos 10 años la atención prenatal ha aumentado en muchos países del mundo, solo el 51 por ciento de las mujeres de los países de bajos ingresos disponen del beneficio de una atención especializada durante su embarazo y en el 2015, solamente el 40 por ciento de las embarazadas de los países de bajos ingresos realizaron consultas prenatales, esto se debe a diferentes factores, los cuales impiden a las mujeres recibir o buscar atención durante su proceso de gestación, entre los factores se encuentran: la pobreza, la distancia, la falta de información, la inexistencia de servicios de obstetricia y/o personal.

Según *FdW* (Fundación de *Wall*) (2018) a través de su investigación realizó en el programa “Situación de las muertes neonatales en América Latina”. Los porcentajes se estiman que la cifra de mortinatos (bebés que mueren durante las últimas semanas del primer trimestre y a inicios del segundo trimestre) representa una tasa de promedio para América Latina (20 países) de 8,1/1,000

nacidos vivos. Para Bolivia 12,9, Ecuador 7,7, El Salvador 12,2, Honduras 12,6, Perú 8,1, Nicaragua 7, Guatemala 12 y Paraguay 13. Esto representa 9,740 mortinatos en los países en los que trabaja *FDW* y 88,525 para América Latina y el Caribe. Los mortinatos están asociados con ciertas condiciones que aumentan los riesgos de muerte como: sífilis congénita (2 veces de mayor probabilidad), malformaciones congénitas (26 veces de mayor probabilidad), abortos espontáneos (10 % de probabilidades) y mortinatos previos (3 veces de mayor probabilidad).

Considerando la información de los indicadores de mortinatos durante la etapa neonatal y reconociendo que, en esta fase, todos los casos están vinculados directamente al embarazo, se puede evaluar que en las regiones en las que opera la Fundación de *Waal* se registra un total de 19,521 casos de mortinatos y neonatos fallecidos anualmente. Este dato equivale aproximadamente al 2.2% de la totalidad de los nacimientos que resultan en bebés vivos.

Los factores que hacen más susceptibles a las gestantes a sufrir complicaciones durante su embarazo, especialmente en el primer trimestre, son: tener más de 35 años, tener embarazos múltiples, embarazos ectópicos, abortos espontáneos, malformaciones congénitas y entre otros.

Según MSPAS en número de muertes y proporción de muertes maternas por áreas de salud de enero a febrero de 2022, Guatemala es de: Alta Verapaz; siete, Huehuetenango; cinco, Totonicapán; cuatro, Quetzaltenango; tres, Quiché; tres, San Marcos; tres, Chiquimula; dos, Escuintla; dos, Izabal; dos, Jutiapa; dos, Retalhuleu; dos, Chimaltenango; uno, Guatemala Noroccidente; uno, Guatemala Sur; uno, Jalapa; uno, Peten Sur Occidente; uno, Santa Rosa; uno. Siendo el 75% de estas muertes por causas directas.

Debido a esta problemática en Guatemala diferentes ONG han implementado programas enfocados en reducir las muertes maternas y mortinatos en el país, una de las principales estrategias que se ha implementado es la capacitación de personal de salud de primer nivel para la realizar ecografías en las comunidades aisladas del departamento de Alta Verapaz, San Marcos y recientemente en el departamento de Huehuetenango, estas ecografías permiten identificar complicaciones durante la gestación, detectando oportunamente complicaciones y gestionando las referencias necesarias para asegurar la atención y seguimiento de las gestantes.

Huehuetenango es uno de los departamentos del país con más muertes maternas, el cual se ha mantenido en los últimos años en los primero 3 departamentos que presentan más muertes maternas y mortinatos, dichas muertes se presentan en mujeres que viven en comunidades lejanas a un hospital u otra entidad de salud y la falta de atención adecuada o de equipo en los puestos de salud y/o centro comunitario más cercano.

En el municipio de Barillas, Huehuetenango, la atención de ecografías en las zonas rurales ha tenido un impacto significativo en la reducción de la mortalidad materna y los casos de mortinatos. Sin embargo, se enfrenta a un desafío importante relacionado con la captura adecuada de imágenes obstétricas por parte del personal de salud. Durante la realización de las ecografías, es común que las imágenes solicitadas no se capturen de manera precisa, lo que complica el proceso de evaluación por parte de los obstetras y/o ginecólogos encargados de analizar las imágenes obtenidas.

1.3 Pregunta de Investigación

¿Qué beneficios tiene el uso de modelado de *Machine Learning* Supervisado en la evaluación de imágenes obstétricas?

1.4 Justificación del Problema

La realización de ecografía en las zonas rurales del país presenta una problemática en la captura correcta de las imágenes obstétricas, ya que al carecer de profesionales en obstetricia y ginecología que puedan ser asignados en las zonas rurales aisladas para brindar este servicio y de calidad, las organizaciones como una forma de solución al problema se ha propuesto capacitar a personal de salud de primer nivel de atención de salud, entiéndase por personal de primer nivel al personal de enfermería profesional asignado en los puesto de salud o centros comunitarios de las comunidades pertenecientes de un municipio, los cuales al carecer de conocimientos suficientes en el tema y en la práctica de la realización de ecografías, es necesario la intervención de especialista en obstétrica o ginecología que puedan capacitar al personal para capturar las

imágenes necesarias y así mismo evaluar las imágenes que realizan los profesionales en enfermería para identificar anomalías e inconvenientes que puedan presentarse durante el embarazo, especialmente en el primer trimestre. sin embargo, la problemática existente es que durante el proceso de realización de ecografías es la captura inadecuada de las ecografías o imágenes obstétricas, haciendo que el proceso de evaluación de las imágenes por los obstetras se vea afectado, implicando más tiempo para poder evaluar las ecografía, solicitar nuevamente a las gestantes en el puesto de salud o centro comunitario para realizar nuevamente las evaluaciones, tomando en cuenta que la mayoría de las gestantes atendidas deben viajar o caminar por horas para llegar a los puestos o centros comunitarios para repetir los exámenes.

Dada las complicaciones, surge la necesidad de implementar nuevas soluciones para la evaluación de imágenes previo a la evaluación por obstetras, en el cual la tecnología juega un rol muy importante, específicamente el uso de modelo de *Machine Learning*.

El uso de *Machine Learning* cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permite a las computadoras puedan aprender y realizar tareas específicas de forma autónoma, tomando decisiones o hacer predicciones. Es por ello por lo que el enfoque de esta tesis es brindar una herramienta tecnológica capaz de evaluar las imágenes ecográficas realizadas previamente a través de un modelo supervisado por clasificación entrenado para evaluar imágenes obstétricas, permitiendo evaluar si las imágenes capturadas se realizaron correctamente, caso contrario, realizar nuevamente el procedimiento de la ecografía durante la estadía de las gestantes en el puesto de salud y/o centros comunitarios.

Es consecuencia, a lo mencionado anteriormente surge la siguiente pregunta: ¿Qué beneficios tiene el uso de modelado de *Machine Learning* Supervisado en la evaluación de imágenes obstétricas?

1.5 Importancia de la Investigación

La implementación de un modelo de *Machine Learning* entrenado para evaluar imágenes obstétricas capturadas previamente beneficia sobre todo a las gestante en la evaluación de sus

ecografías, detectando anomalías de manera oportuna, reducir el tiempo que implica evaluar las ecografías por los especialistas, reducir el número de solicitudes de repeticiones realizadas por los obstetras, prevenir riesgos que puedan presentarse durante el embarazo, evitar citar nuevamente a las gestantes para repetir los exámenes días después o hasta la evaluación del obstetra, y realizar las referencias pertinentes si así lo amerita, garantizando una atención segura y reducir el riesgo de una muerte neonatal o materna a causa del embarazo.

La implementación del modelo de *Machine Learning* en la evaluación de imágenes abre un número de posibilidades para la detección de complicaciones y prevenciones tanto en los 3 trimestres del embarazo como también en la evaluación de otros exámenes de ultrasonidos que se realizan en el cuerpo humano, mejorando las atenciones a las personas y, sobre todo, reduciendo muertes ya sean maternas o mortinatos, detectando las complicaciones a través de los ultrasonidos.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Crear modelo de *Machine Learning* Supervisado para la evaluación de imágenes obstétricas capturadas por personal de primer nivel del sistema de salud alojado en una página web.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Definir criterios de evaluación de imágenes obstétricas.
- Definir la arquitectura de la red neuronal para el preprocesamiento de imágenes ecográficas para uso de datos de entrada para el modelo de *Machine Learning*.
- Entrenar modelo de *Machine Learning* con ecografías obstétricas
- Implementar página web para alojamiento de modelo entrenado de *Machine Learning*

1.7 Alcances y Límites

El alcance de la tesis de investigación contempla la creación de un modelo de *Machine Learning* y la implementación de una página web para alojar el modelo creado.

Específicamente este proyecto de tesis ayudará a que las ecografías realizadas a mujeres embarazadas de las comunidades de Barillas puedan ser evaluadas a través de un modelo de *Machine Learning* entrenado para evaluar si las imágenes se capturaron de manera correcta por parte del personal de salud de primer nivel, mejorando el proceso de capacitación para la realización de ecografías.

Como parte de los límites del proyecto, se limita a evaluar ecografías realizadas en el primer trimestre, otras imágenes y/o medidas no se tomarán en cuenta para este proyecto.

La creación del modelo solo se limita en el uso de *Machine Learning* Supervisado por clasificación.

El proyecto se limita a evaluar ecografías realizadas a mujeres embarazadas de las comunidades del municipio de Barillas, Huehuetenango.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes

Una de las disciplinas más importantes de las Inteligencia Artificial es el *Machine Learning*, el cual, a través de algoritmos, brinda a los equipos computacionales la capacidad de poder identificar patrones en datos de gran magnitud y poder elaborar predicciones.

Blanc G, Cevallos L y Arteaga J (2020) para su investigación titulado “Modelo computacional de clasificación de aprendizaje de datos cardiovasculares y pronóstico médico” cuyo objetivo principal se centra en el desarrollo de un modelo de *Machine Learning* para la evaluación de enfermedades cardiovasculares, utilizando redes bayesianas y el algoritmo *Naive Bayes*, el estudio propone un enfoque computacional para predecir el riesgo cardiovascular basado en factores de riesgo identificados. Este enfoque destaca la utilidad del *Machine Learning* en medicina, especialmente para apoyar a los especialistas en la toma de decisiones y mejorar los diagnósticos médicos.

Los cuales llegaron a la conclusión de que dicha investigación es de gran ayuda para los especialistas, ya que a través de la implementación de *Machine Learning* es posible determinar el nivel de riesgo que tiene una persona de adquirir alguna enfermedad.

Rojas G (2022) para su investigación titulado “Clasificación de leucocitos en imágenes microscópicas de frotis sanguíneo usando *Machine Learning* y *CNN*” cuyo objetivo fue demostrar si la clasificación de leucocitos en imágenes microscópicas de frotis sanguíneo realizado con *Machine Learning* y *CNN (Convolutional Neural Network)* cumple un grado de error aceptable y se determinó que el promedio de grado de error de los procesos manuales y automatizados son de 18.33 por ciento y 3.59 por ciento, en el cual se utilizó un grado de error mínimo del 5 por ciento.

Dicha investigación llega a la conclusión que implementar una solución que use *Machine Learning* y *CNN* para la clasificación de imágenes tiene un grado de error que no sería perjudicial en comparación a otras soluciones, así mismo concluye que las redes neuronales son una opción tecnológica aplicable en soluciones donde se busca predecir ciertos resultados pero con cierto grado de error, ya que dependen de la estrategia que el desarrollador implemente, y las variables que pueden afectar a su desempeño; como el número de datos, número de capas, tipos de capas, la arquitectura del modelo, la validez de los datos o imágenes a usar, eso generando dos principales problemas que se presentan en estas soluciones; el *underfitting* y el *overfitting*.

2.2 Ecografías

2.2.1 ¿Qué es ecografía?

La ecografía es un examen médico no invasivo, seguro e indoloro que permite a los médicos especialistas, particularmente en obstetricia, evaluar y diagnosticar condiciones médicas. Este procedimiento utiliza un transductor y un gel aplicado directamente sobre la piel. Las ondas sonoras emitidas por el transductor viajan a través del gel hacia el interior del cuerpo, y el mismo transductor recoge las ondas que rebotan contra los órganos y tejidos. Un *software* especializado interpreta estas ondas reflejadas para crear una imagen ecográfica, permitiendo así visualizar la estructura y el movimiento de los órganos internos, así como la circulación de la sangre en los vasos sanguíneos. A diferencia de otros métodos de imagen, las ecografías no utilizan radiación ionizante (rayos X) y tienen la capacidad de capturar imágenes en tiempo real.

Oleaga Laura (2018) define la ecografía como una técnica de exploración que permite ver imágenes del interior del cuerpo por medio de ultrasonido, los cuales cuando inciden sobre los diferentes tejidos del cuerpo producen un eco que se traduce en imágenes.

2.2.2 Tipos de Ecografías

Los avances tecnológicos en el campo de la medicina han potenciado las capacidades de la ecografía, permitiendo su aplicación en diversas áreas del cuerpo con mayor precisión y efectividad.

Dra. María Victoria Bárcena Robredo (2021) sostiene que las ecografías se clasifican de en dos tipos: la ecografía en el embarazo (ecografía obstétrica) y la ecografía médica diagnóstica (ecografía no obstétrica).

Esta clasificación refleja cómo la ecografía se ha adaptado para satisfacer diversas necesidades diagnósticas, desde el seguimiento del desarrollo fetal hasta la identificación de afecciones en distintas partes del cuerpo.

2.2.2.1 Ecografías no obstétricas

Las ecografías no obstétricas se utilizan para visualizar y obtener información o resultados sobre diferentes partes internas del cuerpo, como el hígado, el corazón, la vejiga, riñones, vasos sanguíneos, úteros, ovarios, próstata, articulaciones, entre otros. Dentro de las ecografías no obstétricas podemos encontrar las siguiente:

- Ecografía abdominal y urológica
- Ecografía de mama
- Ecografía pélvica
- Ecografía transversal
- Ecografía 3D y 4D
- Ecografía muscular o tendinosa
- Ecografía cervical y tiroidea
- Transvaginal
- Ecografía Doppler
- Ecografía cutánea

2.2.2.2 Ecografía Obstétrica

Dra. María Victoria Bárcena Robredo (2021) sostiene que la ecografía obstétrica es una prueba de diagnóstico imprescindible, puesto que se enfoca en la visualización del embrión o del feto dentro del útero materno. Al utilizar ultrasonidos que no disponen de radiación, no es un método perjudicial para el proceso de formación del feto.

Ecografista de Clínica Las Condes (2019) sostiene que las ecografías obstétricas permiten evaluar el feto dentro de la cavidad uterina, permitiendo visualizar el crecimiento, desarrollo del feto en cada etapa del embarazo y permite que los padres puedan ver su evolución en el tiempo y así lograr un apego con su hijo desde el vientre materno.

2.2.3 Importancia de las ecografías obstétricas

Ministerio de salud pública y bienestar social, República de Paraguay (2014) afirma

A través de este estudio se puede evidenciar el crecimiento del bebé o detectar alguna anormalidad, explicó. Mediante este procedimiento se puede determinar asimismo el tiempo de embarazo, realizar cálculos de longitud y diámetro de la criatura. Además, detectar alteraciones durante la gestación; si el embarazo se desarrolla fuera del útero, o si existe algún desprendimiento que puede ocasionar un aborto, explicó la profesional médica.

Ecografista de Clínica Las Condes (2019) sostiene que la importancia de las ecografías obstétricas es evaluar el bienestar fetal en términos de crecimiento y desarrollo del feto, estableciendo posibles complicaciones o diagnosticar anormalidades que permita darle un seguimiento y tratamiento, tanto para la madre, como para el/la bebé.

2.3 Embarazo

El embarazo se puede definir como el tiempo que transcurre entre la fecundación de un óvulo por un espermatozoide (concepción) y el parto, durante este tiempo el óvulo que ya se encuentra

fecundado por el espermatozoide se va desarrollando en el útero durante los próximos 288 días o entre las 38 y 42 semanas.

Dra. García N. (2021), define el embarazo como el período que comprende entre la fecundación de un óvulo y el nacimiento del recién nacido.

2.3.1 Fases del embarazo

El proceso de gestación o embarazo se divide por trimestre, ya que cada uno de los trimestres tiene diferentes connotaciones.

2.3.1.1 Primer trimestre

Dr. García, N. (2021) define

Los 3 primeros meses o contando en semanas desde la concepción hasta la semana 13-14, es el que más riesgo tiene de pérdidas de embarazo, abortos espontáneos que son frecuentes en este trimestre pues son embarazos fruto de embriones con algún defecto cromosómico o anatómico que no le permite seguir desarrollándose con normalidad más allá de las primeras semanas. Es el periodo en el que se formarán todos los órganos fetales, que estarán completos al finalizar este trimestre. También asociamos esta franja del embarazo con la más incómoda para la gestante, pues es durante estas primeras etapas en las que se manifiestan las náuseas y vómitos del embarazo.

2.3.1.2 Segundo trimestre

Se considera segundo trimestre cuando el proceso de gestación se encuentra entre las semanas 15 al 27, durante el cual el proceso de feto va creciendo y ganando peso, así mismo el proceso de formación de sus órganos se va completando durante el tiempo del primer trimestre y la gestante

se va recuperando de la sintomatología inicial y aún no se presentan las molestias del fin de proceso de gestación.

2.3.1.3 Tercer trimestre

Se considera tercer trimestre cuando ya se han completado las 27 semanas de gestación, entonces, a partir de la semana 28 se considera como tercer trimestre, trimestre en la que el feto ya ha formado su cuerpo y sus órganos a su totalidad para que pueda sobrevivir a la vida exterior, así mismo dejará de alimentarse y respirar a través del cordón umbilical para hacer estas dos cosas con su cuerpo, también ha adquirido un peso considerable y el volumen del feto hace que la gestante presente molestias por el hecho de acarrear peso adicional a la que su cuerpo está acostumbrado.

2.3.2 Complicaciones durante el embarazo

Durante el tiempo de gestación de las mujeres embarazadas, la gestante y el feto se consideran en peligro, esto se debe a durante el proceso de formación del feto se puede presentar diferentes tiempos de complicaciones lo cual puede terminar tanto con la vida del feto como el de la madre.

Existen dos momentos durante el proceso de gestación con mayor riesgo, el primer trimestre el cual se contempla hasta las 12, máxima 15 semanas, donde existe mayor riesgo de aborto, embarazos ectópicos, enfermedades gestacionales del trofoblasto y es el período en que se forman los órganos, en los dos primeros meses y el tercer trimestre, donde el estrés prolongado y otras complicaciones de la salud de las gestantes pueden adelantar el parto, o influir en el inadecuado crecimiento y bienestar del bebé. Las complicaciones pueden variar, dependiente de las circunstancias o a causas de algunos factores como lo es problemas de salud existentes, edad de la gestante sobre todo en menores de edad y primer embarazo en gestantes mayores de 35 años, calidad de vida y condiciones del embarazo como lo es un embarazo múltiple, diabetes gestacional, preeclampsia, eclampsia y entre otros.

2.3.3 Causas de muertes mortinatos

Los mortinatos, también conocidos como natimortos, son fetos que fallecen en el útero materno antes del parto. Las causas de los mortinatos pueden incluir:

- Anomalías Congénitas Graves: Malformaciones fetales incompatibles con la vida.
- Problemas Placentarios: Desprendimiento prematuro de placenta, placenta previa o insuficiencia placentaria.
- Problemas del Cordón Umbilical: Nudos en el cordón umbilical o compresión del cordón que reduce el flujo de oxígeno y nutrientes al feto.
- Infecciones Maternas: Infecciones graves como la toxoplasmosis o la rubéola que pueden afectar al feto.
- Preeclampsia Severa: Una condición grave relacionada con la presión arterial alta durante el embarazo.
- Diabetes Gestacional no Controlada: Niveles elevados de azúcar en la sangre pueden afectar al feto.
- Embarazos Múltiples: Embarazos gemelares o múltiples tienen un mayor riesgo de complicaciones.
- Trauma Materno: Lesiones graves o traumatismos en la madre pueden afectar al feto.
- Restricción del Crecimiento Intrauterino (RCIU): La RCIU, que implica un crecimiento fetal deficiente, puede ser sospechada si el ultrasonido muestra que el feto está por debajo del percentil esperado en términos de tamaño y peso.
- Embarazo ectópico: Condición en la cual un óvulo fertilizado se implanta y comienza a crecer fuera del útero.

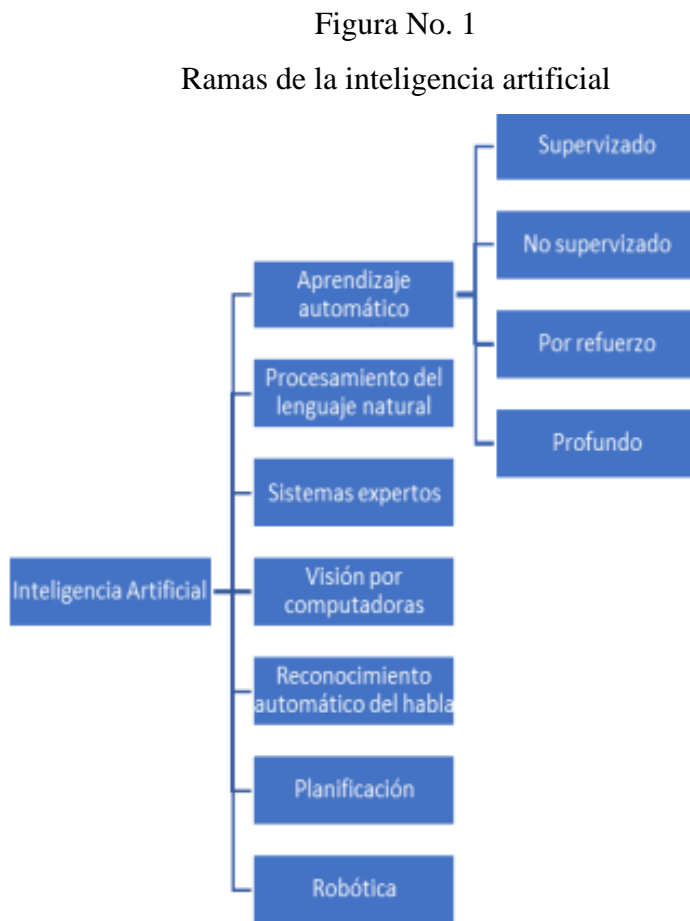
2.4 Inteligencia Artificial

“La Inteligencia Artificial es la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano” (Lasse Rouhiainen, 2018, p. 17)

La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina académica relacionada con la teoría de la computación cuyo objetivo es emular algunas de las facultades intelectuales humanas en sistemas artificiales (Benítez y otros, 2014, 11)

2.4.1 Ramas de la inteligencia artificial

“La inteligencia artificial no es un campo monolítico, sino que está dividido en varias ramas (Figura No. 1) tales como: el aprendizaje automático, el procesamiento del lenguaje natural, los sistemas expertos, la visión por computadoras, el reconocimiento automático del habla, la planificación y la robótica” (Vázquez et al., 2018).



Fuente: Inteligencia Artificial: retos, perspectivas y papel de la Neutrosofía, Vázquez et al., 2018

2.4.1.1 Procesamiento de Lenguaje Natural (PNL)

EL procesamiento del lenguaje natural (PLN) o *Natural Language Processing (NLP)* por sus siglas en inglés, se enfoca en el análisis de las comunicaciones de ser humano, es decir, transforma el lenguaje natural del ser humano en un lenguaje formal, como la programación, lenguaje que las computadoras puedan procesar.

2.4.1.2 Sistemas expertos

Sancho, S. (2018) sostiene que un Sistema Experto (SE) es un sistema que emplea conocimiento humano capturado y almacenado en un ordenador, permite resolver problemas que son resueltas por personas expertas.

2.4.1.3 Visión por computadoras

Microsoft (s.f.) sostiene que la visión por computadora (del inglés *Computer Vision*) es un área de investigación emocionante que estudia cómo hacer que las computadoras puedan percibir, procesar y comprender de manera eficiente datos visuales como imágenes y videos.

2.4.1.4 Reconocimiento automático del habla

El reconocimiento automático del habla (*RAH*) o reconocimiento automático de voz, dota a las computadoras de la capacidad de comunicación hablada con seres humanos. Tomando como entrada la señal acústica que se capta por un micrófono, decodificando el mensaje contenido en la onda acústica, fonética, fonológica, léxica y sintáctica para realizar las acciones determinadas.

2.4.1.5 Planificación

Planificación automática o *AP* (por sus siglas en inglés *Automated Planning*), se encarga de la elaboración de planes para resolución de problemas concretos en diferentes entornos, ejecutados por robots autónomos, agentes inteligentes o vehículos no tripulados.

2.4.1.6 Robótica

Es la ciencia que agrupa un conjunto disciplinas o ramas tecnológicas con el objetivo de crear y diseñar máquinas con la capacidad de simular el comportamiento humano o de otro ser vivo para realizar tareas de manera autónoma.

2.4.1.7 *Machine Learning* / Aprendizaje automático

“*Machine Learning* es la ciencia que hace que los ordenadores “aprendan” a partir de los datos. En vez de programar, paso a paso, cada solución especificada para cada necesidad planteada, tal y como se realiza en el enfoque de la programación convencional, el área de *Machine Learning* está dedicada al desarrollo de algoritmos genéricos que puedan extraer patrones de diferentes tipos de datos...” (Bobadilla J., 2020, p. 13)

2.4.1.7.1 Supervisado

El aprendizaje automático supervisado es un método de análisis de datos utiliza algoritmos para aprender de manera iterativa que le permita a las computadoras encontrar información oculta sin definir de manera específica en donde realizar la búsqueda.

El aprendizaje supervisado necesita conjuntos de características etiquetadas y determinada comprensión de como clasificar datos para entrenar un algoritmo que permita encontrar patrones en los datos asignados. Dependiendo del tipo de etiqueta, dentro del aprendizaje automático supervisado existen dos tipos de modelos, por regresión y por clasificación.

- Regresión

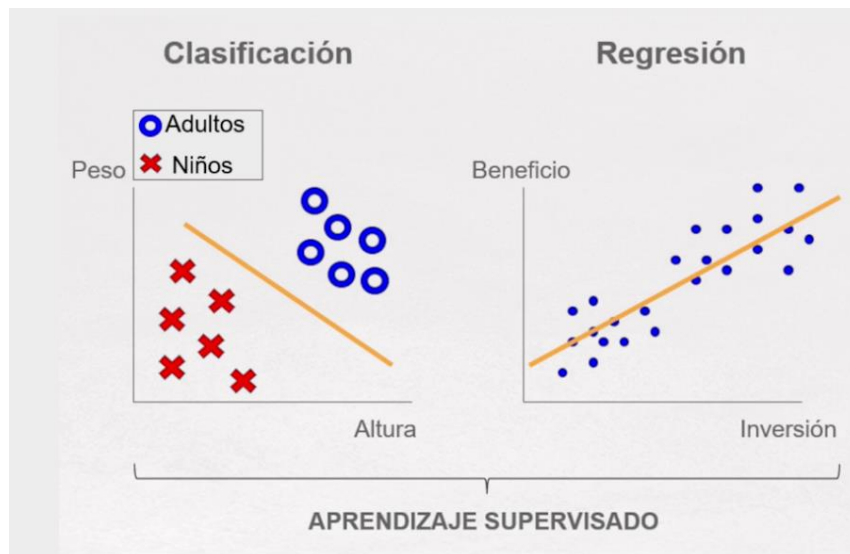
El método de regresión permite entrenar a un algoritmo para predecir salidas utilizando rangos continuos de valores posibles. El algoritmo requiere identificar una relación funcional entre los requerimientos de entrada y salida. El valor de la salida a diferencia de la clasificación no es discreto.

- Clasificación

El método de clasificación permite entrenar un algoritmo para clasificar datos de entradas en variables discretas, produciendo como salida una etiqueta discreta o una etiqueta dentro de un grupo finito de etiquetas posibles. En el proceso de entrenamiento, el algoritmo recibe datos de entrada con una etiqueta de clasificación. El modelo de clasificación puede ser binario si se requiere predecir dos etiquetas o clases (imagen capturada de manera correcta no capturado de manera correcta) o multiclase si se requiere clasificar más de dos etiquetas o clases (analizar diferentes sentimientos, clasificar imágenes de animales u objetos).

Figura No. 2

Técnicas de *Machine Learning*



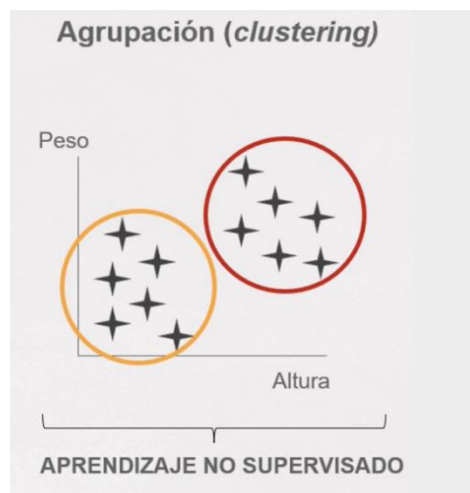
Fuente: (*OpenWebinars*, 2019)

2.4.1.7.2 No supervisado

“El conjunto de datos no se encuentra etiquetado y no se tiene un resultado conocido. Por ello deben deducir las estructuras presentes en los datos de entrada, lo puede conseguir a través de un proceso matemático para reducir la redundancia sistemáticamente u organizando los datos por similitud.” (Claudia Russo y otros, 2016, p. 2).

Figura No. 3

Técnicas de *Machine Learning*



Fuente: (*OpenWebinars*, 2019)

2.4.1.7.3 Aprendizaje semi-supervisado

Claudia Russo y otros, (2016) afirma

El aprendizaje semi-supervisado es la combinan tanto de datos etiquetados como de no etiquetados, para generar una función deseada o clasificador. Este tipo de modelo requiere aprender las estructuras para organizar la información y así como también para realizar predicciones. (p. 132)

2.4.1.7.4 Aprendizaje por refuerzo

El aprendizaje por refuerzo o (*Reinforcement Learning* por sus siglas en inglés), permite a una inteligencia artificial planear estrategias según su experiencia propia con los datos. En base a esa experiencia interacciona con su entorno para aprender hasta dar con un comportamiento ideal. Aunque este tipo de algoritmo aprenden solos, no dispone de una etiqueta de salida por lo que no es de tipo supervisado o no supervisado, intentando clasificar grupos tomando en cuenta alguna distancia que pueda existir entre las muestras.

2.4.2 Fases del Machine Learning

En el proceso de entrenamiento de una modelo de *Machine Learning*, se requiere dividir el total de los datos a procesar en dos partes, el 70% de los datos para la fase de entrenamiento y el 30% restante de datos para la fase de prueba, pero es posible variar la proporción según sea el caso, tomando en cuenta evitar el sobre ajuste, lo cual es sobre entrenar el modelo ocasionando la pérdida de su poder predictivo.

2.4.2.1 Entrenamiento

Amazon (s.f.) afirma

El proceso de entrenamiento de un modelo de ML consiste en proporcionar datos de entrenamiento de los cuales aprender a un algoritmo de ML (es decir, el algoritmo de aprendizaje). El término modelo de ML se refiere al artefacto de modelo que se crea en el proceso de entrenamiento. Los datos de entrenamiento deben contener la respuesta correcta, que se conoce como destino o atributo de destino. El algoritmo de aprendizaje encuentra patrones en los datos de entrenamiento que asignan los atributos de los datos

de entrada al destino (la respuesta que desea predecir) y genera un modelo de ML que captura dichos patrones.

Es un conjunto de datos utilizado para entrenar el modelo de *Machine Learning*, lo que permite ajustarlo. En este conjunto, se define que el 70% de los datos recolectados se utilizan para la fase de entrenamiento, la cual es fundamental para que el modelo aprenda a realizar tareas basadas en los datos de entrada proporcionados.

2.4.2.2 Prueba

Parte fundamental del entrenamiento del modelo, en el cual se asigna el 30% restante de los datos recolectados para el entrenamiento del modelo de *Machine Learning*. Durante el proceso de entrenamiento del modelo, el *Machine Learning* aprende con los datos asignados para el entrenamiento y cada que se cumple un ciclo (completar el ciclo de evaluación de las imágenes) el *Machine Learning* accede a los datos de prueba que son imágenes que el modelo nunca ha visto, para evaluar el porcentaje de aprendizaje del modelo.

2.4.3 Herramientas para el procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes ecográficas se enfoca en la mejora y análisis de imágenes médicas obtenidas a través de ecografías. Estas imágenes son ampliamente utilizadas en medicina para diagnóstico y seguimiento de condiciones médicas, a continuación, se detalla algunas herramientas específicas para el procesamiento de imágenes ecográficas:

- *SonoSoft*: Es un *software* de procesamiento de imágenes ecográficas diseñado específicamente para ecografías médicas. Ofrece funciones de mejora de imágenes y análisis especializado.
- *DICOM Viewer*: Los visores *DICOM*, como *OsiriX*, *RadiAnt*, o *Horos*, permiten visualizar y procesar imágenes médicas en el formato *DICOM*, que es el estándar utilizado en ecografías y otras modalidades médicas.

- *GE Healthcare EchoPAC*: Es una herramienta de procesamiento de imágenes ecográficas desarrollada por *GE Healthcare*. Está diseñada para el análisis y mejora de imágenes ecográficas cardiacas.
- *Philips QLAB*: Es una plataforma de análisis y procesamiento de imágenes ecográficas desarrollada por *Philips*. Está enfocada en aplicaciones de ecocardiografía.
- *Esaote MyLab Desk*: Es un de procesamiento de imágenes ecográficas desarrollado por *Esaote*. Ofrece herramientas avanzadas para el análisis y mejora de imágenes ecográficas.
- *ImageJ y plugins* específicos: Es una herramienta que permite agregar *plugins* específicos para el procesamiento de imágenes ecográficas. Algunos ejemplos incluyen *Fiji* con *plugins* para ecografías, como el plugin "*BoneJ*" para análisis de imágenes óseas.
- *Python* y bibliotecas especializadas: Permite programar soluciones propias en base a las necesidades, permite utilizar *Python* junto con bibliotecas como *PyDICOM* para trabajar con imágenes *DICOM* y *OpenCV* para el procesamiento de imágenes en general. También permite desarrollar algoritmos personalizados para el análisis de características específicas en imágenes ecográficas.
- *MATLAB*: Es ampliamente utilizado en el procesamiento de imágenes médicas, y existen herramientas y funciones específicas para el procesamiento de imágenes ecográficas.

Teniendo en panorama de las diferentes herramientas útiles para el procesamiento de imágenes, a continuación, se expondrán definiciones más específicas de las herramientas que se requiere para el procesamiento de las imágenes ecográficas, dichas herramientas se adaptan perfectamente para esta investigación la cual requiere programar una solución y un algoritmo propio para analizar características específicas de las ecografías de primer trimestre.

2.4.3.1 *Python*

Pérez I. (2014) define *Python* como “un lenguaje de alto nivel ya que contiene implícitas algunas estructuras de datos como listas, diccionarios, conjuntos y tuplas, que permiten realizar algunas tareas complejas en pocas líneas de código y de manera legible”.

Python es uno de los lenguajes de programación más populares y ampliamente utilizados en el campo del entrenamiento de Inteligencia Artificial (IA) debido a la gran variedad de bibliotecas y marcos de trabajo especializados. A continuación, se detalla una lista de razones por la cual *Python* es una buena elección para el desarrollo y entrenamiento de modelos de IA:

- **Librerías de IA:** *Python* cuenta con una serie de bibliotecas y marcos de trabajo diseñados específicamente para el desarrollo de IA. Algunas de las más destacadas incluyen: *TensorFlow*, *PyTorch*, *Scikit-learn*, *Keras* y entre otros.
- **Amplia Comunidad:** *Python* tiene una comunidad activa de desarrolladores e investigadores en IA, lo que significa que hay una gran cantidad de recursos, tutoriales, foros y bibliotecas de código abierto disponibles para ayudar en el proceso de desarrollo de IA.
- **Facilidad de Uso:** *Python* se elige frecuentemente por su sintaxis legible y su facilidad de aprendizaje, lo que hace que el desarrollo y la experimentación con algoritmos de IA sean más accesibles para una amplia audiencia, desde principiantes hasta expertos.
- **Entorno de Desarrollo Integrado (IDE):** Existen varios *IDEs* como *Jupyter Notebook*, *Spyder* y *PyCharm* que facilitan el desarrollo, la depuración y la visualización de resultados en proyectos de IA.
- **Acceso a Datos:** *Python* también es una elección popular para la manipulación y procesamiento de datos, lo que es crucial en el campo de la IA. Bibliotecas como *NumPy*, *Pandas* y *Matplotlib* facilitan la carga, manipulación y visualización de datos.

En resumen, *Python* es una opción poderosa y versátil para el desarrollo y entrenamiento de modelos de *Machine Learning* debido a su ecosistema robusto, su facilidad de uso y su comunidad activa.

2.4.3.2 *Flask*

Flask es un "*microframework*" escrito en *Python* diseñado para simplificar y agilizar la creación de aplicaciones web siguiendo el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC). Esta herramienta actúa como un facilitador que permite desarrollar aplicaciones web de manera eficiente y rápida.

En otras palabras, *Flask* es un acelerador de tareas que requiere solo unas pocas líneas de código para poner en funcionamiento aplicaciones web de manera efectiva. Al instalar *Flask*, obtienes instantáneamente todas las herramientas necesarias para crear una amplia variedad de aplicaciones web de forma rápida y sencilla.

2.4.3.3 *Tensorflow*

TensorFlow es una biblioteca de *software* de código abierto de alto rendimiento, su arquitectura que es flexible permite adaptarlo fácilmente en computadoras y en una variedad de plataformas (CPU, GPU, TPU) y desde equipos de escritorio hasta clústeres de servidores y dispositivos móviles y perimetrales. Para el desarrollo de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, *TensorFlow* juega un papel muy importante, Fue desarrollado por *Google* para satisfacer las necesidades a partir de redes neuronales artificiales. *TensorFlow* permite construir y entrenar modelos de inteligenciar artificial o redes neuronales para detectar patrones y razonamientos usados por los humanos. En términos simples, es una herramienta que ayuda a las computadoras a aprender y tomar decisiones a partir de datos.

2.4.3.4 *Keras*

Keras es una biblioteca de alto nivel que funciona a nivel de modelo para el desarrollo de redes neuronales y modelos de aprendizaje profundo: proporciona bloques modulares sobre los que se pueden desarrollar modelos complejos de aprendizaje profundo. A diferencia de los *frameworks*, este *software* de código abierto no se utiliza para operaciones sencillas de bajo nivel, sino que utiliza las bibliotecas de los *frameworks* de aprendizaje automático vinculadas, que en cierto modo actúan como un motor de *backend* para *Keras*. Las capas de la red neuronal que se quieren configurar se relacionan entre sí de acuerdo con el principio modular, sin que el usuario de *Keras* tenga que comprender o controlar directamente el propio *backend* del *framework*. También proporciona una interfaz simple y consistente que facilita la creación, entrenamiento y evaluación de modelos de manera eficiente. *Keras* se centra en la usabilidad y la rapidez de prototipado, lo que la hace popular entre los investigadores y desarrolladores de aprendizaje profundo.

Keras al igual que *TensorFlow*, es una biblioteca de aprendizaje profundo que a menudo se utilizan juntas. *Keras* puede funcionar como una interfaz de alto nivel que se ejecuta en la parte superior de *TensorFlow*. Esto significa que *Keras* aprovecha la potencia de cálculo y las capacidades de optimización de *TensorFlow* mientras proporciona una API más sencilla y amigable para construir y entrenar modelos

2.5 *Machine Learning* supervisado en la evaluación de imágenes obstétricas

2.5.1 Proceso de entrenamiento de un modelo

El proceso de entrenamiento de un modelo de *Machine Learning* supervisado por clasificación implica varios pasos clave:

- **Recopilación de Datos:** Este es el primer paso donde se recopilan grandes cantidades de datos que son relevantes para la tarea en cuestión. Los datos pueden ser de diferentes tipos, como textos, imágenes, registros de sonido, etc.
- **Preprocesamiento de Datos:** Una vez recopilados, los datos suelen requerir limpieza y organización. Esto puede incluir la eliminación de datos irrelevantes o duplicados, el manejo de valores faltantes, la normalización de datos, y la conversión de datos no numéricos en formatos numéricos.
- **Selección del Modelo:** En esta etapa, se elige el algoritmo de *Machine Learning* que se utilizará. Hay varios algoritmos disponibles para la clasificación, como árboles de decisión, redes neuronales, máquinas de vectores de soporte (SVM), etc. La elección depende de varios factores, incluyendo la naturaleza de los datos y el problema específico a resolver.
- **Entrenamiento del Modelo:** Durante el entrenamiento, el modelo aprende a clasificar los datos. Se utiliza un conjunto de datos etiquetados (donde cada ejemplo tiene una etiqueta o clase asignada) para enseñar al modelo cómo realizar predicciones. El modelo ajusta sus parámetros internos para poder hacer estas predicciones de manera precisa.

- Validación del Modelo: Después del entrenamiento, el modelo se prueba con un conjunto de datos de validación que no se ha utilizado durante el entrenamiento. Esto ayuda a evaluar qué tan bien el modelo generalizará a nuevos datos.
- Despliegue: Una vez que el modelo ha sido entrenado y validado, puede ser desplegado en un entorno de producción para realizar clasificaciones en datos reales.

Cada uno de estos pasos es crucial para asegurar que el modelo de *Machine Learning* funcione de manera efectiva y precisa.

2.5.2 Importancia

La relevancia del aprendizaje automático supervisado en la evaluación de imágenes ecográficas es fundamental. A través del proceso de entrenamiento de un modelo, podemos habilitarlo para realizar tareas que normalmente requieren la experiencia humana, como la identificación de imágenes obstétricas. Esto significa que, al enseñar al modelo a reconocer estos patrones, estamos capacitándolo para desempeñar tareas de diagnóstico similares a las de un especialista en obstetricia.

La ventaja clave del aprendizaje automático supervisado radica en su capacidad para mejorar con el tiempo. A medida que alimentamos al modelo con más datos de entrada y supervisión, su precisión y capacidad para identificar imágenes obstétricas continúa mejorando. Esto es especialmente valioso, ya que puede superar las limitaciones de los especialistas humanos y lograr un nivel de precisión que puede ser difícil de alcanzar de manera manual.

2.5.3 Ventajas y desventajas

2.5.3.1 Ventajas

- Disponibilidad en línea para Todos: Una ventaja clave de utilizar el aprendizaje automático para evaluar imágenes obstétricas es que estas herramientas pueden ser alojadas en línea, lo que permite que cualquier persona que necesite acceder a este

recurso pueda hacerlo fácilmente. Esto proporciona un acceso amplio y conveniente a la herramienta.

- **Precisión Mejorada:** Cuando se entrena correctamente, un modelo de aprendizaje automático supervisado puede superar la precisión humana en la identificación de patrones en imágenes ecográficas. Esto puede llevar a diagnósticos más precisos y tempranos.
- **Servicios Gratuitos:** Algunas implementaciones de herramientas de aprendizaje automático pueden ofrecer servicios gratuitos para los usuarios, lo que hace que la evaluación de imágenes obstétricas sea más accesible y asequible para quienes la necesitan.
- **Disponibilidad 24/7:** Los modelos pueden estar disponibles para su uso las 24 horas del día, los 7 días de la semana, lo que puede ser beneficioso en entornos de atención médica de emergencia.
- **Capacidad de Aprendizaje Continuo:** Los modelos pueden seguir mejorando con el tiempo a medida que se les proporcionan más datos de entrenamiento, lo que puede llevar a una mejora constante en la precisión.
- **Eficiencia:** Los modelos de aprendizaje automático pueden procesar grandes cantidades de imágenes en poco tiempo, lo que puede aumentar la eficiencia en la evaluación de pacientes y reducir la carga de trabajo de los profesionales de la salud.

2.5.3.2 Desventajas

- **Requiere una Gran Cantidad de Imágenes para Entrenar:** Una desventaja importante es que, para entrenar un modelo de aprendizaje automático efectivo, se necesita una gran cantidad de imágenes etiquetadas, lo que puede ser costoso y difícil de obtener.
- **Costo Elevado para Adquirir Imágenes:** La adquisición de un conjunto de datos de imágenes obstétricas de calidad puede ser costosa, lo que puede representar un obstáculo financiero para algunos proyectos.
- **Costo de Alojamiento en Servidores:** Alojarse el sistema de aprendizaje automático en servidores para su disponibilidad en línea conlleva costos adicionales, que pueden aumentar con el tiempo a medida que el sistema se utiliza más.

- Necesidad de Validación y Supervisión Humana: Los resultados del modelo deben ser validados y supervisados por profesionales de la salud para evitar diagnósticos incorrectos o peligrosos.
- Requiere Conexión a Internet: Para acceder a la herramienta en línea, los usuarios necesitarán una conexión a Internet, lo que puede ser una limitación en áreas con acceso limitado a la web.
- Costos Iniciales y de Mantenimiento: La implementación y el mantenimiento de sistemas de aprendizaje automático pueden ser costosos en términos de *hardware*, *software* y recursos humanos.

2.6 Glosario

- IA (Inteligencia Artificial): Campo de la informática que se enfoca en desarrollar sistemas y programas capaces de realizar tareas que requieren inteligencia humana, como el aprendizaje automático y la toma de decisiones.
- Ondas Sonoras: Vibraciones de sonido que se propagan a través de un medio, como el aire o el agua, y son responsables de la audición en humanos y animales.
- *Front-end*: La parte de un sistema o aplicación informática que interactúa directamente con el usuario, incluyendo la interfaz de usuario y la experiencia de usuario.
- *CRL (Crown-Rump Length* o Longitud Cráneo-Rabadilla): Es una medida que se toma en una ecografía prenatal para estimar la edad gestacional y el tamaño del feto. Es la distancia en milímetros entre la coronilla (cabeza) y la rabadilla del feto.
- Saco Gestacional: Una estructura que rodea y protege al embrión o feto en desarrollo en el útero de una mujer durante el embarazo.
- DBP (Diámetro Biparietal): Una medida médica utilizada para estimar el tamaño de la cabeza de un feto durante el embarazo.
- CC (Circunferencia Cefálica): Una medida médica que se utiliza para evaluar el crecimiento y desarrollo de la cabeza de un feto o bebé.
- CA (Circunferencia Abdominal): Una medida médica que se utiliza para evaluar el tamaño del abdomen de un feto o bebé durante el embarazo.

- LF (Longitud Fémur): Una medida médica que se utiliza para evaluar la longitud del fémur de un feto o bebé durante el embarazo.
- Placenta: Un órgano temporal que se forma durante el embarazo y que proporciona nutrientes y oxígeno al feto, además de eliminar los productos de desecho.
- Líquido Amniótico: El líquido claro y acuoso que rodea y protege al feto en desarrollo en el útero materno.
- Modelado: El proceso de crear representaciones matemáticas o computacionales de objetos, sistemas o fenómenos del mundo real con el fin de comprenderlos o predecir su comportamiento.
- Alojamiento: Se refiere al servicio de proporcionar espacio en servidores de Internet para almacenar y publicar sitios web, aplicaciones web o contenido en línea.
- Supervisado: En el aprendizaje automático, se refiere a un tipo de entrenamiento en el que un modelo se entrena utilizando ejemplos etiquetados, lo que permite al modelo aprender a hacer predicciones basadas en datos de entrada y etiquetas conocidas.

2.7 Cronograma de actividades

2.7.1 Desarrollo de Aplicación

Tabla No. 1
Diagrama de Gantt de actividades

ACTIVIDADES	Meses	8				9				10			
	Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Reconlección de imágenes obstétricas		■											
Clasificación de imágenes obstétricas de primer trimestre			■	■									
Preparación de entono para modelado de Machine Learning				■									
Entrenamiento de modelado de Machine Learning					■	■	■	■					
Realización de pruebas de modelado de Machine Learning								■					
Implementación de página web									■				
Cargar modelo de Machile Learning a página web										■			
Realización de pruebas de evaluación de imágenes en página web											■		
Entrega de proyecto													■

Fuente: elaboración propia.

Capítulo III

Marco Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

Debido al objetivo de esta investigación, se ha seleccionado una metodología descriptiva. La recopilación de datos se llevará a cabo mediante enfoque cuantitativo, utilizando dos cuestionarios. El primer cuestionario se administrará previamente a la implementación del proyecto, mientras que el segundo se aplicará después de la implementación. Ambos cuestionarios proporcionarán datos cuantitativos que serán analizados y representados gráficamente.

3.2 Sujetos de Investigación

Los sujetos para esta investigación constan de obstetras y enfermeros profesionales de primer nivel de atención que forman parte del proyecto de realización de ecografías en el municipio de Barillas, Huehuetenango.

3.3 Procedimiento

3.3.1 Enfoque cuantitativo

El procedimiento aplicado en esta investigación se realizó de la siguiente manera:

- Selección de los participantes de la encuesta utilizando un método de muestreo no probabilístico por conveniencia.
- Se determina la herramienta para realizar las encuestas y tabulaciones de resultados.
- Se realiza las encuestas a través de *Google Forms*
- Se realiza análisis de resultados obtenidos

- Se determina la metodología de trabajo para crear el modelo y la página web en base a los resultados de las encuestas previas.

3.4 Universo / Población

3.4.1 Tipo de población

Arias, J., Villasís-Keever, M., Miranda, M. (2016) afirman

La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados. Es necesario aclarar que cuando se habla de población de estudio, el término no se refiere exclusivamente a seres humanos, sino que también puede corresponder a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc.; para estos últimos, podría ser más adecuado utilizar un término análogo, como universo de estudio. (p. 202)

Se realiza la investigación con una población finita, la cual está conformadas por enfermeros profesionales de primer nivel de atención y obstetras que realizan ecografías y evaluaciones dentro del municipio de Barillas, Huehuetenango., siendo la población la muestra total.

3.4.2 Población

La población se conforma de 26 enfermeros y 5 médicos obstetras que realizan ecografías dentro del municipio de Barillas, Huehuetenango.

3.5 Muestra

“Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación con el fin posterior de generalizar los hallazgos al todo...” (Pineda, Alvarado y Hernández, 1994, p. 108).

Debido al número de muestreo y población se implementa el muestreo no probabilístico “Muestreo por conveniencia”, en el cual se selecciona específicamente a los sujetos según la característica necesarios para la muestra y a la facilidad de acceso y disponibilidad de las personas que forman parte de la muestra.

3.6 Plan de recolección de datos

3.6.1 Técnica de la encuesta

Para el enfoque cuantitativo se utiliza la técnica de la encuesta para la recolección de datos, realizada al total de muestra que por la población finita es la población por el número específico de sujetos.

3.6.1.1 Instrumento cuestionario

Se utiliza la encuesta como herramienta para la técnica de la entrevista, la cual permite cuantificar y graficar los datos recolectado y evaluar los datos estadísticos.

3.7 Validez y confiabilidad

Parte de los requerimientos solicitados por los involucrados en la realización de ecografías obstétricas, el rango de validez y confiabilidad aceptable es un mínimo del 90%

3.8 Metodología de desarrollo del Aplicativo

Debido a la naturaleza de esta investigación, la metodología implementada para el desarrollo del proyecto es la metodología ágil scrum, dadas las condiciones de entregas *Sprint* semanales de avances, por las revisiones correspondientes y ajustar el trabajo en función a la retroalimentación brindada, y las condiciones de mejora y evolución continua del modelo de *Machine Learning*. Se ha utilizado la plataforma *Azure DevOps* para la implementación de nuestra metodología ágil Scrum, lo que facilita la gestión de *Sprint*, la integración y entrega continuas, y el seguimiento de tareas.

3.8.1 Descripción del requerimiento del producto

Como requerimientos del producto de esta investigación, es la creación de un modelo de *Machine Learning* supervisado para evaluar ecografías obstétricas de primer trimestre e identificar imágenes que son capturadas de manera correcta e incorrecta, dicho modelo debe estar alojado en una página web sencilla e intuitiva. Así mismo en este apartado se definen los requerimientos funcionales y no funcionales que se espera que el producto provea.

3.8.1.1 Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales son declaraciones que especifican las funcionalidades o tareas que el sistema debe llevar a cabo. Estos requerimientos deben ser específicos, medibles, alcanzables y relevantes. A continuación, se detallan los requerimientos funcionales para estos productos:

- El producto debe permitir cargar imágenes obstétricas
- La página web debe permitir visualizar la imagen cargada
- El producto debe identificar cuáles son las imágenes obstétricas de primer trimestre que son tomadas correctamente
- Identificar si una imagen obstétrica de primer trimestre es incorrecta
- La página web podrá funcionar en una *Tablet*
- Permitir evaluar imágenes con diferentes tamaños
- Tomar imagen correcta si dispone de resumen de las medidas tomadas

- Tomar como correcto una imagen si la medida del CRL es tomada desde el céfalo-caudal
- Tomar como correcto una imagen si se ha medido el feto
- Tomar como captura incorrecta si se mide el saco gestacional
- Tomar como captura incorrecta si no se visualiza el feto, saco gestacional

3.8.1.2 Requerimientos no Funcionales

Los requisitos no funcionales definen las limitaciones o restricciones del producto desarrollado, dichos requerimientos no presentan ningún impacto en las funcionalidades del producto. Los requerimientos funcionales para estos productos son los siguientes:

- El producto debe contar una página web (interfaz de usuario)
- La página web debe tener alojado el modelo de *Machine Learning*.
- El producto debe disponer de un mínimo de 90% de precisión
- Es necesario contar con internet y acceder desde una computadora o Tablet
- La página web no debe almacenar las imágenes cargadas.
- El modelo de *Machine Learning* debe ser adaptativo para otros proyectos similares.

3.8.2 Equipo de trabajo y roles

La metodología ágil scrum es un enfoque iterativo e incremental que ayuda a los equipos a trabajar de manera colaborativa y eficiente. Scrum se centra en la entrega rápida y frecuente de productos de trabajo, priorizando la flexibilidad y la respuesta rápida a los cambios.

A lo que se requiere de la conformación del equipo de trabajo, este es conformado por únicamente una persona, el cual su rol se enfoca en los siguientes:

- *Product Owner/Manager*: Definir los objetivos del proyecto y las características del producto, priorizar tareas y mantener el backlog del proyecto.

- Desarrollador de *Software/Web*: Diseñar y desarrollar la página web, integrar el modelo de *Machine Learning* en la aplicación web.
- Científico de Datos/Ingeniero de *Machine Learning*: Desarrollar y entrenar el modelo de *Machine Learning* para la evaluación de imágenes obstétricas, procesar y preparar los datos para el entrenamiento y validación del modelo.
- Diseñador *UX/UI*: Diseñar una interfaz de usuario intuitiva y atractiva para la página web
- Ingeniero de Pruebas/*QA*: Realizar pruebas para asegurar que tanto la página web como el modelo de *Machine Learning* funcionen correctamente y asegurarse de que el producto sea robusto y libre de errores.
- Administrador de Sistemas/*DevOps*: Configurar y gestionar la infraestructura necesaria para el desarrollo y despliegue del proyecto, asegurar la disponibilidad y el rendimiento óptimo de la aplicación web.
- Especialista en Seguridad y Cumplimiento: Asegurarse de que el proyecto cumpla con las normativas de privacidad de datos y seguridad.
- *Scrum Máster/Agile Coach* (Autogestionado): Gestionar el proceso de desarrollo siguiendo los principios ágiles, autogestionar las tareas y el progreso del proyecto.

Y parcialmente se ha obtenido el apoyo de un especialista en obstetricia en la fase de clasificación de imágenes correctas e incorrectas previos al entrenamiento del modelo como:

- Experto en Dominio: En el contexto de un proyecto de desarrollo de software, y más específicamente en el campo del *Machine Learning*, es una persona que posee un conocimiento profundo y especializado en el área temática específica alrededor de la cual se está desarrollando el proyecto, es cual es evaluar imágenes obstétricas.

3.8.3 Metodología ágil Scrum

Scrum es una metodología ágil que se basa en ciclos de trabajo llamados "*sprints*" y se compone de varias fases que se repiten en cada iteración. El proceso se repite en ciclos sucesivos con el objetivo de entregar incrementos de producto funcionales en cada *sprint* y adaptarse continuamente a las necesidades del negocio y la retroalimentación del usuario.

Preparación del Proyecto (*Project Pre-Game*):

- Semana 1: Recolección de imágenes obstétricas para entrenar el modelo de *Machine Learning*. Esta etapa incluye la definición de objetivos y alcance del proyecto.

Sprint Planning (Planificación del *Sprint*):

- Semanas 2 y 3: Planificación de *sprints* para clasificar imágenes obstétricas y preparar el equipo de cómputo. Reuniones con el obstetra para clasificar imágenes correctas e incorrectas y la instalación de herramientas necesarias para entrenar el modelo de *Machine Learning*.

Sprint (Iteraciones de Trabajo):

- Semanas 4 a 7: *Sprints* enfocados en entrenar el modelo de *Machine Learning*. Durante estos *sprints*, se realizaron ajustes y mejoras al código para incrementar la precisión del modelo.
- Semana 8: *Sprint* dedicado a realizar pruebas del funcionamiento del modelo de *Machine Learning*.
- Semana 9: Desarrollo e implementación de la página web en la cual se implementará el modelo.
- Semana 10: Integración del modelo de *Machine Learning* y la conexión con la API para la comunicación entre la plataforma web y el modelo alojado en *Google Cloud*.
- Semana 11: Pruebas del funcionamiento de la página web y evaluación de imágenes obstétricas con personal de salud en campo.

Daily Scrum (Reunión Diaria):

- Durante cada semana, reuniones diarias para sincronizar el progreso y abordar posibles impedimentos.

Sprint Review (Revisión del *Sprint*):

- Al final de cada *Sprint*, presentación de avances a la asesora, recibiendo retroalimentación para ajustar el *Product Backlog* y el enfoque de los próximos *sprints*.

Sprint Retrospective (Retrospectiva del *Sprint*):

- Reuniones al final de cada Sprint para discutir mejoras en el proceso y en el trabajo en equipo.

Grooming del Backlog (Refinamiento del *Backlog*):

- Durante las fases de planificación y revisión, ajuste continuo del *Product Backlog* basado en la retroalimentación y en los resultados de las pruebas.

Cierre del Proyecto (*Project Post-Game*):

- Semana 12: Entrega formal del proyecto a los interesados y documentación final del proyecto.

3.8.4 Producto

El producto final es un modelo de *Machine Learning* supervisado por clasificación entrenado con el objetivo de evaluar imágenes obstétricas implementado en una página web para identificar las ecografías capturadas de manera correcta e incorrecta. Cuenta con una interfaz sencilla e intuitiva.

Figura No. 4

Pantalla principal de aplicación web

Página evaluadora de ecografías obstétricas

Subir una ecografía obstétrica de primer trimestre:

Seleccionar archivo imagen_2...5850.png



Ecografía obstétrica realizado: Correcto

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV

Resultados de la investigación

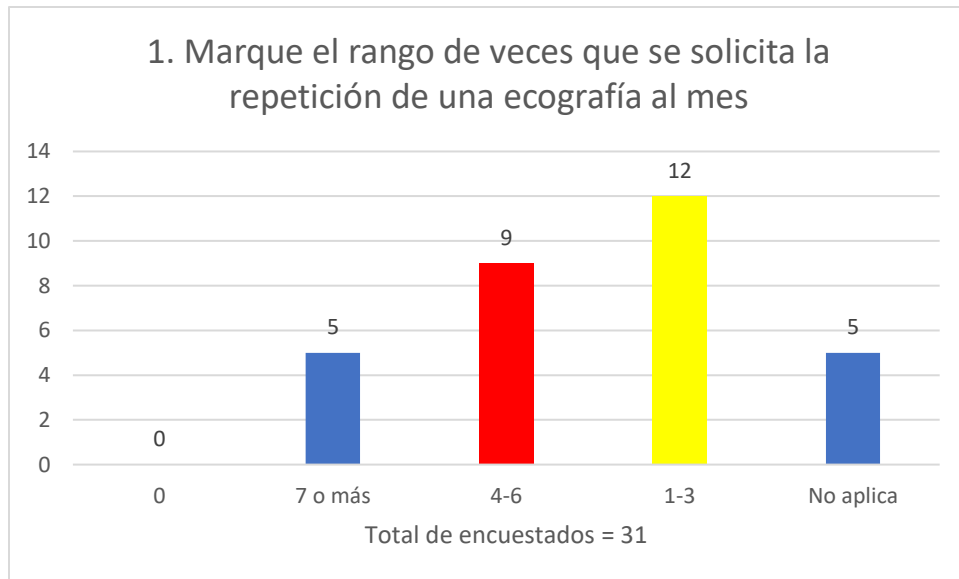
4.1 Presentación de resultados

Los resultados presentados a continuación representan el cien por ciento de las encuestas realizadas a la muestra, equivalente al total de la población. La encuesta consta de dos partes, la primera parte realizada previo a la implementación del proyecto y la segunda parte posterior a la implementación del proyecto, siendo 10 preguntas para la encuesta previo a la implementación y 6 preguntas posterior a la implementación.

4.1.1 Encuesta previo a implementación

Gráfica No: 1

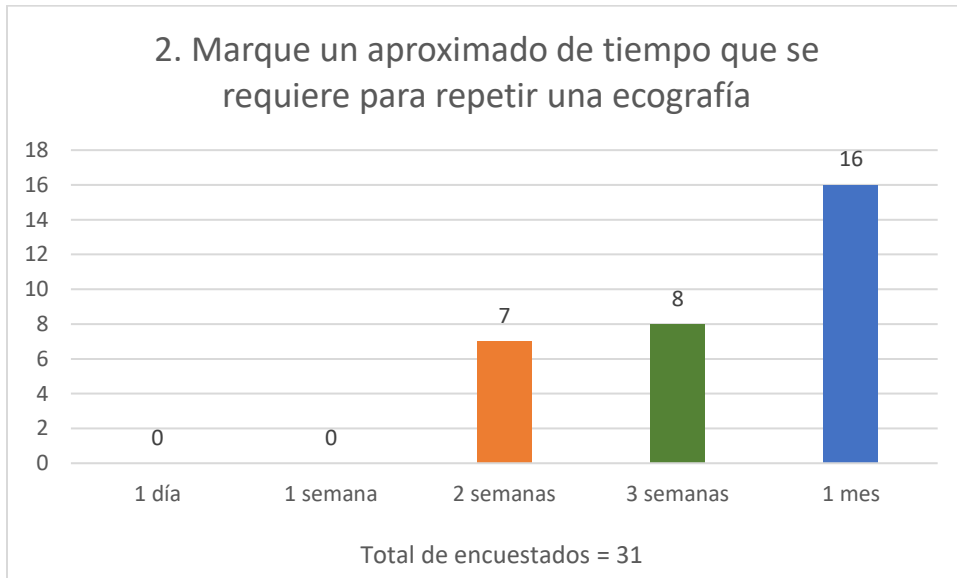
Número de solicitudes de repetición de ecografías



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 2

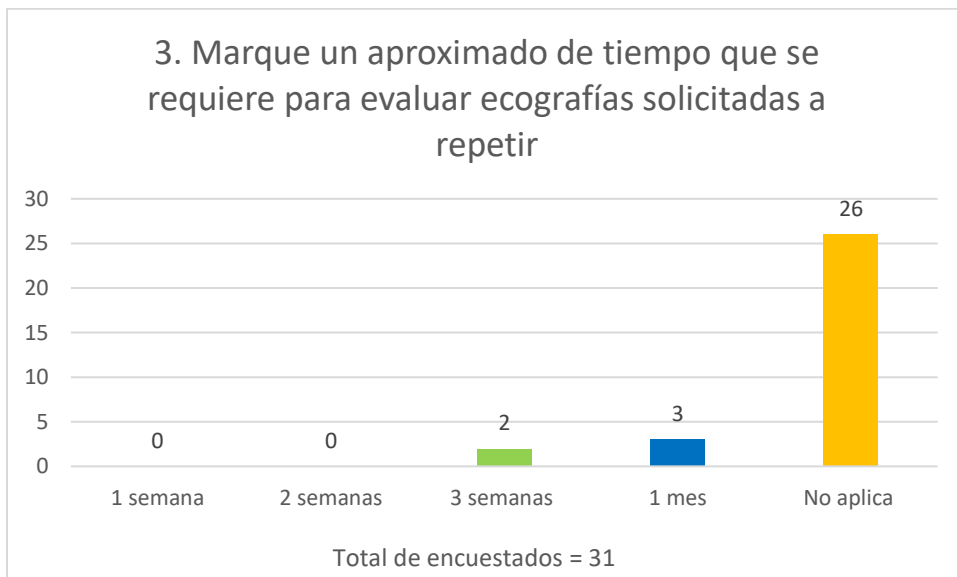
Tiempo requerido para repetir ecografías



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 3

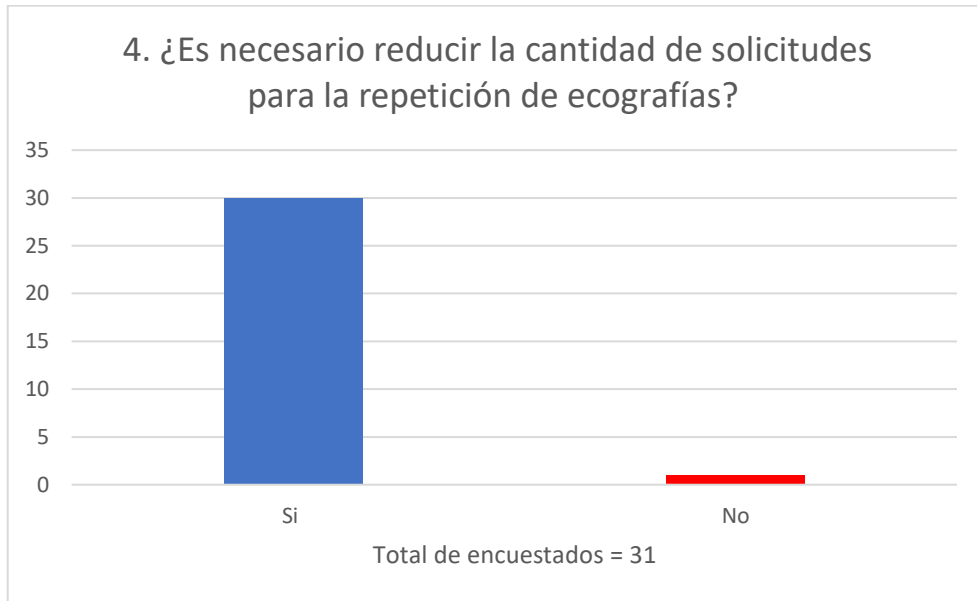
Tiempo requerido para solicitar repetición de ecografías



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 4

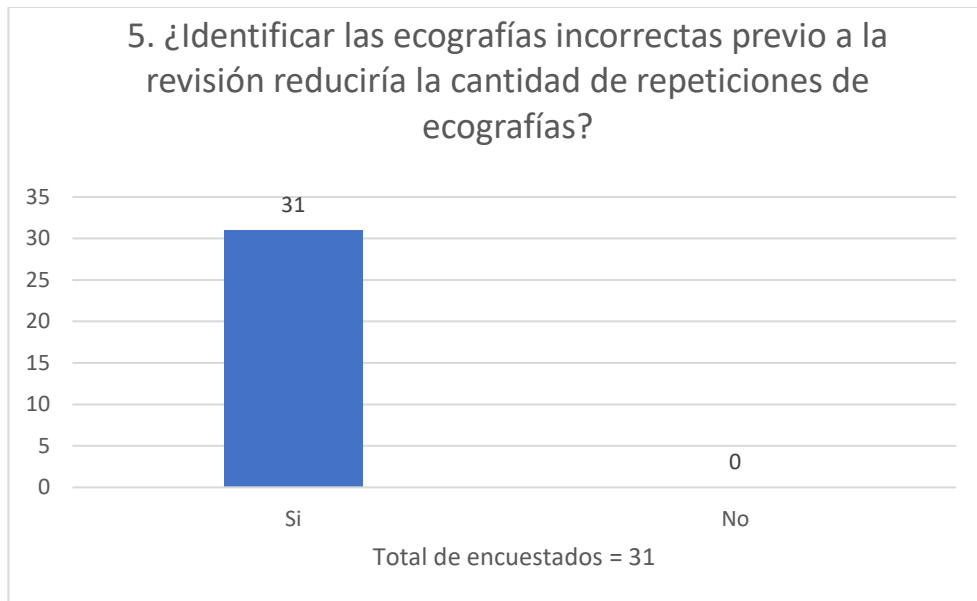
Reducción de número de repeticiones de ecografías



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 5

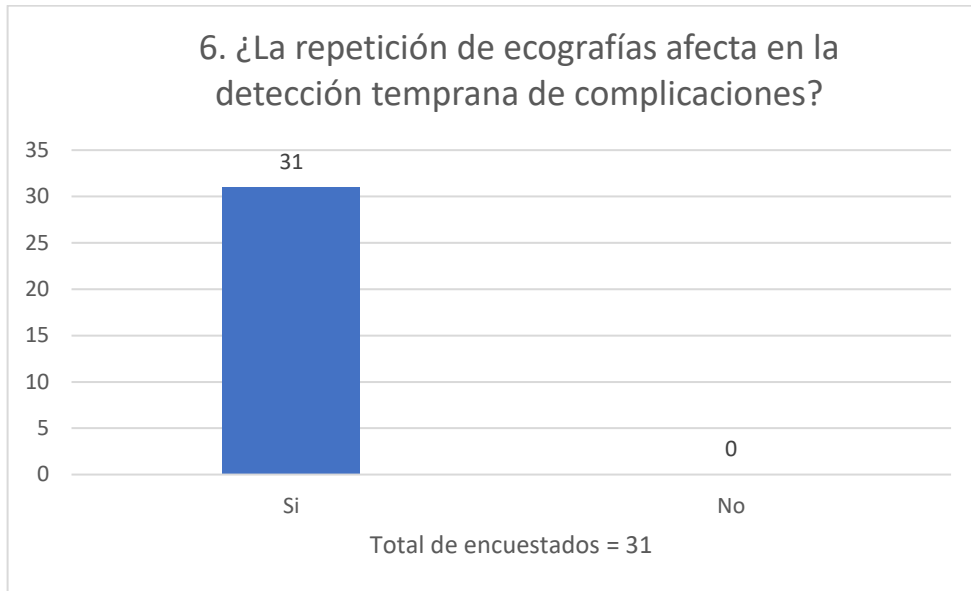
Importancia de evaluación de ecografías previo a revisión por obstetras



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 6

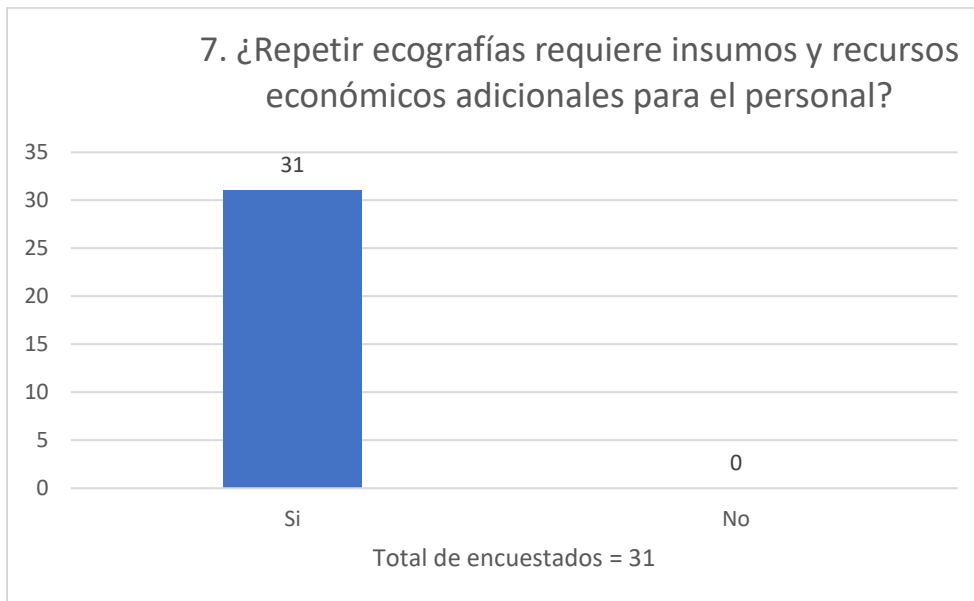
Detección temprana de complicaciones



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 7

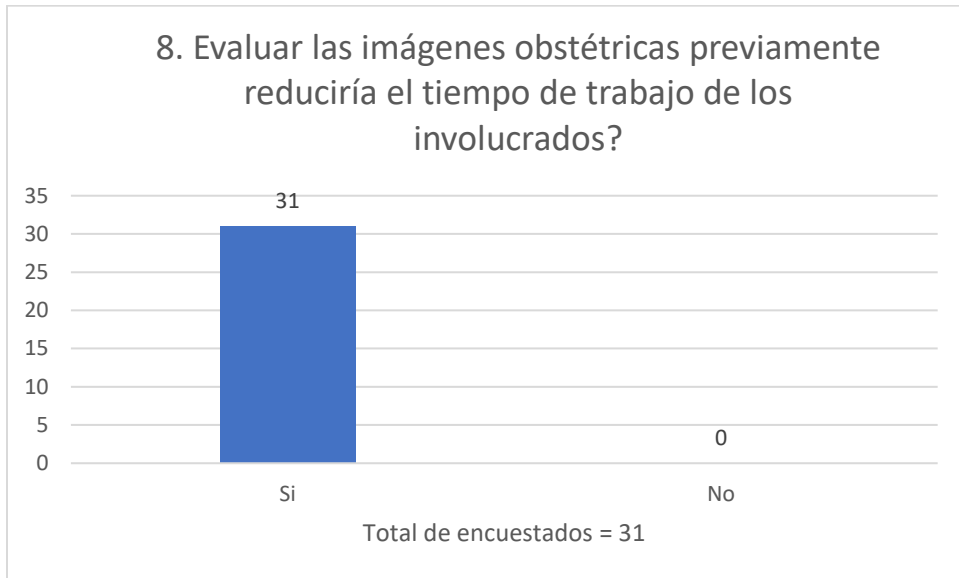
Requerimientos para repetir ecografías



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 8

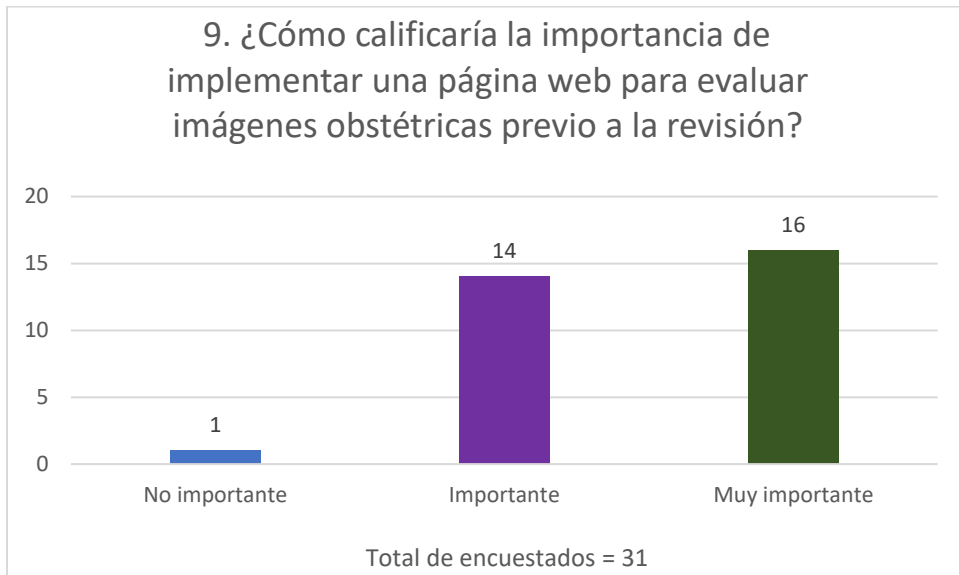
Reducción de tiempo laboral



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 9

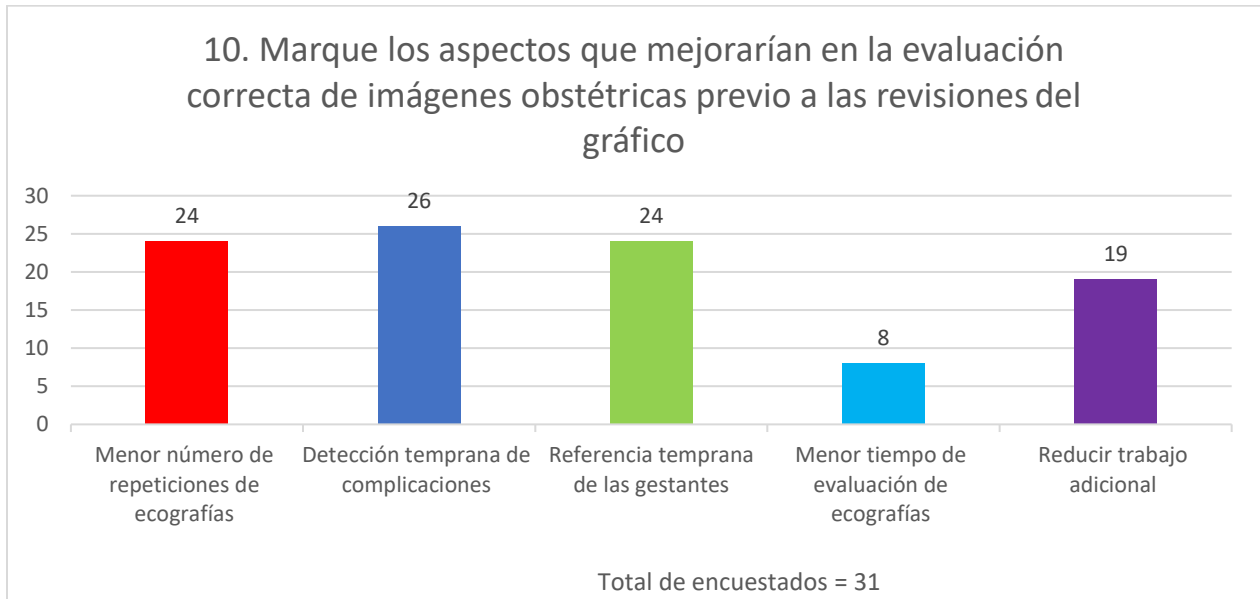
Importancia de implementación de proyecto de *Machine Learning*



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 10

Aspectos relevantes en la revisión previa de ecografías

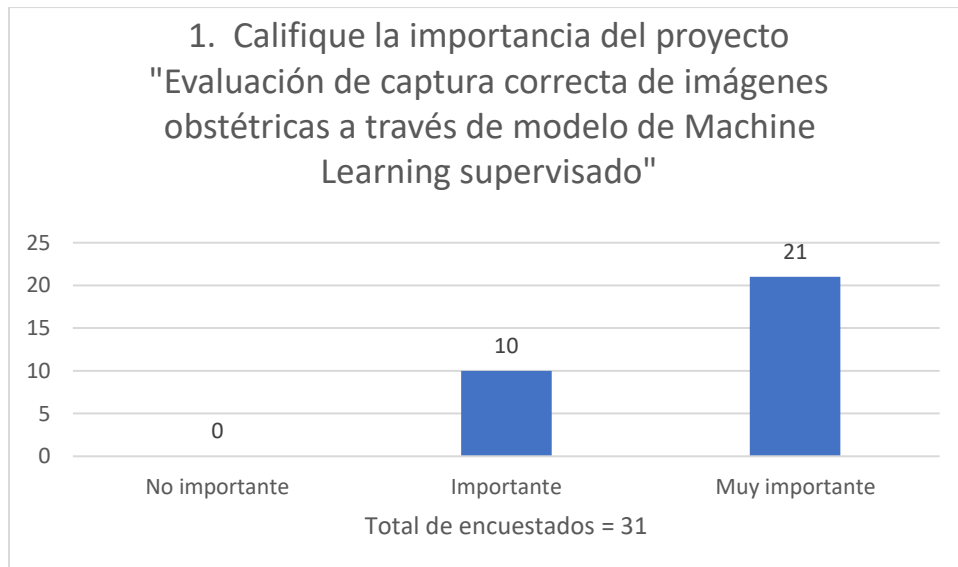


Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Encuesta posterior a implementación

Gráfica No: 11

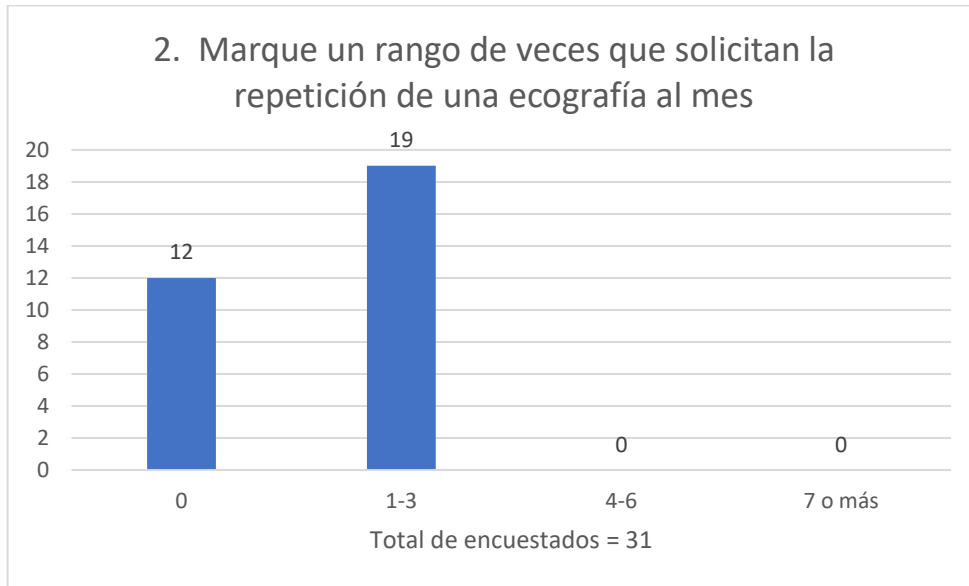
Importancia del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 12

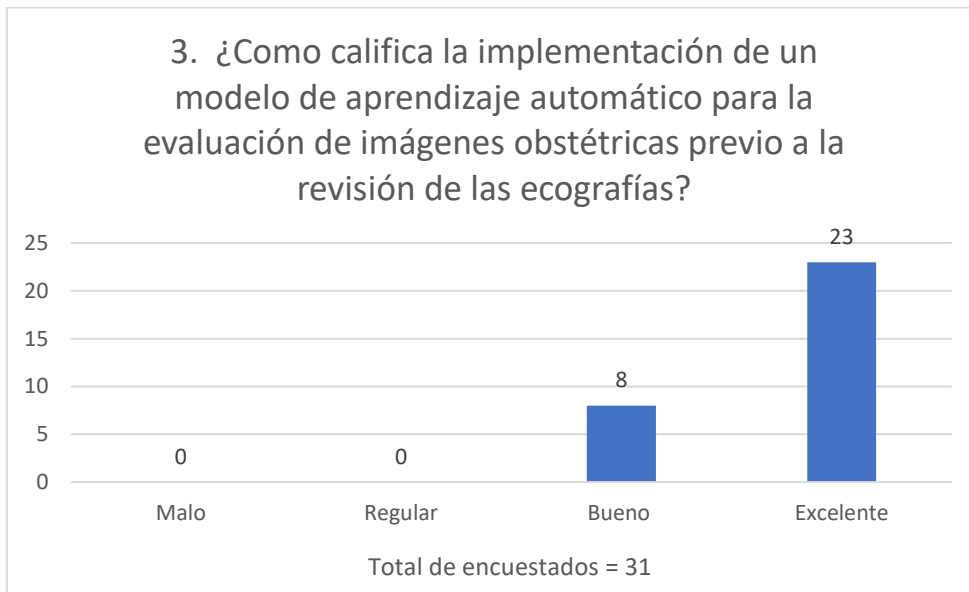
Número de solicitudes de repetición de ecografías



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 13

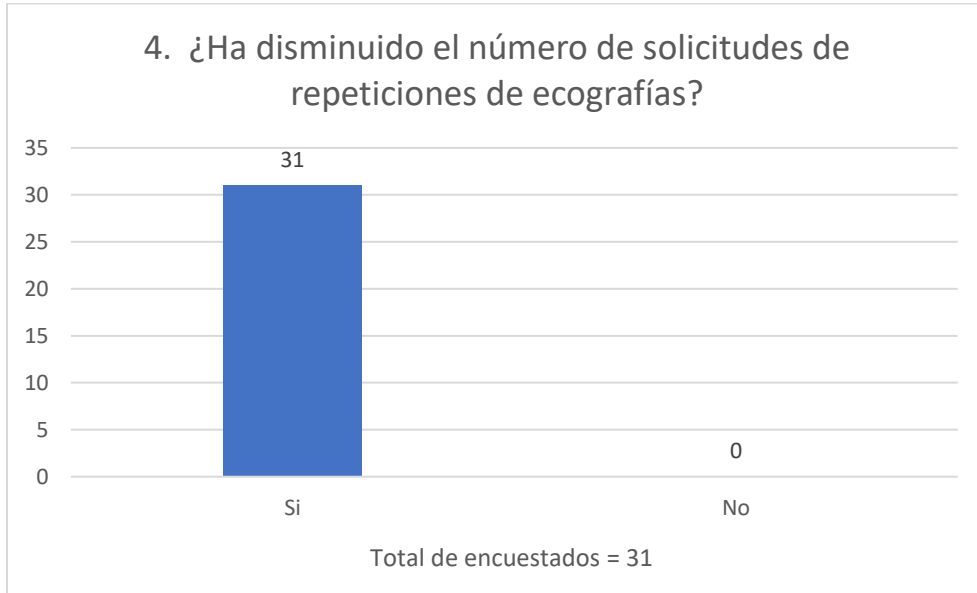
Relevancia de implementación de sitio web para evaluar ecografías



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 14

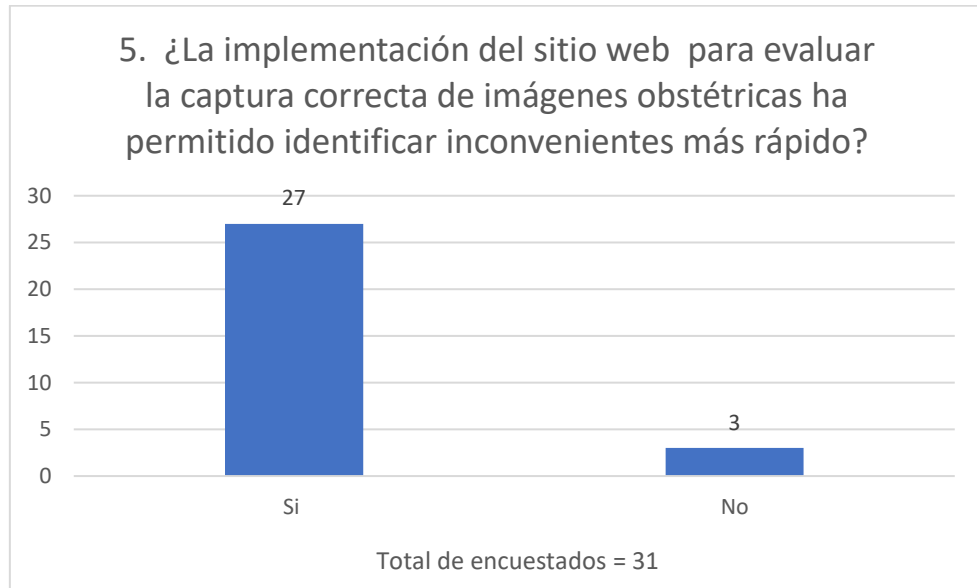
Disminución de solicitudes de repetición de ecografías



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 15

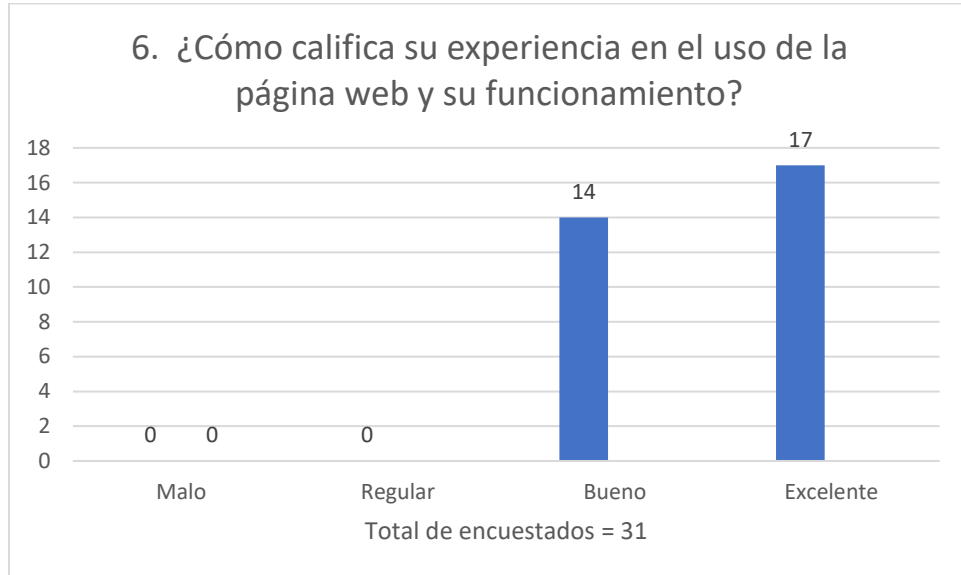
Tiempo de identificación de inconvenientes



Fuente: Elaboración propia

Gráfica No: 16

Experiencia en uso de página web



Fuente: Elaboración propia

4.2 Desarrollo del modelo de *Machine Learning*

Para la ejecución del proyecto del presente documento académico se ha utilizado diferentes herramientas y lenguajes de programación utilizadas para el desarrollo de la parte técnica de la investigación, con la finalidad de mostrar el resultado de los objetivos detallados en la metodología.

4.2.1 Fases del desarrollo

Las fases de desarrollo utilizados durante esta investigación académica fueron acordes a los de la metodología de desarrollo utilizada en este. Dichas fases fueron descritas en el apartado anterior del documento. Así mismo se realizó un análisis de la situación previo a la implementación del proyecto como posterior a ello.

4.2.2 Análisis

En la primera fase de análisis se realizó una investigación previa de herramientas y/o soluciones similares al propuesto en esta investigación, diseñados para la evaluación de las capturas correctas de imágenes obstétricas utilizando modelos de *Machine Learning* supervisado.

Durante la investigación de este tipo herramientas y/o soluciones, en la actualidad no existen páginas web con inteligencia artificial para la evaluación de imágenes obstétricas, ya que se requiere una inversión considerable para la elaboración de ecografías obstétricas y recopilar toda la información requerida y necesaria para entrenar el modelo de *Machine Learning* supervisado. Por ello se ha tomado como requerimiento para el desarrollo de la página web los criterios de aceptación del personal de salud involucrado en la realización de ecografías obstétricas, dichos requerimientos funcionales son los siguientes:

- Implementación de modelo de *Machine Learning* en sitio web
- Interfaz gráfica fácil e intuitiva.
- Visualización de imágenes a evaluar

4.2.2.1 Situación actual

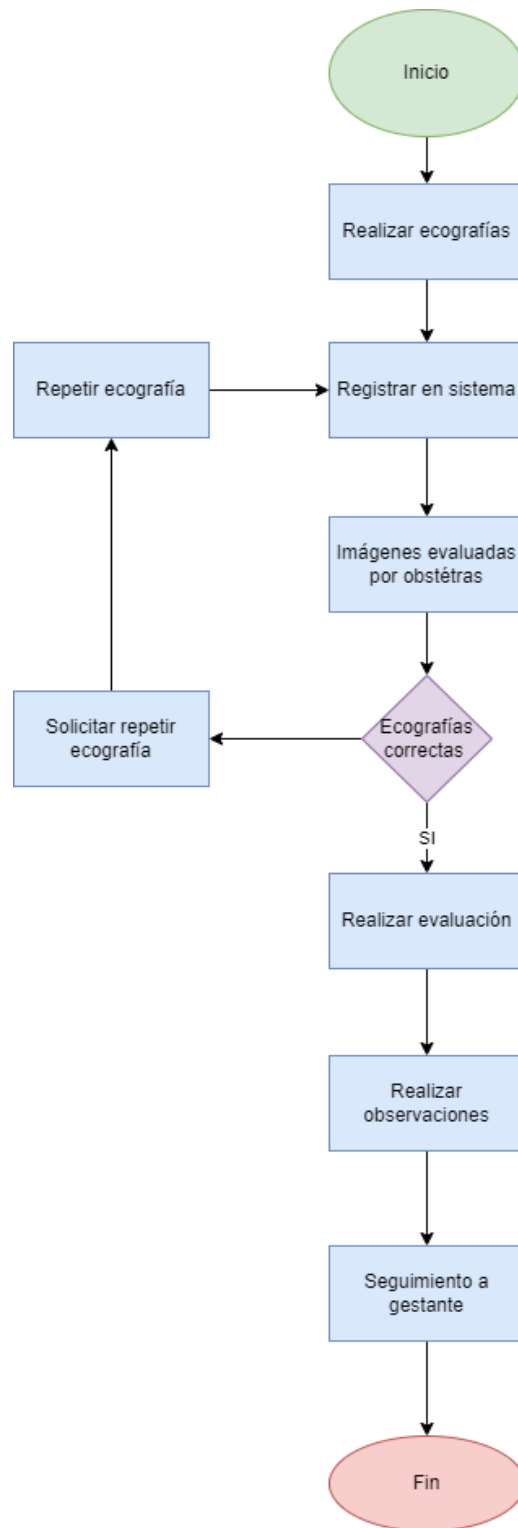
Actualmente, el ministerio de salud y asistencia social no cuenta con una página web u otra herramienta que le permita evaluar imágenes ecográficas de ningún tipo, para ellos es necesario que las ecografías realizadas por el personal de primer nivel que realiza ecografías a nivel comunitario sean registradas en una plataforma donde son evaluadas por especialistas en obstetricia, los cuales en primer lugar evalúan la calidad de las ecografías y posteriormente realizar sus diagnósticos , en caso que existan ecografías que fueron capturadas de manera incorrecta, se solicita la repetición de las misma, todo este proceso de realizar una solicitud de repetición de las ecografías al personal de primer nivel, traslado del personal a las zonas rurales del municipio, citar nuevamente a la gestante, requerir insumos para la repetición de ecografías y repetir el proceso de realización de ecografías, registro y evaluación por los obstetras requiere un aproximado de un mes, lo cual implica riesgos para la gestante y el feto en la detección temprana de complicaciones de su embarazo.

Adicional a lo anterior, actualmente el número de solicitudes de repeticiones de ecografías realizadas por los especialistas es de un aproximado de 80 solicitudes por mes, lo cual implica un problema de suma importancia.

En la Figura No. 5 se puede visualizar un diagrama de flujo del proceso que se tenía previo a la implementación del proyecto. Proceso que comienza en la realización de las ecografías, se procede a registrar en el sistema los datos de la gestantes como las imágenes realizadas, se evalúan las imágenes por los especialistas en obstetricia, si existe imágenes que están capturadas de manera incorrecta, los especialistas proceden a rechazarlas y solicitar en el sistema repetir la ecografía, luego se procede a evaluar en el sistema las solicitudes realizadas, se planifica nuevamente una jornada para que las gestantes acudan al puesto de salud o centro de convergencia para repetir las ecografías nuevamente, posterior a ello, se empieza el proceso nuevamente y se repetirá el ciclo hasta que la imagen o imágenes sean tomadas correctamente y permita ser evaluada por los especialistas, realizar sus diagnósticos y dar seguimiento a las gestantes que lo ameritan.

Figura No. 5

Diagrama de flujo de proceso de realización de ecografías



Fuente: Elaboración propia

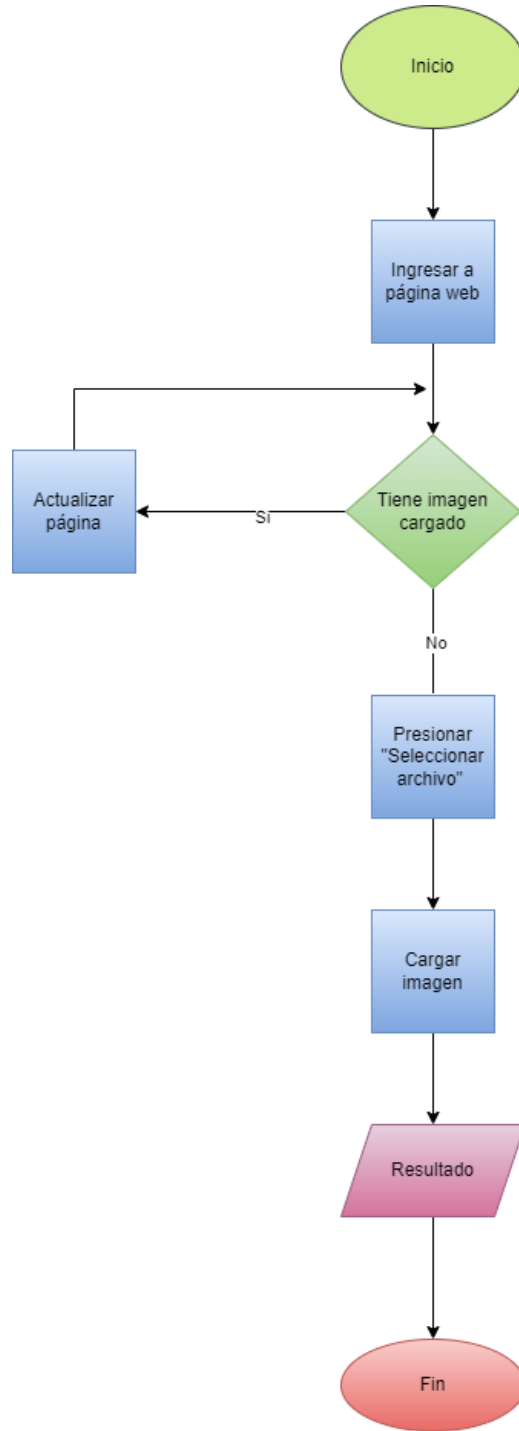
4.2.2.2 Situación optimizada

La evaluación de la captura correcta de ecografías obstétricas previo a la revisión de los especialistas se optimiza mediante un modelo de *Machine Learning* supervisado implementado en una página web. Los beneficios que brinda este modelo de *Machine Learning* es proveer a todas las personas que realizan ecografías obstétricas, puedan evaluar sus ecografías previo a registrar las imágenes a las plataformas correspondientes para la evaluación de los especialistas, permitiendo evaluar las ecografías después de finalizar la evaluación a la gestante o durante el día, lo cual permite al personal de primer nivel poder realizar nuevamente las ecografías en un lapso de tiempo corto, optimizando insumos, tiempo, recursos económicos, inconvenientes con las gestantes y sobre todo, permitir reducir el número de solicitudes de repeticiones de ecografías y detección temprana de posibles complicaciones. Cabe mencionar que la realización de ecografías a nivel comunitario se va expandiendo en diferentes municipios y departamentos, lo cual cada vez más el número de beneficiados irá en aumento.

En la Figura No. 6 se puede observar que en el diagrama de flujo se ha agregado un nuevo proceso al inicio, el cual funciona de esta manera, primero se realiza la ecografía, se procede a ingresar a la página web, se realiza la evaluación de la imagen, si la imagen es incorrecta, se procede a capturar nuevamente las imágenes ecográficas, y se realizan nuevamente los dos primeros pasos, si la imagen es correcta, se procede a registrar los datos y la imagen de la gestante, la imagen es evaluada por los especialistas, en caso que exista una imagen que se haya tomado como correcta por el margen de error que tiene el modelo de *Machine Learning* se solicita la repetición de la ecografías y se vuelve a comenzar el proceso, caso contrario, se procede a realizar las observaciones y el seguimiento o referencia si amerita. Con esto podemos observar que el proceso de detectar las imágenes incorrectas permite repetir las imágenes en un lapso de minutos o en el peor de los casos el mismo día, exceptuando las ocasiones en las que una imagen incorrecta se tome como correcta por el margen del 5% de error que dispone el modelo, esto lo cual ocurrirá 5 de cada 100 evaluaciones, porcentaje que se irá reduciendo con la fase de mantenimiento de la metodología en cascada, lo cual contempla entrenar el modelo e ir perfeccionando la precisión y reducir el margen de error.

Figura No. 6

Diagrama de flujo de nuevo proceso de realización de ecografías



Fuente: Elaboración propia

4.3 Planificación

4.3.1 Cronograma de desarrollo

La planificación para el desarrollo del proyecto modelo de *Machine Learning* supervisado y de la página web fue estimado en 12 semanas, iniciando el 1 de agosto y finalizando el 2 de noviembre del 2022.

- Durante el desarrollo del proyecto se visualizan los avances mediante los hitos de:
- Recolección de imágenes obstétricas
- Clasificación de ecografías obstétricas de primer trimestre
- Preparación de entorno de trabajo para entrenar modelo de *Machine Learning*
- Desarrollo de página web
- Pruebas de funcionamiento de modelo y precisión
- Pruebas de satisfacción

Tabla No. 2
Diagrama de Gantt de actividades

ACTIVIDADES	Meses	8				9				10			
	Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Recolección de imágenes obstétricas		■											
Clasificación de imágenes obstétricas de primer trimestre			■	■									
Preparación de entorno para modelado de Machine Learning				■									
Entrenamiento de modelado de Machine Learning					■	■	■	■					
Realización de pruebas de modelado de Machine Learning								■					
Implementación de página web										■			
Cargar modelo de Machine Learning a página web											■		
Realización de pruebas de evaluación de imágenes en página web												■	
Entrega de proyecto													■

Fuente: Elaboración propia

4.4 Desarrollo

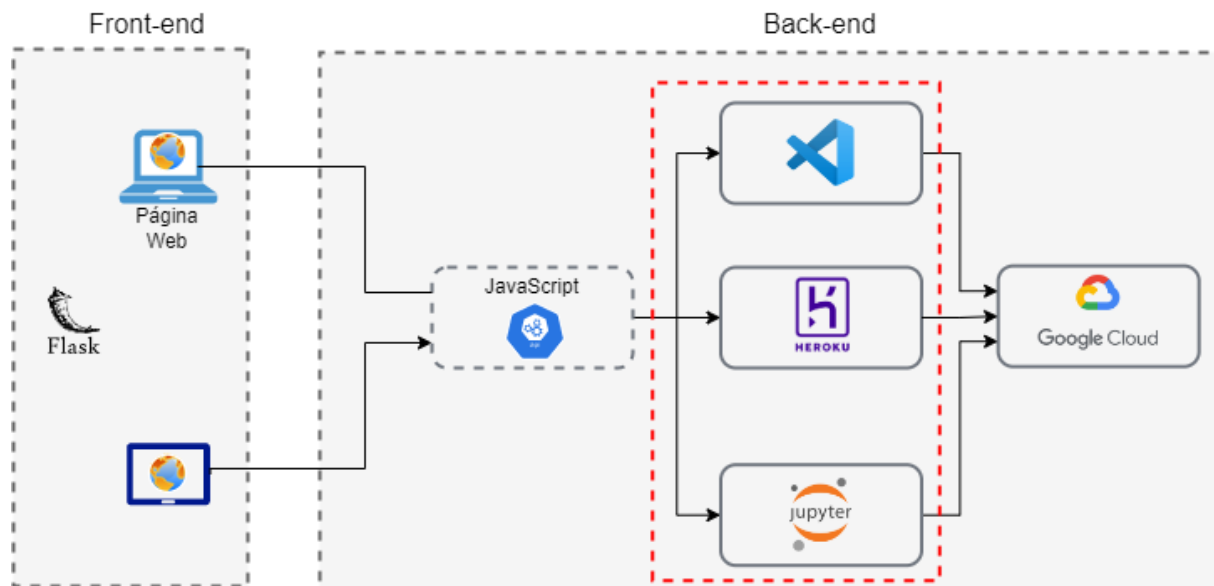
El modelo de *Machine Learning* implementado en un sitio web para evaluar la captura correcta de imágenes obstétricas se ha desarrollado utilizando diferentes herramientas y utilizando ecografías obstétricas de primer trimestre para entrenar el modelo de *Machine Learning*.

4.4.1 Arquitectura del *software*

Para el desarrollo de este producto se omite la arquitectura de hardware y solamente se ha desarrollado una arquitectura de *software*, en cual fue necesarios utilizar como lenguaje de programación Python, lenguaje en el que fue desarrollado el producto, utilizando como *IDE* *visual studio code*, una *API* para la conexión y comunicación, *heroku* para el alojamiento del código y *Google Cloud* como servidor para realizar el procesamiento del modelo de *Machine Learning*.

Figura No. 7

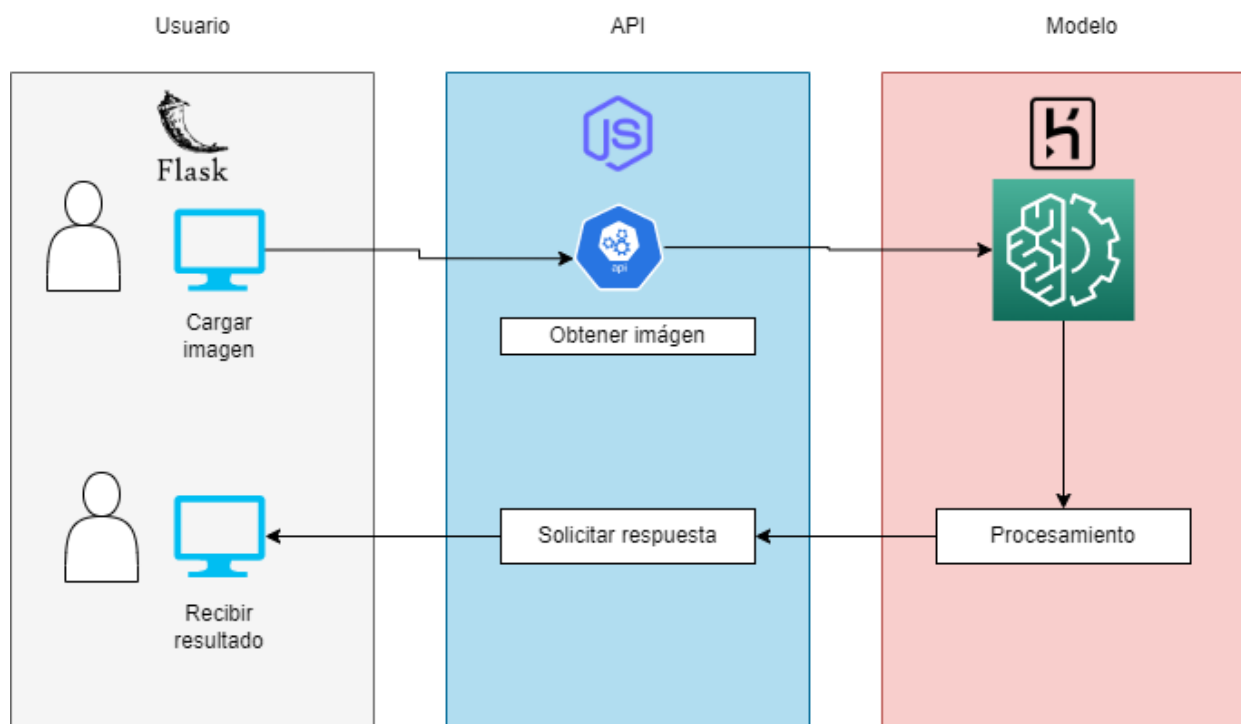
Arquitectura del *software*



Fuente: Elaboración propia

La Figura No. 8 ilustra el funcionamiento de la arquitectura empleada en la página web para evaluar las imágenes obstétricas que el usuario requiere evaluar. En el proceso, el usuario carga la imagen en la página web, la API recibe la imagen y la envía al modelo de aprendizaje automático para su evaluación. Posteriormente, la API solicita la respuesta y la devuelve al usuario, indicando si el resultado es "Correcto" o "Incorrecto".

Figura No. 8
Arquitectura de proceso de consulta



Fuente: Elaboración propia

4.4.1.1 *Front-end*

Para el desarrollo del *front-end*, se utilizó *Flask*, *framework* creado en *Python* para el desarrollo de página web.

Figura No. 9

Front-end de la aplicación web



Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2 Back-end

Para el desarrollo de la parte de *back-end*, se utilizó *Python* para desarrollar la parte lógica del sistema y *Java Script* para la parte creación de la *API*. Para el desarrollo y entrenamiento del modelo de *Machine Learning* se utilizó *Google colab* para desarrollar el modelo con las librerías *Numpy*, *Keras*, *Pandas*, *Mathplot lib*, para poder evaluar y graficar los resultados del entrenamiento del modelo.

Dicho desarrollo fue cargado a la plataforma de *heroku* a través de *Git*, plataforma que le que se configuró el dominio y alojamiento del sistema el cual lo convierte en una aplicación web ya que cuenta con inteligencia artificial, posteriormente se configuró el servidor que se encarga de ejecutar el modelo y realizar las evaluaciones de las imágenes enviadas desde la parte del *front-end* a través de la *API* y devolver un resultado de 0 o 1.

Figura No. 10

Resultado de aprendizaje de modelo *Machine Learning*



Fuente: Elaboración propia

Figura No. 11

Porcentaje de presión de evaluación del modelo

```
[ ] predict = modelo.predict(data_gen_pruebas)
    evaluacion = modelo.evaluare(data_gen_pruebas)
    print(evaluacion)

1/1 [=====] - 1s 1s/step
1/1 [=====] - 1s 1s/step - loss: 0.3611 - accuracy: 0.9545
[0.36112111806869507, 0.9545454382896423]
```

Fuente: Elaboración propia

Capítulo V

Discusión y análisis de resultados

5.1 Discusión de resultados

El *Machine Learning* se divide en dos categorías principales, en el *Machine Learning* supervisado y no supervisado, pareciera que el *Machine Learning* supervisado tuviese más participación de un ser humano para su desarrollo y el no supervisado no, pero no es así, la diferencia entre cada una de ellas es más a lo que cada una de ellas puede realizar o el enfoque que tienen. Sin embargo, el modelo más usado es el supervisado, esto se debe a que este permite realizar predicciones a futuros basados en comportamientos o características denominados etiquetas que se observan en el historial de los datos previamente almacenados.

A continuación, se presenta el análisis de los datos recolectados de las encuestas realizadas con anterioridad a 31 profesionales de la salud de primer nivel de atención que realizan ecografías en zonas rurales.

5.1.1 Encuesta previo a implementación

- La primera interrogante planteada en el cuestionario trata de conocer el número de veces que se realiza la solicitud de repetición de las ecografías. Según los datos, 17 de los encuestados que equivale al 54.8 % ha recibido entre 1 a 3 solicitudes de repetición de ecografías cada mes, 9 encuestado que equivale al 29% recibe entre 4 a 6 solicitudes durante cada mes y el resto de los encuestados que son 5 que equivale al 16,1 % no aplican en esta encuesta, esto se debe a que los especialistas son los encargados de solicitar las repeticiones, por ellos no reciben solicitudes para repetir ecografías.
- La segunda interrogante planteada tiene como finalidad determinar el tiempo que se requiere para repetir una ecografía. 16 de los encuestados equivalentes al 51.6 % siendo el porcentaje más alto, sugieren que el tiempo aproximado que se requiere para repetir

una ecografía a las gestantes es de 1 mes, sin embargo, 8 encuestados equivalentes al 25.8% sugiere que el tiempo que se requiere es de 3 semanas y el resto de los encuestados que son 7 que equivalen al 22.6% sugieren que solo se requiere 2 semanas para repetir una ecografía. Las respuestas varían dependiendo del contexto, ubicación en el que se encuentra cada uno de los profesionales y las gestantes.

- La tercera interrogante trata de indagar el tiempo aproximado que necesitan los obstetras para evaluar las ecografías de una gestante solicitada a repetir, por ello, los 26 enfermeros que equivalen al 83.9 % no aplican en esta interrogante. 2 de los obstetras que equivale al 6.5 % sugieren que el tiempo que transcurre para evaluar ecografías solicitadas a repetir es de 3 semanas y los otros 3 obstetras que equivalen al 9.7% sugieren que se transcurre 1 mes o más para poder evaluar nuevamente las ecografías de una gestante solicitada a repetir. Con el resultado de esta interrogante demuestra que el tiempo que transcurre desde la realización de la atención para la captura de la ecografía y la revisión correspondiente por los obstetras en relación con las capturas incorrectamente transcurre un aproximado de un mes, lo cual es un problema de suma importancia ya que en caso de que exista una complicación no se podrá referir a la gestante a un centro de atención o recibir la atención requerida de manera oportuna.
- La cuarta interrogante plantea conocer si es importante reducir el número solicitudes de repetición de ecografías, el cual 30 de los encuestados que equivale al 96.8 % sustenta que si es necesario reducir la cantidad de solicitudes y 1 de los encuestados que equivale al 3.2% sustenta que no es necesario, con lo que es necesario reducir el número de solicitudes de los obstetras para la repetición de las ecografías.
- La quinta interrogante pretende conocer si identificar las ecografías incorrectas previo a la revisión de los obstetras reduciría la cantidad de solicitudes de repeticiones de ecografías, en el cual 31 de los encuestados, siendo el 100% afirman que efectivamente identificar las ecografías capturadas incorrectamente reduciría el número de solicitudes realizadas por los obstetras para repetir nuevamente ecografías.

- La sexta interrogante consiste en conocer si las solicitudes para repetir las ecografías afectan en la detección temprana de complicaciones, para el cual 31 encuestados, siendo el 100% afirman que las solicitudes de repetición de las ecografías si afecta en la detección temprana de complicaciones, eso debido a las respuestas de las preguntas número dos y tres.
- La séptima interrogante pretende averiguar si repetir una ecografía requiere de insumos y recursos económicos para el personal de salud, en el cual 31 de los encuestados que equivale al 100% responde que si se requiere de insumos y recursos económicos al repetir nuevamente una ecografía.
- La octava interrogante tiene como objetivo determinar si evaluar previamente las ecografías previo a la revisión de los obstetras para identificar ecografías capturadas incorrectamente reduce el tiempo de trabajo de los involucrados, en el cual 31 de los encuestados que equivale al 100% responde que sí reduciría el tiempo de trabajo de los involucrados, tanto el personal de primer nivel de atención que realiza las ecografías como los obstetras que evalúan las ecografías y diagnostican complicaciones, esto se debe a que cada solicitud de repetición de ecografía implica realizar dos veces la misma tarea.
- La novena interrogante tiene como objetivo evaluar la importancia de usar un modelo de *Machine Learning* implementado en una página web para evaluar las ecografías previo a la revisión de los obstetras, en el cual 1 de los encuestados que equivale al 3.2 % responde a que no es importante, 14 que equivale al 45.2 % responde que si es importante y 16 encuestados que equivale al 51.6 % responde a que es muy importante disponer de una página web para evaluar las ecografías previo a la revisión e identificar ecografías capturadas incorrectamente para repetir las ecografías de manera oportuna.
- La décima interrogante con respuestas múltiples pretende identificar los aspectos más importantes que mejorarían en la evaluación de las ecografías previo a la revisión para

mitigar las capturas incorrectas de ecografías, obteniendo 24 respuestas positivas en “menor número de repeticiones de ecografías”, 26 respuestas positivas en “Detección temprana de complicaciones”, 24 respuestas positivas en “Referencia temprana de las gestantes”, 8 respuestas positivas en “Menos tiempo de evaluación de ecografías” y 19 respuestas positivas en “Reducir trabajo adicional”. Menor número de repeticiones, detección temprana de complicaciones y referencia oportuna de las gestantes los 3 aspectos más relevantes de mejora que tendría la implementación una página web para evaluar ecografías obstétricas con un modelo de *Machine Learning*.

5.1.2 Encuesta posterior a implementación

- La décima primera interrogante permite analizar la importancia de la implementación de un sitio web para la evaluación de captura correcta de imágenes, 21 de los encuestados equivalentes al 67.7%, siendo el porcentaje más alto de las respuestas seleccionadas, los cuales afirman que la implementación es muy importante, 10 de los encuestados que equivale al 32.3 % afirma que es importante y ninguno de los encuestados ha seleccionado la opción de no importante. Con lo que la implementación del sitio web es de suma importancia para todos los involucrado en la realización de ecografías.
- La décima segunda interrogante realizada a los encuestados está relacionado a la pregunta número uno de la encuesta realizada previamente a la implementación del proyecto, en el cual se observa una mejora considerable en la disminución del total de solicitudes realizadas por los obstetras para la repetición de ecografías, en el que se han seleccionado dos respuestas de las cuatro planteadas en las respuestas de la interrogante, el cual, 19 de los encuestados, equivalente al 61.3% respondieron que el rango de número de solicitudes de repeticiones de ecografías solicitadas por los obstetras es entre uno a tres, siendo el porcentaje más alto de respuestas seleccionadas y los otros 12 encuestados restantes, equivalente al 38.7%, siendo el porcentaje más positivo, respondieron que el número de solicitudes de repeticiones se redujo a 0. Con lo que la implementación del sitio web ha reducido el número de solicitudes para la repetición de ecografías a números igual o menor a tres y en algunos casos el número se reducirá a 0.

- La décima tercera interrogante pretende conocer la aceptación de los interesados en la realización de ecografías la implementación de un modelo de aprendizaje automático para la evaluación de ecografías obstétricas previo a la revisión por los obstetras. De las cuatro respuestas posibles, dos respuestas fueron las seleccionadas, en el cual, 23 de los encuestados que equivale al 74.2% califican la aceptación como excelente y los otros 8 encuestados, equivalente al 25.8% califican la aceptación como Bueno. Con lo que a todos los involucrados les es satisfactoria y aceptado la implementación del modelo de aprendizaje automático para la evaluación de imágenes obstétricas.
- La décima cuarta interrogante trata de indagar si el número de solicitudes de repeticiones de ecografías se ha reducido con la implementación del sitio web para la evaluación de ecografías obstétricas, según los datos recopilados, 31 de los encuestados, siendo el 100% afirman que se ha reducido el número de solicitudes de repeticiones de ecografías. Esto concuerda con los resultados obtenido en la décima segunda de este cuestionario. A pesar de ser un proceso adicional al ciclo de realización de ecografías, la implementación del sitio web es aceptado de manera positiva al brindar muchos beneficios por proceso adicional que no requiere demasiado tiempo.
- La décima quinta interrogante trata de indagar si la implementación del sitio web para evaluar las capturas correctas de ecografías ha permitido identificar de manera más oportuna inconvenientes detectados en las ecografías, el cual, 27 de los encuestados, equivalente al 90% respondieron que si ha permitido identificar inconvenientes mucho más rápido al reducir el número de número de ecografías incorrectas, y 3 de los encuestados, equivalente al 10% respondieron a que la implementación del sitio web no permite identificar inconvenientes más rápido.
- La décima sexta interrogante del cuestionario pretende conocer la calidad de experiencia de los encuestados en el uso de la página web y su funcionamiento para la evaluación de ecografías obstétricas. Entre las respuestas posibles se encuentra Malo, Regular, Bueno y Excelente, de los cuales son respuestas fueron las más seleccionadas; 14 de los

encuestados que equivale al 45.2 por ciento respondieron como bueno su experiencia en el uso y funcionamiento de la página web, y 17 de los encuestados que es equivalente al 54.8%, siendo el porcentaje más alto, respondieron como excelente su experiencia en el uso de la página web. Con lo que la página web cumple con los requerimientos solicitados, sobre todo en el requerimiento de intuitivo y fácil de usar.

5.2 Utilidad de la aplicación

Después de analizar los resultados de los datos obtenidos de las encuestas, las investigaciones realizadas en los capítulos anteriores y del rendimiento comparado a los costos contra otras soluciones ya existentes en el mercado, los cuales permitieron conocer si crear un modelo de *Machine Learning* supervisado implementado en un sitio web para la evaluación de capturas correctas de ecografías obstétricas es funcional y aplicable para las áreas de salud y entidades que deseen realizar capacitar personal para la realización de ecografías.

La utilidad del sitio web desarrollado durante esta investigación de grado es de suma importancia para mejorar el trabajo, reducir tiempo y costos económicos al personal de salud de primer nivel que realizan ecografías, reducir el número de veces que se solicita repetir una ecografía permite a los obstetras evaluar ecografías capturadas correctamente e identificar inconvenientes o riesgos que tenga un embarazo.

Los resultados y la importancia de dicha página web son sustentadas por las pruebas y la implementación del proyecto. Así mismo, los resultados son respaldados por los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a la persona de salud de primera atención, ya que demuestra antes de la implementación como después de la implementación que existen mejoras significativas plasmados en los resultados de las dos encuestas realizadas.

Este proyecto fue desarrollado con la finalidad de ser utilizado no solo en la evaluación de imágenes ecográficas de primer trimestre, sino, fue desarrollado para tener la capacidad de evaluar imágenes que se contemplan dentro de los tres trimestres de gestación, como también el evaluar otros tipos de ecografías en las cuales tengan como objetivo clasificar dos tiempos de

imágenes. En la actualidad existen diferentes complicaciones en la salud de las personas que puede ser detectadas a través de la visualización de las mismas en un ecografía, como evaluar ecografías pulmonares para clasificar pacientes normales o con neumonía, evaluar ecografías obstétricas para determinar si la placenta es normoinsera o placenta previa, si un embarazo es normal o ectópico, entre otras aplicaciones que puede tener dicho proyecto, gracias a su característica de permitir heredar, con lo cual es posible mutar a otras necesidades con enfoques similares, realizando pequeños cambios en el código y disponer de los otros tipos de ecografías, conservando su característica principal de evaluar ecografías y finalmente abrir un campo de posibilidades y soluciones en los que el modelo de *Machine Learning* desarrollado puede servir.

Conclusiones

En base al objetivo de esta investigación que es crear un modelo de *Machine Learning* supervisado para la evaluación de capturas correctas de imágenes obstétricas por personal de primer nivel del sistema de salud, con la finalidad reducir el número de solicitudes de repeticiones de ecografías realizadas por especialistas en obstetricia, tiempo de trabajo, identificación temprana de inconvenientes del embarazo, podemos concluir con lo siguiente:

Con los resultados obtenidos, se pudo comprobar que aplicar un modelo de *Machine Learning* para evaluar las imágenes obstétricas previos a la revisión permite reducir el tiempo de evaluación de las ecografías y reducir número de repeticiones que se solicitan.

Disponer de una página web que al que se puede acceder desde una *Tablet* permite evaluar las imágenes obstétricas mucho más rápido y fácil de realizar.

Implementar un modelo para la evaluación de imágenes obstétricas brinda múltiples beneficios como detectar de manera oportuna las complicaciones de las gestantes del primer trimestre, reduce el tiempo de trabajo al evitar repeticiones de ecografías y permite las referencias tempranas de las gestantes con complicaciones.

Recomendaciones

Esta investigación de tesis, la cual tiene como naturaleza científica, busca identificar que beneficios tiene usar un modelo de *Machine Learning* supervisado para evaluar imágenes obstétricas previo a las revisiones realizadas por los obstetras y se concluye que brinda diferentes beneficios, por lo que se recomienda investigar y profundizar en los temas de inteligencia artificial y automatización para la creación de sistemas que utilicen *Machine Learning* para la evaluación de imágenes ecográficas, descritos en el punto 2.2.1 del marco teórico y comparar las diferentes soluciones que brinda estas tecnologías.

Para las investigaciones enfocadas en el entrenamiento del *Machine Learning* para la evaluación de imágenes, considerar dos puntos importantes, el sobre entrenamiento del modelo u *overfitting* como se le conoce comúnmente, lo cual para ello investigar como mitigar el *overfitting* con la regularización.

Para conseguir un modelo con una precisión alta y una pérdida cercana a cero, es necesario disponer de una gran cantidad de imágenes, caso contrario, utilizar la técnica de preprocesamiento de datos llamada *Data Augmentation*, el cual permite multiplicar cada imagen en diferentes filtros y conseguir 6 versiones diferentes de cada imagen, con eso se tendrá más imágenes para el entrenamiento del modelo deseado.

Referencias

- Lozano Silva, J. (2015). Aprendizaje supervisado eficiente para el análisis de datos geoespaciales a gran escala [Tesis de Doctorado, Universidad del País Vasco]. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=112285>
- Blanc-Pihuave, G., Cevallos-Torres, L., & Arteaga-Vera, J. (2020). *Computational model of supervised Machine Learning classification, for the analysis of cardiovascular data and medical prognosis*. *Ecuadorian Science Journal*.4(2), 71-79 . Recuperado de: <https://journals.gdeon.org/index.php/esj/article/view/83/61>
- OPS (2020) Salud materna. Recuperado de: <https://www.paho.org/es/temas/salud-materna>
- FdW (2019). Situación de las muertes neonatales en América Latina. Recuperado de: <https://fundaciondewaal.org/index.php/2019/09/05/la-situacion-de-las-muertes-neonatales-e-infantiles-en-america-latina/>
- MSPAS (2022). Situación Epidemiológica de muerte 2021-2022, Guatemala. Recuperado de: <https://epidemiologia.mspas.gob.gt/phocadownload/userupload/muerte-materna/MM-2021-2022.pdf>
- Rojas, G. (2022). Clasificación de leucocitos en imágenes microscópicas de frotis sanguíneo usando *Machine Learning* y CNN [Tesis de bachiller]. Repositorio de la Universidad Andina.

https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/4799/Gonzalo_Tesis_bac_hiller_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Clínica Barcelona. (2018, 20 de febrero). Ecografía. En Clínica Barcelona. Recuperado de <https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/pruebas-y-procedimientos/ecografia>

Bárcena, M. (2021). Canal Salud: Qué es una ecografía: para que sirve y qué tipos existe. Recuperado de: <https://canalsalud.imq.es/blog/que-es-ecografia-tipos>

Clínica las condes (2019). Tipos de ecografías obstétricas. Recuperado de: <https://clinicalascondes.cl/BLOG/Listado/Ginecologia/ecografias-obstetricas>

MSPBS (2014). Importancia de la ecografía durante el embarazo. Recuperado de: <https://mspbs.gov.py/portal/1833/importancia-de-la-ecografia-durante-el-embarazo.html>

García, N. (2021) Salud Mapfre: Definición de embarazo y sus fases. Recuperado de: <https://www.salud.mapfre.es/salud-familiar/mujer/embarazo/definicion/>

Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro [PDF]. Recuperado de https://proassetspdlcom.cdnstatics2.com/usuarios/libros_contenido/arxius/40/39307_Inteligencia_artificial.pdf

Benítez, y otros. (2014). Inteligencia Artificial [Ebook]. Recuperado de <https://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/34953/book/OPS/xhtml/Chap01.htm>

1

Vázquez, M., Smarandache, F. et al. (2018). Inteligencia Artificial: retos, perspectivas y papel de la Neutrosófia. Inteligencia Artificial: Retos y Aplicaciones (p. 5). Recuperado de <https://fs.unm.edu/neut/InteligenciaArtificialRetos.pdf>

Sancho, S. (2018). Sistemas Expertos, el comienzo de la Inteligencia Artificial. ThinkBig. Recuperado de: <https://blogthinkbig.com/sistemas-expertos-inteligencia-artificial/>

Microsoft (s.f) *Azure Microsoft: What is computer vision?* [¿Qué es la visión por computadora?] Recuperado de: <https://azure.microsoft.com/en-gb/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-computer-vision#object-classification>

Bobadilla, J. (2020). Aprendizaje supervisado eficiente para el análisis de datos geoespaciales a gran escala [Tesis de Doctorado, Universidad del País Vasco]. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=112285>

Bobadilla, J. (2020) *Machine Learning y Deep Learning Usando Python, Scikit y Keras*. (p. 13). [Universidad de Guayaquil]. Recuperado de https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9789587921465_A41974869/preview-9789587921465_A41974869.pdf

Russo, C., Ramón, H., Alonso, N., Cicerchía, B., Esnaola, L. Tessore, J. (2016) Tratamiento Masivo de Datos Utilizando Técnicas de *Machine Learning*. [Artículo, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Bueno Aires]. Recuperado de: https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/107/1_resource.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Amazon (s.f). AWS: Entrenamiento de modelos de ML. Recuperado de: https://docs.aws.amazon.com/es_es/machine-learning/latest/dg/training-ml-models.html

Pérez, I. (2014). El lenguaje de programación *Python/The programming language Python*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181531232001.pdf>

Arias, J., Villasís-Keever, M., Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>

Pineda, Alvarado y Hernández (1994). Metodología de la investigación: Manual para el desarrollo de personal de salud. 2ª. edición. Recuperado de: <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodologia%20de%20la%20Investigacion%20Manual%20para%20el%20Desarrollo%20de%20Personal%20de%20Salud.pdf>