



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL Y
SEGUIMIENTO DE VACUNACIÓN EN MASCOTAS**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Industrial

Autores:

Berrazueta Salguero Andres Sebastián

Cordero Saquinga Christian Marcelo

Tutor Académico:

PhD. Raúl Heriberto Andrango Guayasamín

LATACUNGA – 2026

Latacunga, agosto del 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Berrazueta Salguero Andres Sebastián, con cedula de ciudadanía No. 0550593081 y Cordero Saquina Christian Marcelo, con cedula de ciudadanía No. 1805151667 declaramos ser autores del proyecto de titulación: "Diseño de un sistema automatizado para el control y seguimiento de vacunación en mascotas", siendo el Dr. Andrango Guayasamín Raúl Heriberto tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.

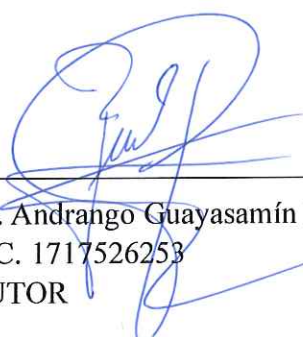
Berrazueta Salguero Andres Sebastián
CC.0550593081

Cordero Saquina Christian Marcelo
CC. 1805151667

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo Tecnológico sobre el título: **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL Y SEGUIMIENTO DE VACUNACIÓN EN MASCOTAS.”**, de Berrazueta Salguero Andres Sebastián y Cordero Saquina Christian Marcelo de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe de Proyecto de Investigación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2026.



Dr. Andrango Guayasamín Raúl Heriberto PhD.
C.C. 1717526253
TUTOR

Latacunga, agosto del 2026.

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de investigación con el Título “**Diseño de un sistema automatizado para el control y seguimiento de vacunación en mascotas**”, propuesto por los estudiantes Berrazueta Salguero Andres Sebastián y Cordero Saquina Christian Marcelo, de la Carrera de Ingeniería Industrial, nos permitimos indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de Aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad de **Proyecto de Investigación** en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino MSc.

C.C. 1804710463

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Sergio Patricio Bustos Pulluquitin MSc.

C.C. 1804652525

LECTOR 2



Ing. Byron Paul Corrales Bastidas MSc.

C.C. 0502347768

LECTOR 3

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para culminar esta etapa fundamental de mi vida académica.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, y a la Carrera de Ingeniería Industrial, por brindarme el conocimiento y las oportunidades necesarias para mi desarrollo profesional.

Mi especial reconocimiento al PhD. Raúl Andrango, tutor de este proyecto, por su guía, exigencia y valioso acompañamiento durante todo el proceso. Sus enseñanzas y consejos fueron esenciales para el éxito de esta investigación.

Finalmente, a mi familia, amigos y todas las personas que, con su apoyo y palabras de aliento, contribuyeron de alguna manera a la culminación de este sueño. Christian Cordero

Christian Cordero

AGRADECIMEINTO

Agradezco profundamente a mi familia, en especial a mi madre Janeth Salguero, por su amor incondicional, su ejemplo de perseverancia y el constante apoyo que me han brindado a lo largo de este proceso académico. A mis hermanos, Carlos Estefano y Miguel Ángel, por estar presentes en cada etapa de mi vida y por su compañía en los momentos de desafío y de triunfo.

Extiendo mi gratitud a mis docentes y al tutor académico, PhD. Raúl Andrango, por su guía, paciencia y aportes valiosos que enriquecieron mi formación profesional y este proyecto. Agradezco también a mis amigos y compañeros de carrera, quienes con su compañerismo y motivación hicieron más llevadero este camino.

Finalmente, a todas las personas que, con palabras de aliento o gestos de apoyo, contribuyeron de alguna forma para hacer realidad este logro. Cada uno ha dejado una huella imborrable en este recorrido que hoy culmina con éxito.

Andres Berrazueta

DEDICATORIA

A la memoria de mi amada madre, Marcia Yolanda Saquinga Tigse, quien fue y siempre será uno de los pilares más importantes de mi vida. Hoy, cuando estoy a pocos pasos de culminar una de las metas más grandes de mi formación profesional, la vida me enfrenta al dolor de tu partida. Hubiera deseado profundamente tenerte a mi lado para compartir este momento, verte sonreír y decirte que lo logramos. Aunque físicamente ya no estés conmigo, llevaré por siempre tu amor, tus enseñanzas, tus consejos y cada sacrificio que realizaste por mí. Este logro también es tuyo, mamá, porque detrás de cada paso que he dado siempre estuvo tu amor y tu apoyo. Tu recuerdo vivirá eternamente en mi corazón y cada uno de mis logros llevará siempre una parte de ti. Hasta el cielo, con todo mi amor, te dedico esta meta.

A mi hijo, Emir Gael Cordero Soria, quien es mi mayor inspiración y una de las razones más importantes para seguir adelante. Que este logro sea algún día un ejemplo para ti y te recuerde que, aun en los momentos más difíciles, debemos continuar luchando por nuestros sueños. Todo esfuerzo cobra sentido cuando pienso en ti, en tu futuro y en la persona que deseo llegar a ser para guiarte siempre.

A mi esposa, Sandra Beatriz Soria Velazco, por caminar a mi lado durante este proceso, por su amor, comprensión, paciencia y apoyo incondicional. Gracias por acompañarme tanto en los momentos de alegría como en aquellos en los que continuar parecía más difícil. Tu presencia y fortaleza han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

Mamá, esta tesis culmina con tu nombre en mi corazón. Mi defensa será sin tu presencia física, pero con tu recuerdo acompañándome en cada palabra. Dondequiera que estés, espero que puedas sentirte orgullosa de mí. Este logro es y será siempre también tuyo.

Christian Cordero

DEDICATORIA

Dedico este logro, con todo mi amor y gratitud, a mi madre, Janeth de las Mercedes Salguero Morales, por ser mi mayor ejemplo de fortaleza, amor y perseverancia. Gracias, mamá, por cada sacrificio, por cada consejo y por enseñarme a seguir adelante aun cuando el camino parecía difícil. Gran parte de lo que hoy soy y de lo que he logrado se lo debo a usted. Este sueño cumplido también lleva su esfuerzo, su cariño y todo aquello que sembró en mí.

A mis hermanos, Carlos Estefano y Miguel Ángel, por su apoyo, su compañía y por estar presentes en los momentos importantes de mi vida. Gracias por ser parte de este camino y por compartir conmigo cada alegría y cada dificultad.

A mis queridas tías, por su cariño sincero, sus palabras de aliento y por acompañarme siempre con ese amor que solo la familia sabe brindar. Su apoyo ha sido una parte especial de este recorrido.

Este logro representa mucho más que la culminación de una etapa; representa el amor, el esfuerzo y la presencia de quienes nunca dejaron de creer en mí. A ustedes les dedico estas páginas, porque forman parte de mi historia y porque cada uno dejó una huella que llevaré conmigo para siempre.

Andres Berrazueta

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: “Diseño de un sistema Automatizado para el control y seguimiento de vacunación en mascotas.”

Autores:

Andres Sebastián Berrazueta Salguero

Cordero Saquina Christian Marcelo

RESUMEN

La presente investigación aborda la ineficiencia operativa en el control y seguimiento de esquemas de vacunación en la clínica veterinaria Sira Pets (cantón Rumiñahui), derivada del uso de procesos manuales que generan ausentismo en citas y sobrecarga administrativa. El objetivo principal consistió en diseñar un sistema automatizado para la gestión integral de vacunación. La metodología aplicó un enfoque mixto con alcance descriptivo-propositivo bajo la filosofía Kaizen, ejecutado en tres etapas: diagnóstico del proceso, diseño de la arquitectura del software y validación mediante un prototipo funcional. En el diagnóstico se constató un 36% de insatisfacción en la actualización de registros y una cobertura de notificación de solo el 30%. Para solucionar esta problemática, se desarrolló una aplicación web en Python con Streamlit estructurada en tres capas (operativa, analítica y predictiva). La herramienta integró el procesamiento de datos transaccionales con un módulo de notificaciones interactivas vía Gmail SMTP, un registro contable inmutable de inventario y un modelo predictivo Random Forest ($k=5$) para estimar el riesgo de incumplimiento del esquema. La prueba piloto demostró que el sistema reduce el tiempo de gestión de recordatorios de 3-5 minutos a menos de 5 segundos por transacción, alcanzando el 100% de cobertura en pacientes con vencimiento a 30 días. Asimismo, el modelo predictivo alcanzó una precisión del 83%, funcionando como un Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS) para el profesional médico. Se concluye que la automatización optimiza la trazabilidad sanitaria, fortalece la atención al cliente y elimina errores de digitalización sin incurrir en costos de licenciamiento.

Palabras clave: Automatización de procesos, seguimiento de vacunación, Streamlit, Python, Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS).

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: “Design of an automated system for monitoring and tracking pet vaccinations”.

Authors:

Andres Sebastián Berrazueta Salguero

Cordero Saquina Christian Marcelo

ABSTRACT

This research addresses the operational inefficiency in monitoring and tracking vaccination schedules at the Sira Pets veterinary clinic (Rumiñahui canton), caused by manual processes that lead to appointment absenteeism and administrative overload. The main objective was to design an automated system for comprehensive vaccination management. The methodology applied a mixed-methods approach with a descriptive-propose scope under the Kaizen philosophy, executed in three stages: process diagnosis, software architecture design, and validation through a functional prototype. The diagnosis revealed a 36% dissatisfaction rate regarding record updates and a notification coverage of only 30%. To solve this issue, a Python web application was developed using Streamlit, structured into three layers (operational, analytical, and predictive). The tool integrated transactional data processing with an interactive notification module via Gmail SMTP, an immutable accounting stock registry, and a Random Forest predictive model ($k=5$) to estimate the risk of non-compliance with the vaccination schedule. The pilot test demonstrated that the system reduces reminder management time from 3–5 minutes to under 5 seconds per transaction, achieving 100% coverage for patients due within 30 days. Additionally, the predictive model reached an overall accuracy of 83%, operating as a Decision Support System (DSS) for the veterinary staff. In conclusion, automation optimizes sanitary traceability, enhances customer service, and eliminates manual data entry errors without incurring software licensing costs.

Keywords: Process automation, vaccination tracking, Streamlit, Python, Decision Support System (DSS).

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: “**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL Y SEGUIMIENTO DE VACUNACIÓN EN MASCOTAS**” presentado por: **Berrazueta Salguero Andres Sebastián y Cordero Saquina Christian Marcelo**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Industrial**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Agosto del 2026

Atentamente,



Mg. Nelson Wilfrido Guagchinga Chicaiza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI:0503246415

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUDITORIA	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1. INFORMACIÓN GENERAL	17
2. INTRODUCCIÓN.....	18
2.1. Situación Problemática	19
2.2. Formulación del problema.....	19
2.3. Objeto y campo de acción	20
2.3.1. Objeto de estudio	20
2.3.2. Campo de acción	20
2.4. Beneficiarios	20
2.4.1. Beneficiarios directos	20
2.4.2. Beneficiarios indirectos	21
2.5. Justificación.....	22
2.6. Objetivos.....	23
2.6.1. Objetivo General.....	23
2.6.2. Objetivos Específicos	23
2.7. Sistema de tareas	24
3. Fundamentación Teórica	25
3.1. Antecedentes.....	25
3.2. Marco Referencial	26
3.2.1. Sistemas de Información	26
3.2.1.1. Componentes que conforman un sistema de información	27
3.2.1.2. Beneficios.....	27
3.2.1.3. Aplicación en clínicas veterinarias.....	28
3.2.2. Automatización de Procesos.....	28
3.2.2.3. Automatización en Veterinarias	29
3.2.3. Gestión de vacunación de mascotas	29
3.2.3.1. Calendario de Vacunación.....	31
3.2.3.2. Control y seguimineto de vacunación	31
3.2.4. Sistema Web	32

3.2.4.1.	Arquitectura del sistema (cliente-servidor).....	32
3.2.4.2.	Arquitectura del sistema (tres capas)	33
3.2.4.3.	Ventajas	33
3.2.5.	Phyton.....	33
3.2.5.1.	Características	33
3.2.5.2.	Desarrollo del sistema web con Phyton	34
3.2.5.3.	Vinculación base de datos - Phyton.....	34
3.2.5.4.	Correos electrónicos Automatizados	34
3.2.5.5.	Web Scraping	35
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	35
4.1.	Diseño de investigación y enfoque metodológico	35
4.2.	Diseño y Alcance	37
4.3.	Tipo de Investigación	37
4.4.	Población, muestra y unidad de análisis	38
4.5.	Técnicas e Instrumentos	39
4.6.	Carácter de la Investigación	40
4.7.	Fases de la investigación	40
4.8.	Variables y preparación de los datos	41
5.	Análisis y Discusión de los Resultados	44
5.1.	Desarrollo del Objetivo 1	44
5.1.1.	Actividad 1:	44
5.1.2.	Actividad 2: Encuesta a los clientes de la clínica SIRA PETS	48
5.1.2.1.	Análisis General de la encuesta.....	58
5.1.3.	Actividad 3: Definición de requisitos y funcionalidad del sistema	59
5.2.	Desarrollo del Objetivo 2.	61
5.2.1.	Actividad 1: Arquitectura general del sistema.	61
5.2.2.	Actividad 2: Diseño de la base de datos con la información de paciente, propietario y vacunación.	63
5.2.3.	Actividad 3: Diseño de módulos como registro, consulta, recordatorios y actualización	66
5.2.4.	Actividad 4: Realización de diagramas del funcionamiento del sistema.	69
5.2.5.	Actividad 5: Programación del sistema.	72
5.3.	Desarrollo del Objetivo 3.	77
5.3.1.	Actividad 1: Prueba Piloto.....	78
5.3.2.	Actividad 2: Capacitación al personal	80

5.4.	Análisis General de los Resultados	80
5.5.	Discusión	90
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
6.1.	Conclusiones.....	91
6.2.	Recomendaciones	92
7.	Bibliografía.....	93
	Anexos.....	97
	Anexo 1 Encuesta	97
	Anexo 2 Guía Técnica para la Instalación, Configuración y Replicación del Prototipo...	101
	Anexo 3 Informe de Usabilidad del sistema.....	104
	Anexo 4 Manual de Usuario.....	114
	Anexo 5 Aval de la empresa	118

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Elementos del Sistema de Información.....	27
Figura 2 Imagen generada a través de Copilot, prompt “Automatización de procesos”, 2026 [18]	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3 Flujo del sistema de recordatorios de vacunación	44
Figura 4 Diagrama de procesos de vacunación de la clínica veterinaria SIRA PETS.....	45
Figura 5 Proceso Manual de recordatorio.....	47
Figura 6 Tipos de mascota	48
Figura 7 Frecuencia de visita.....	49
Figura 8 Registro de vacunas actualizado	50
Figura 9 Olvido la fecha de vacunación	51
Figura 10 Importancia de recordatorios	52
Figura 11 Problemas de seguimiento.....	53
Figura 12 Consulta de historial de vacunación.....	54
Figura 13 Aceptación de un sistema automatizado para la gestión de historial de vacunación	55
Figura 14 Aceptación de notificaciones a través de correo electrónico	56
Figura 15 Sistema automatizado mejora la atención.....	57
Figura 16 Beneficios por la aplicación del sistema automatizado.....	58
Figura 17 Organización interna	63
Figura 18 Panel de registro de vacunas	66

Figura 19 Reportes	67
Figura 20 Recordatorios	68
Figura 21 Correo recibido en la bandeja de entrada de Gmail	68
Figura 22 Control de inventario	69
Figura 23 Arquitectura general	70
Figura 24 Diagrama de Flujo del sistema.....	70
Figura 25 Diagrama de flujo predictivo y apoyo.....	71
Figura 26 Matriz de confusión clasificación binaria	74
Figura 27 Matriz de confusión clasificación multiclase.....	75
Figura 28 Matriz de confusión clasificación binaria con datos desbalanceados	76
Figura 29 Curvas ROC de la capacidad de clasificación del estado de vacunación de mascotas	77
Figura 30 Matriz de confusión	82
Figura 31 Diagrama de flujo del proceso automatizado de envío de recordatorios de vacunación.	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Modalidad de Titulación	17
<i>Tabla 2 Campos de Ciencia y Tecnología UNESCO [1]</i>	<i>17</i>
Tabla 3 Beneficiarios Directos de la clínica veterinaria	21
Tabla 4 Beneficiarios Directos e Indirectos.....	22
<i>Tabla 5 Sistema de tareas</i>	<i>24</i>
Tabla 6 Vacunación para felinos	30
Tabla 7 Vacunación en caninos.....	30
Tabla 8 Hallazgos del diagnóstico	41
Tabla 9 Estructura de datos del cliente	42
Tabla 10 Datos para el recordatorio de vacunación.....	43
Tabla 11 Tipo de mascota	48
Tabla 12 Frecuencia de visita	49
Tabla 13 Registro de vacunas actualizado	50
Tabla 14 Olvidó la fecha de vacunación.....	51
Tabla 15 Importancia de recordatorios	51

Tabla 16 Problemas de seguimiento	52
Tabla 17 Consulta de historial de vacunación	53
Tabla 18 Aceptación de un sistema automatizado para la gestión de historial de vacunación.	54
Tabla 19 Aceptación de notificaciones a través de correo electrónico	55
Tabla 20 Sistema automatizado mejora la atención.....	56
Tabla 21 Beneficios por la aplicación del sistema automatizado	57
Tabla 22 componentes que conforman la arquitectura	62
Tabla 23 Diccionario de datos	64
Tabla 24 Librerías	73
Tabla 25 Validación	79
Tabla 26 Capacitaciones	80
Tabla 27 Cuadro comparativo Escenario Inicial vs Sistema SIRA PETS	86
Tabla 28 Resultados de la evaluación mediante SUS en Sira Pets.....	88

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Diseño de un sistema automatizado para el control y seguimiento de vacunación en mascotas.

Modalidad de titulación:

En la Tabla 1 se presenta la modalidad de titulación seleccionada para el desarrollo del proyecto:

Tabla 1 Modalidad de Titulación

Modalidad de titulación	Homologaciones para informe final de titulación	Selección
Proyecto de investigación	Informe de proyecto de investigación.	X
	Patente, modelo de utilidad, certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	

Trabajo de titulación Vinculado al Proyecto: Transformación Digital: El impacto de las tecnologías 4.0 en la industria y academia.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Tutor: Dr. Andrango Guayasamín Raúl Heriberto

Autores:

- Christian Marcelo Cordero Saquina
- Andres Sebastián Berrazueta Salguero

Área de conocimiento:

En la Tabla 2 se presenta el área de conocimiento de la UNESCO relacionada con el proyecto.

Tabla 2 Campos de Ciencia y Tecnología UNESCO [1]

Área de conocimiento	Subárea de conocimiento	Subárea específica de conocimiento
07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 ingeniería y Profesiones Afines	0714 electrónica y automatización

Línea de investigación: Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Innovación tecnológica de los sistemas productivos.

2. INTRODUCCIÓN

A nivel global, el sector de la salud animal ha experimentado una importante transformación digital impulsada por la necesidad de optimizar procesos administrativos y elevar la calidad en la atención veterinaria. En la actualidad, el incremento en la tenencia responsable de mascotas demanda un control riguroso de los esquemas de inmunización, elemento fundamental no solo para asegurar el bienestar de los pacientes, sino también para salvaguardar la salud pública mediante la prevención de enfermedades zoonóticas.

En el contexto ecuatoriano, las pequeñas y medianas clínicas veterinarias enfrentan importantes limitaciones operativas al gestionar sus registros de manera manual o a través de herramientas discontinuas. En la clínica veterinaria Sira Pets, ubicada en el cantón Rumiñahui, la falta de un mecanismo automatizado para el seguimiento y notificación de esquemas de vacunación genera un ausentismo recurrente en las citas de refuerzo y sobrecarga al personal en tareas administrativas repetitivas. Esta ineficiencia no solo incrementa los tiempos de atención, sino que expone a los pacientes al vencimiento de sus dosis de inmunización.

Para hacer frente a esta problemática, el presente trabajo plantea el diseño y desarrollo de una solución tecnológica orientada a la optimización del seguimiento sanitario. La propuesta integra el procesamiento analítico de los datos generados por el software de gestión veterinaria GNET con un algoritmo desarrollado en lenguaje Python mediante la librería Pandas y el protocolo de comunicación SMTP. Esta arquitectura permite automatizar el filtrado de registros y la emisión masiva de recordatorios personalizados por correo electrónico previo a la fecha de vencimiento de cada vacuna, logrando reducir tiempos de procesamiento de horas a segundos.

La implementación de este prototipo contribuye a la eliminación de cuellos de botella operativos mediante la sustitución de tareas manuales por procesamiento vectorizado de datos. Al mismo tiempo, fortalece la relación entre la clínica y sus clientes al incrementar la adherencia a los tratamientos preventivos, consolidando una gestión clínica más eficiente y un mejor control sanitario en la comunidad. Para abordar de manera sistemática esta propuesta, la investigación contempla el diagnóstico de la situación operativa inicial, la formulación de la arquitectura algorítmica y la validación del prototipo mediante pruebas de rendimiento en entorno real.

El cuerpo del presente documento se organiza de forma lógica para detallar el desarrollo de la investigación. En primera instancia, se presentan la delimitación del problema, la justificación

y los objetivos planteados. Posteriormente, se aborda el sustento teórico que fundamenta las herramientas tecnológicas utilizadas. En la sección metodológica se describe el diseño del algoritmo y el procedimiento de integración de datos. Finalmente, se exhiben el análisis de los resultados obtenidos tras las pruebas de ejecución y las consideraciones finales derivadas de la implementación.

2.1.Situación Problemática

Hoy en día, la vacunación en las mascotas es fundamental dentro de la salud animal previniendo las enfermedades zoonóticas por ello el control y seguimiento de las mismas es importante. Por otro lado, en varias unidades veterinarias y ámbitos domésticos, los registros de vacunación se lo han realizado de forma manual o les falta estructura generando limitaciones en la gestión de información [2, 3].

En la clínica SIRA PETS, la problemática principal que se ha verificado es la carencia de sistemas donde se pueda almacenar y consultar de forma rápida un historial de vacunas en las mascotas. En este contexto se genera en la mayoría de veces duplicidad de los registros, pérdidas de datos, limitaciones en el acceso a la información en el momento oportuno [3, 4]. La falta de sistemas automatizados en notificaciones obstaculiza el cumplimiento del calendario de vacunación, este factor da énfasis a que los propietarios dependen netamente de los recordatorios informales o de sí mismos [5].

Desde el contexto operativo, estas limitaciones han generado reducción en los procesos de atención dentro de la clínica, aumentando los tiempos de búsqueda de la información, dando a notar la ineficiencia en el control de la vacunación de las mascotas, La falta de herramientas tecnológicas que enlacen la información limita la trazabilidad de datos, lo que es fundamental para la toma de decisiones y el seguimiento de la salud animal.

2.2.Formulación del problema

¿Cómo optimizar el control y seguimiento de esquemas de vacunación en la clínica veterinaria SIRA PETS mediante un sistema de información enfocado en la automatización de notificaciones?,

2.3.Objeto y campo de acción

2.3.1. Objeto de estudio

La presente investigación tiene como objetivo principal el control y seguimiento de la vacunación de mascotas, encaminado bajo los lineamientos de gestión de información, registro y cumplimiento del calendario de las vacunas, a través un sistema automatiza.

2.3.2. Campo de acción

De acuerdo con el código de la UNESCO para la ciencia, este estudio se ubica dentro del campo detallado:

Código UNESCO: 3310.03 Procesos Industriales

2.4.Beneficiarios

2.4.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos de esta investigación serán el equipo médico veterinario y el personal auxiliar de la clínica SIRA PETS, integrado por 10 personas. La implementación de herramientas tecnológicas permitirá facilitar varias de sus actividades diarias, mejorar la organización de la información y disponer de datos de manera más oportuna para apoyar la toma de decisiones durante la atención veterinaria.

De igual manera, los propietarios de las mascotas y los pacientes atendidos también se verán beneficiados, ya que se espera brindar una atención más ágil, organizada y eficiente. Además, el sistema servirá como una herramienta de apoyo para orientar al personal veterinario en la identificación de posibles enfermedades, permitiendo aprovechar de mejor manera la información clínica disponible y contribuir a una atención más adecuada para cada mascota.

En la Tabla 3 se detallan los beneficiarios directos del proyecto, es decir, las personas y áreas de la clínica que recibirán de manera inmediata los beneficios derivados de la implementación de la propuesta.

Tabla 3 Beneficiarios Directos de la clínica veterinaria

Departamento	Beneficiario Directo	Cantidad	Beneficio directo	Impacto operativo
Área Médica y Quirúrgica	Médicos veterinarios	4	Contarán con una herramienta de apoyo para orientar la valoración clínica mediante la identificación de enfermedades frecuentes a partir de modelos de aprendizaje automático.	Permitirá disponer de información organizada y oportuna para complementar el criterio profesional, facilitando la atención y el seguimiento de cada paciente.
Atención Auxiliar y Clínica	Personal auxiliar y técnico de enfermería	4	Tendrán acceso a historiales clínicos digitalizados, estructurados y disponibles de forma rápida durante el proceso de atención.	Se espera agilizar el registro y la consulta de información, disminuir errores asociados al manejo manual de datos y facilitar el seguimiento de los pacientes.
Administración y Recepción	Recepción y Gerencia	2	Optimización del flujo de atención al cliente y gestión eficiente de la agenda y turnos de consulta.	Disminución de tiempos muertos, reducción de esperas en sala y mejor toma de decisiones.
Total	Personal beneficiario directo de SIRA PETS	10	Integración de herramientas tecnológicas en los principales procesos clínicos y administrativos de la veterinaria.	Mejora de la organización interna, mayor agilidad en la atención y mejor aprovechamiento de la información disponible.

Fuente: Los autores

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Las familias del personal, los propietarios de las mascotas y los proveedores vinculados a SIRA PETS también se beneficiarán de manera indirecta. Una atención veterinaria más organizada y eficiente contribuye a generar mayor confianza en los servicios de la clínica, favorece el bienestar de las familias responsables de las mascotas y fortalece la relación con los proveedores y demás actores relacionados con su funcionamiento.

En la Tabla 4 se detallan los beneficiarios indirectos del proyecto, considerando a las personas y actores que, aunque no participan directamente en la implementación de la propuesta, pueden verse favorecidos por las mejoras generadas en el proceso de atención veterinaria.

Tabla 4 Beneficiarios Directos e Indirectos

Beneficiario Indirecto	N° estimado (mensual)	Descripción del beneficiario indirecto
Propietarios de mascotas (Clientes)	150	Recibirán una atención más ágil y organizada, con acceso a información clínica mejor estructurada y un proceso de atención que facilita el seguimiento de sus mascotas. Esto puede contribuir a mejorar su experiencia y fortalecer la confianza en los servicios de la clínica.
Pacientes animales	180	Se beneficiarán de una atención más ordenada y del acceso oportuno a sus antecedentes clínicos. Además, el sistema servirá como apoyo al profesional veterinario para orientar la valoración de posibles enfermedades y dar un mejor seguimiento a cada paciente.
Proveedores de insumos y fármacos	5	Una gestión más organizada de los pacientes y de sus necesidades clínicas permitirá prever con mayor claridad los requerimientos de insumos y medicamentos, facilitando la planificación de pedidos y la coordinación con los proveedores.
Total estimado	335	Los beneficios indirectos se reflejan principalmente en una mejor experiencia de atención, mayor organización de la información clínica y una coordinación más eficiente de los recursos necesarios para el funcionamiento de SIRA PETS.

Fuente: Los autores

2.5. Justificación

La investigación busca mejorar el control y seguimiento la necesidad de mejorar el control y seguimiento de vacunación en mascotas, actualmente este proceso se lo ha venido realizando en forma manual o registros no organizados, lo que da lugar a la obstaculización de llevar un control oportuno y adecuado. En este punto inicia un gran problema como la falta de cumplimiento de calendario de vacunas, pérdida de datos y búsqueda de registros clínicos de las mascotas. [6]

Para esto hay que considerar que el problema que se abordó a través de la implementación de la automatización y herramientas tecnológicas con el objetivo de optimizar la gestión de la información y minimizar los errores humanos [7]. El avance sistemático permite almacenar, organizar y consultar información de forma efectiva, dando lugar a la mejora continua de la calidad del servicio clínico veterinario [8].

Desde el punto de vista práctico, la clínica SIRA PETS aportará con la información necesaria para el cumplimiento de esta investigación, facilitando la implementación de un sistema que garantice el control y seguimiento de vacunación en las mascotas dando lugar a la reducción de riesgos sanitarios y promoviendo la tenencia responsable de los animales. Además, representa una oportunidad para contribuir al bienestar y prevención de patologías que afecta al ser humano y mascotas. Finalmente, se considera que el presente estudio es viable, ya que permite

el desarrollo de nuevos sistemas que se puede realizar con herramientas tecnológicas, que garantizan la implementación del mismo en diferentes ámbitos.

2.6.Objetivos

2.6.1. Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado para el control y seguimiento de vacunación en mascotas.

2.6.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el proceso actual de gestión y seguimiento de vacunación en la clínica veterinaria SIRA PETS, identificando deficiencias, requerimientos y oportunidades de mejora.
- Diseñar la arquitectura del sistema automatizado para la gestión integral de la información de vacunación.
- Implementar un prototipo funcional del sistema que permita el registro, consulta, actualización y generación automática de recordatorios de vacunación.

2.7.Sistema de tareas

Tabla 5 Sistema de tareas

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Diagnosticar el proceso actual de gestión y seguimiento de vacunación en la clínica veterinaria SIRA PETS, identificando deficiencias, requerimientos y oportunidades de mejora.	- Verificación de procesos de seguimiento de vacunas. - Definición de requisitos y funcionalidad del sistema.	- Situación actual del proceso de vacunación. - Identificación de problemas con el registro y control de vacunación	Técnica: Revisión documental, Observación directa, Encuesta, Análisis de procesos Instrumento: Historias clínicas, Guía de observación, Cuestionario de encuesta, Diagrama de flujo.
Diseñar la arquitectura del sistema automatizado para la gestión integral de la información de vacunación	- Diseño de la Arquitectura general del sistema. - Diseño de la base de datos con la información de paciente propietario y vacunación. - Diseño de módulos como registro, consulta, recordatorios y actualización. - Realización de diagramas del funcionamiento del sistema, programación del sistema.	- Diagrama de funcionamiento - Documentación técnica del sistema	Técnica: Aprendizaje automático, Análisis comparativo, Validación de modelos. Instrumento: Python, Scikit-learn, Google Colab, Matriz de confusión,
Implementar un prototipo funcional del sistema que permita el registro, consulta, actualización y generación automática de recordatorios de vacunación	- Diseñar el proceso de vacunación mejorado. - Definir indicadores de desempeño. - Diseñar un dashboard y ficha estandarizada.	- Diagrama del proceso mejorado. - Dashboard de apoyo a la gestión veterinaria y registro de vacunación. - Propuesta de implementación.	Técnica: Análisis comparativo, Juicio de expertos. Instrumento: Diagrama de flujo,

Elaborado por: El autor

3. Fundamentación Teórica

3.1. Antecedentes

El proyecto de titulación “Diseño de un sistema automatizado para el control y seguimiento de vacunación en mascotas” tomando en cuenta las diferentes técnicas, herramientas y mecanismos que han sido aplicados en diferentes estudios para encaminar esta investigación:

De acuerdo Pincay Ponce y Pisco Bello [9], en el trabajo de titulación “Implementación de una aplicación móvil para el registro y control de mascota en la veterinaria PET START”, sustentan que el estudio tuvo la finalidad de automatizar los procesos de registro y control a través de una aplicación móvil, permitiendo el reemplazo de los registros manuales dentro de esta app se puede verificar agendamiento de citas e historial clínico de las mascotas. El resultado fue favorable ya que se mostró una organización mejorada de los datos del paciente, minimización de tiempos de atención y maximización de procesos administrativos de la clínica.

Según Luna Arteaga y Paredes Guano [10], realizaron su trabajo investigativo titulado “Desarrollo de un sistema web para la gestión de historias clínicas y asistencia telemática mediante un chatbot utilizando la metodología Lean Thinking Developer en la clínica veterinaria “Mundo Mascotas” del Cantón Guaranda”, este estudio tiene el objetivo de mejorar la gestión de procesos internos implementando un sistema web para organizar y administrar las historias clínicas de las mascotas, minimizando tiempos de búsqueda, maximizando disponibilidad de los datos. Este estudio muestra que la aplicación de este sistema web garantiza la concentración de datos y mejora de la calidad del servicio dentro de la clínica veterinaria.

Para Marín Fajardo y Tatez Luzardo [11], en el trabajo de tesis “Implementación de un sistema web y móvil en casos de hemo parasitosis en perro utilizando Machine Learning en la veterinaria Animal Place”, esta investigación se basa en la implementación de un sistema web y móvil que permite la gestión de datos de los caninos en la clínica veterinaria, brindando una supervisión minuciosa para la continuidad del tratamiento, además, facilita el acceso a las historias clínicas. Los resultados fueron favorables, ya que el sistema automatizado garantiza la mejora de la calidad del servicio y mejora la toma de decisiones, lo que asocia con la presente investigación que encamina al control y seguimiento de vacunación.

García, Cruz y Jaramillo [12], en su publicación “Planes de vacunación en animales de compañía y sistemas de producción en equinos y bovinos” presentado en la revista MVZ Córdova, en el cual manifiestan que el control y seguimiento de vacunación para prevenir

patologías y avalar el bienestar animal. Además, los actores de este estudio sustentan que la supervisión de las vacunas es importante para fortalecer la inmunización y garantizar una buena gestión de la información de los animales.

3.2.Marco Referencial

3.2.1. Sistemas de Información

Hoy en día, las empresas se han impulsado en la innovación adoptando nuevas tecnologías que den lugar a la optimización de procesos de la gestión de información. En este punto, los sistemas de la información se asocian con la implementación de herramientas que contribuyen a la recopilación, almacenamiento, procesamiento y distribución de los datos, de tal forma que estos estén organizados y minimicen los procesos de búsqueda, garantizando el cumplimiento y toma de decisiones ante los escenarios presentes de la institución. La aplicación de estos sistemas se ha ampliado en varios sectores como salud, comercio, educación, entre otros, ya que se han visto en la necesidad de organizar una gran cantidad de datos e información [13].

Según Laudon y Laudon [14], sustentan que un sistema de información es un grupo de elementos relacionados que permiten procesar, recopilar, distribuir y almacenar una serie de datos que garantizan la evaluación y análisis dentro de una entidad. Esta contextualización integra documentación, datos cuantificados, procedimientos, personas y tecnologías vinculadas para un trabajo óptimo satisfaciendo las necesidades específicas.

En el contexto veterinario, la aplicación de un sistema de información garantiza el control y seguimiento de los pacientes, optimizando los tiempos de búsqueda, seguimiento de vacunación y mejora la calidad del servicio veterinario [13].

Por otro lado, la elevación en la utilización de la tecnología especialmente las aplicaciones web y móviles ha sido esencial para el crecimiento del sistema de información que mantenga acceso desde cualquier lugar con la conexión ciberespacio, posibilitando la información en tiempo real para los beneficiarios. Lo que ha sido fundamental para las Veterinarias donde la adquisición de los datos sea accesible para fortalecer la atención y prevenir patologías zoonosis [13].

3.2.1.1. Componentes que conforman un sistema de información

El sistema de información tiene varios componentes que se asocian entre sí para la cambiar datos en información que es utilizada para mejorar la organización de una entidad y la toma de decisiones [15]. Entre los componentes se tiene:

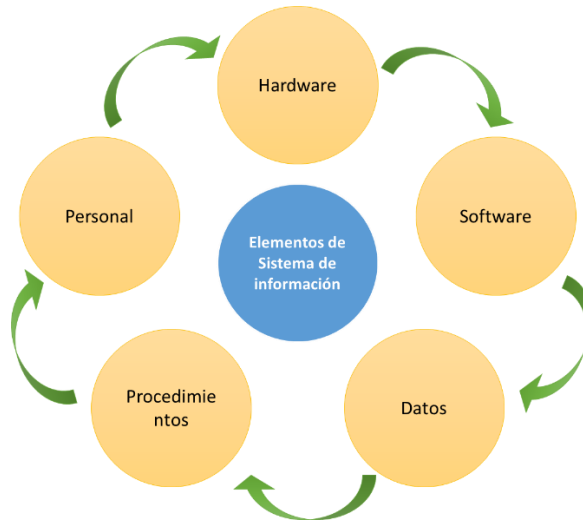


Figura 1 Elementos del Sistema de Información

- **Hardware:** Grupo de dispositivos físicos
- **Software:** Ejecuta las funcionalidades del sistema de información (S.I.)
- **Datos:** Simbolizan la materia prima (M.P.) del Sistema
- **Personal:** Cumplen con la función de ingreso, organización y análisis de los datos
- **Procedimientos:** Funcionamiento del Sistema.

3.2.1.2. Beneficios

La aplicación de un Sistema de información manifiesta grandes ventajas para las empresas y usuarios [16, 17] entre ellos se tiene:

- Maximización de los procesos organizativos
- Minimiza tiempos de búsqueda
- Minimiza errores humanos
- Incremento de la eficiencia
- Mejora la toma de decisiones
- Mejora la calidad de servicio

Para una clínica veterinaria, los beneficios mencionados muestran una organización más eficiente en la historia clínica de los pacientes y mejora la comunicación con los dueños [13]

3.2.1.3. Aplicación en clínicas veterinarias

Con el transcurso del tiempo, la tecnología avanza a pasos grandes lo que ha dado lugar a que las clínicas veterinarias acojan sistemas de procesamiento de datos que se ajusten a las necesidades de la entidad fortaleciendo la administración y atención de pacientes. Además, se puede integrar factores que estén asociados con el registro, agendamiento de citas, disponibilidad y acceso a las historias médicas [13].

De acuerdo con Fuentes Manosalvas [17], que sustenta que la aplicación de sistemas informáticos dentro de las clínicas veterinarias maximiza la atención de pacientes, reduce tiempos de respuesta y tiempos de búsqueda lo que da lugar al mejoramiento de la organización elevando la eficiencia del mismo.

3.2.2. Automatización de Procesos

Automatización de procesos es la integración de varios recursos tecnológicos que permitan realizar las diferentes actividades de forma automática y en algunos casos semiautomática, minimizando la intervención humana y maximizando la utilización de los recursos. Actualmente, el mecanismo estratégico es para el mejoramiento de productividad de la organización y la adquisición de los datos en tiempo real para mejorar la toma de decisiones de las entidades [16].

La era digital impulsa a la automatización en campos como sanidad, servicio, comercio y educación. En este sentido, el registro, consultas y almacenamiento que por lo general están relacionados con procesos manuales aparte de generar demoras existe una dupla de información y limita el seguimiento de los usuarios oportunamente. La aplicación de los sistemas automatizados toma un lugar importante para la mejora continua de la gestión de la información [19].

3.2.2.1. Automatización en la administración

Hay que hacer énfasis en este punto, ya que la automatización dentro de la administración ha dado lugar a la centralización de una base de datos como única plataforma, garantizando la coordinación de acceso a la información de varias actividades de trabajo. Contribuye a la

minimización de los costos y reducción de tiempos de respuesta y garantiza la toma de decisiones ante diferentes escenarios presentes en la compañía con datos en tiempo real [20].

Algunos estudios similares coinciden que la automatización en procesos administrativos aumenta la productividad de la organización. Para Obando et al [13], la gestión administrativa tiene que ser automatizada para mejorar los registros y seguimiento para un control minucioso a los pacientes dentro de las clínicas veterinarias.

De la misma forma Fuentes Manosalvas [17], hace énfasis en que la gestión veterinaria ayuda a minimizar tiempos de consulta y eleva la productividad de la entidad manteniendo la calidad del servicio a los propietarios de las mascotas.

3.2.2.2.Beneficios

Los beneficios de la automatización son elevados tanto para las empresas como para sus consumidores; entre los más destacados se tiene:

- Minimiza tiempos en tareas repetitivas
- Reduce los errores manuales
- Centra la información empresarial
- Maximiza el uso de recursos
- Eleva la productividad
- Mejora la supervisión de tareas operativas
- Disponibilidad y accesibilidad de la información

3.2.2.3.Automatización en Veterinarias

En el último periodo, se ha visto la necesidad de vincular soluciones tecnológicas en clínicas veterinarias para el mejoramiento de la gestión de información médica y organizativa. Hoy en día la automatización ha reemplazado los registros manuales por plataformas digitales permitiendo el almacenaje, programación de citas y control de inventarios

3.2.3. Gestión de vacunación de mascotas

La vacunación se basa en la táctica más fundamental en veterinaria preventiva, ya que da lugar a la protección de animales frente a patologías infecciosas perjudiciales a la salud, en casos más

graves pérdida de la vida. Las vacunas fortalecen el sistema inmunológico lo que ayuda a la defensa ante infecciones, minimiza la gravedad y reduce el contagio.

De acuerdo con la Organización Mundial de Sanidad Animal [21], es importante que la vacunación este presente para el control y prevención de las enfermedades y propagación de la misma en las mascotas, lo que beneficia a la salud minimizando las patologías zoonóticas.

Para las mascotas que por lo general son felinos y caninos, la vacunación es indispensable para la prevención. La inmunización debe ser de acuerdo con a la edad de la mascota y riesgos epidemiológicos que se encuentren presentes [22]. Para ello, se pudo detallar en la tabla 3 y 4 la vacunación tanto para los felinos como para los canes.

Tabla 6 Vacunación para felinos

Vacuna	Edad
FVRCP (trivalente)	De 8 a 9 semanas
Test FelV/FIV previo	
FVRCP (2da dosis)	De 12 semanas
Laucemia	
FVRCP (3ra dosis) y Rabia	De 16 semanas
FVRCP y Rabia (refuerzo)	De 1 año
FeLV	
Refuerzo	Adulto (c/3 años)

Fuente: Los autores

Tabla 7 Vacunación en caninos

Vacuna	Edad
DHPPi	De 6 a 8 semanas
DHPPi (2da dosis)	De 10 a 12 semanas
Leptospirosis	
DHPPi (3ra dosis) y Rabia	De 14 a 16 semanas
Borrelia, gripe canina, bordetella y Leptospira	
DHPPi (refuerzo) y Rabia	De 1 año
Refuerzo	Adulto (c/3 años)

Fuente: Los autores

3.2.3.1. Calendario de Vacunación

Para esta fase el control de vacunación de acuerdo a la edad de las mascotas debe tomar en cuenta lo antes detallado para garantizar una adecuada inmunización. Cumpliendo con el calendario minimiza la probabilidad de patologías prevenibles [22].

Existen algunos puntos necesarios para la dosis exacta de vacunación:

- Especie
- Edad
- Condición de sanidad
- Entorno
- Riesgo epidemiológico

Por lo general, la planificación de vacunas toma inicio desde las primeras semanas de nacimiento y posteriormente los refuerzos [23].

Estos datos son sumamente fundamentales para su correcto registro de fichas médicas, No obstante, este proceso se lo realiza de manera manual, lo que produce duplicidad, pérdidas de los datos del paciente y errores humanos, limitando el cumplimiento de los lineamientos de sanidad [24].

3.2.3.2. Control y seguimineto de vacunación

Una buena gestión de vacunación se asocia a tareas planificadas que comprende al resgitros, control y seguimiento de la aplicación de las mismas en las mascotas. Este factor adquiere información específica como se lo ha mencionado en el apartado anterior junto con la comunicación a sus dueños [13].

En los ultimos años, una gran cantidad de clínicas vetrinarias aún mantienen los registros manuales o utilizan herramientas básicas como Excel para su registro. Aunque, este metodo almecena información cuentan con limitaciones en el contexto administrativo, acceso y seguimeitno automatizado [17].

Esta información ha brindado un mejor entendimiento para aplicar un sistema automatizado que sirva como un eje principal de datos y generación de recordatorios para los consumidores.

De tal manera que permita el cumplimiento con el calendario de vacunación y mejora continua en los procesos de organización del mismo dentro de las clínicas veterinarias.

3.2.4. Sistema Web

Los sistemas web son aplicaciones que funcionan a través de navegadores de internet, permitiendo a los usuarios interactuar con información y servicios sin necesidad de instalar software adicional en sus dispositivos. Estos sistemas se ejecutan en servidores remotos y se accede a ellos mediante una conexión a internet, lo que facilita el acceso desde cualquier lugar y dispositivo con conectividad [25].

Según Pressman [25], un sistema web es una aplicación que se distribuye a través de redes, se desarrolla utilizando tecnologías web estándar y se presenta a los usuarios a través de interfaces gráficas en navegadores. Esta característica los hace particularmente útiles para clínicas veterinarias, donde el personal necesita acceder a información de pacientes desde diferentes puntos de trabajo.

3.2.4.1.Arquitectura del sistema (cliente-servidor)

La arquitectura cliente-servidor es un modelo de diseño de sistemas donde las tareas se dividen entre dos componentes principales: el cliente, que solicita servicios o información, y el servidor, que procesa las solicitudes y proporciona los recursos necesarios. En el contexto de sistemas web, el cliente es típicamente el navegador del usuario, mientras que el servidor es el equipo que aloja la aplicación y los datos.

De acuerdo con Tanenbaum y Wetherall [27], este modelo permite centralizar el procesamiento y almacenamiento de datos en el servidor, mientras que los clientes pueden acceder a la información de forma remota. Para una clínica veterinaria, esto significa que todas las historias clínicas y registros de vacunación se almacenan en un servidor central, accesible desde cualquier computadora de la clínica con las credenciales adecuadas.

Las ventajas de esta arquitectura incluyen:

- Centralización de datos y control de acceso
- Facilidad de mantenimiento y actualizaciones
- Acceso remoto desde múltiples dispositivos
- Seguridad mejorada mediante autenticación centralizada

3.2.4.2.Arquitectura del sistema (tres capas)

Para organizar mejor estos sistemas, se suele usar la arquitectura de tres capas, que separa la aplicación en niveles lógicos independientes. Sommerville [28], describe estas capas como la capa de presentación, la capa de lógica de negocio y la capa de datos. La capa de presentación es la interfaz que ve el usuario en su navegador. La capa de lógica de negocio se encarga de procesar las reglas del sistema, como calcular las fechas de las próximas vacunas. Finalmente, la capa de datos es donde se almacena toda la información. En este proyecto, el sistema Gvet maneja la presentación y los datos, mientras que los scripts de Python desarrollados actúan como la lógica de negocio local para procesar la información y enviar los recordatorios.

3.2.4.3.Ventajas

El uso de sistemas web en clínicas veterinarias trae varios beneficios tanto para la operación interna como para la atención al cliente. Stair y Reynolds [29] mencionan que estos sistemas mejoran la gestión de la información y facilitan la comunicación. Al tener los datos centralizados, se evitan los errores por duplicidad de registros y se facilita el acceso a las historias clínicas. Además, al estar en la nube, el sistema siempre está actualizado y permite integrar herramientas externas, como los scripts de automatización que se proponen en esta investigación, para optimizar tareas repetitivas sin necesidad de invertir en software adicional.

3.2.5. Python

Python es un lenguaje de programación muy popular por ser fácil de leer y escribir. Lutz [30] señala que es un lenguaje interpretado y de alto nivel, lo que significa que no requiere un proceso de compilación complejo y permite desarrollar aplicaciones con menos líneas de código en comparación con otros lenguajes. Por estas razones, se eligió Python como la herramienta principal para crear el prototipo de automatización, ya que cuenta con muchas librerías que facilitan el manejo de datos y la conexión con servicios web.

3.2.5.1.Características

Una de las características más importantes de Python es que funciona en cualquier sistema operativo, ya sea Windows, Mac o Linux, sin tener que cambiar el código. Además, tiene un ecosistema de librerías muy grande. Para este proyecto se usaron librerías específicas como Selenium para automatizar el navegador web, Pandas y Openpyxl para leer y procesar los

archivos de Excel, y módulos nativos como `smtplib` para enviar los correos electrónicos. Esta variedad de herramientas permite resolver problemas complejos de manera sencilla y rápida.

3.2.5.2.Desarrollo del sistema web con Phyton

Aunque Python se usa mucho para el desarrollo de páginas web, en este proyecto se aprovechó su capacidad para la automatización de procesos. McKinney [31] destaca que Python es excelente para el análisis y manipulación de datos. En este caso, se utilizó la librería Selenium para simular la interacción de un usuario en la plataforma Gvet, permitiendo que el script inicie sesión y descargue el reporte de pacientes en formato Excel de forma automática. Posteriormente, con Pandas, se leyó ese archivo para filtrar la información de las mascotas que necesitan recordatorios.

3.2.5.3.Vinculación base de datos - Phyton

Dado que la plataforma Gvet es un sistema cerrado que no permite conexiones directas a su base de datos interna, se diseñó un modelo de vinculación a través de archivos. La documentación oficial de Python [32] explica cómo el lenguaje puede interactuar con diferentes formatos de datos de manera segura y eficiente. En lugar de conectarse a un servidor SQL, el script de Python descarga el archivo Excel generado por Gvet y lo procesa localmente. Esto garantiza que la información se maneje correctamente y se respeten las restricciones de seguridad del proveedor del software, manteniendo la integridad de los datos de la clínica.

3.2.5.4.Correos electrónicos Automatizados

La parte final del sistema es el envío automático de los recordatorios a los dueños de las mascotas. Kurose y Ross [33] explican que el protocolo SMTP es el estándar que se utiliza en internet para enviar y recibir correos electrónicos. Python incluye módulos nativos como `smtplib` y `email.mime` que facilitan esta tarea. La documentación de Python [34] detalla cómo usar estas herramientas para construir un mensaje, adjuntar el asunto y el cuerpo del texto, y enviarlo a través de un servidor seguro. En el prototipo, el script recorre la lista de mascotas filtradas, redacta un mensaje personalizado con el nombre de la mascota y el tipo de vacuna, y lo envía usando el protocolo SMTP con cifrado TLS para garantizar la seguridad de la información.

3.2.5.5. Web Scraping

Dentro de las técnicas modernas de automatización, la Automatización Robótica de Procesos (RPA) y el Web Scraping han tomado un rol fundamental en la ingeniería industrial. Según lo descrito por Van der Aalst et al. [35], el RPA consiste en el uso de software para simular las acciones humanas en interfaces digitales, permitiendo ejecutar tareas repetitivas de forma ininterrumpida. En este contexto, el Web Scraping actúa como el mecanismo que permite extraer información de páginas web que no cuentan con una conexión directa a bases de datos. Para el presente proyecto, estas técnicas se aplican mediante la librería Selenium en Python, la cual permite automatizar el navegador para iniciar sesión en la plataforma Gvet y descargar los reportes de forma nativa, eliminando la intervención manual del usuario en la extracción de datos.

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Para complementar y sustentar este proyecto se ha realizado una serie de pasos que permiten el cumplimiento de los objetivos planteados.

4.1. Diseño de investigación y enfoque metodológico

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) con un alcance descriptivo-propositivo, alineado a los lineamientos metodológicos propios de la Ingeniería Industrial. Según Hernández-Sampieri y Mendoza [26], este tipo de enfoque permite no solo diagnosticar una situación problemática existente, sino también proponer soluciones tecnológicas medibles y funcionales que optimicen los procesos organizacionales.

En la fase cualitativa, se realizó el diagnóstico del proceso actual de gestión y seguimiento de vacunación en la clínica SIRA PETS, identificando las deficiencias operativas, los flujos de información y los puntos críticos donde se generan pérdidas de tiempo y errores humanos. Esta etapa se sustentó en la observación directa, entrevistas al personal y revisión documental de los registros existentes en la plataforma Gvet.

En la fase cuantitativa, se midieron variables operativas como el tiempo promedio de envío manual de recordatorios, el porcentaje de clientes que no reciben notificaciones oportunas y el volumen de datos procesados. Estas mediciones permitieron establecer una línea base para validar la mejor propuesta mediante el prototipo automatizado.

Para la estructuración metodológica del proyecto se aplica la filosofía de mejora continua Kaizen, orientada a la eliminación de desperdicios (muda) en el flujo de trabajo, la optimización de tiempos de proceso y el involucramiento del personal. El desarrollo del proyecto se articula en las seis etapas fundamentales de la metodología Kaizen [27, 28]:

1) Selección del tema y problematización:

Identificación del cuello de botella en el seguimiento manual de vacunas en Sira Pets, priorizando el proceso por su alto impacto en el ausentismo de clientes y en la carga operativa del personal.

2) Comprensión de la situación actual y diagnóstico:

Levantamiento del flujo de proceso inicial, mapeo del tiempo de ciclo de envío de recordatorios y cuantificación de las variables operativas a partir de los datos históricos extraídos del software GVET.

3) Análisis de causas raíz:

Identificación de las causas principales de la ineficiencia mediante herramientas de ingeniería de procesos, determinando que la ausencia de automatización y el seguimiento individualizado representan las mayores restricciones del sistema.

4) Establecimiento e implementación de contramedidas:

Diseño, desarrollo e integración del prototipo en Python con la librería Pandas y el protocolo SMTP para la ejecución automatizada de notificaciones masivas.

5) Evaluación de resultados y verificación:

Medición de los nuevos tiempos de respuesta y evaluación de la tasa de efectividad en el envío masivo de correos mediante pruebas piloto con datos reales de la clínica.

6) Estandarización y sostenibilidad:

Elaboración de manuales técnicos de operación, capacitación al personal veterinario y establecimiento de lineamientos de ejecución periódica para garantizar la continuidad del cambio.

La aplicación de la filosofía Kaizen asegura que la automatización del proceso no solo aporte una solución de software, sino que transforme la cultura operativa de la clínica mediante una mejora gradual, medible y sostenible en el tiempo [27].

4.2.Diseño y Alcance

El presente estudio adopta un diseño de investigación no experimental de corte transversal con un enfoque aplicado y propositivo [26], debido a que las variables del proceso operativo y de gestión sanitaria en la clínica veterinaria Sira Pets no son manipuladas deliberadamente, sino observadas en su entorno natural durante un período de tiempo único para su posterior diagnóstico y modelación. En cuanto a su alcance, la investigación se enmarca en los niveles descriptivo, predictivo y tecnológico [26, 25]; en un primer momento, se caracteriza y cuantifica el estado actual de los esquemas de vacunación y las tasas de ausentismo de los usuarios, para posteriormente desarrollar modelos predictivos orientados a estimar el riesgo de incumplimiento de citas e implementar un prototipo web funcional (desarrollado en Python/Streamlit) que automatice la trazabilidad de expedientes y el envío de notificaciones .

4.3.Tipo de Investigación

Se clasifica como descriptiva debido a que busca especificar y caracterizar las propiedades, perfiles y dinámicas operativas de la gestión actual de vacunación en la clínica veterinaria SIRA PETS. Permite detallar y cuantificar las falencias del proceso, tales como el porcentaje de ausentismo en las citas de refuerzo, la baja cobertura de notificaciones y la sobrecarga administrativa del personal [26].

La investigación se enmarca en un diseño no experimental dado que no existe una manipulación deliberada e intencional de las variables de estudio. Los fenómenos, tiempos de atención y comportamientos de los usuarios fueron observados y analizados tal como se presentan de forma natural en el entorno operativo real de la clínica veterinaria SIRA PETS para posteriormente integrar la propuesta tecnológica [26].

Es de carácter propositivo o aplicado ya que no se limita a diagnosticar la problemática existente, sino que formula y desarrolla una solución tecnológica concreta. En este contexto, se diseñó e implementó un prototipo funcional (sistema web automatizado en Python/Streamlit con modelos predictivos y notificaciones SMTP) orientado a optimizar la trazabilidad y el control sanitario de las mascotas [26]

4.4.Población, muestra y unidad de análisis

La clínica cuenta con más de 5 años de funcionamiento y atiende una cartera activa de más de 3,000 clientes registrados en su sistema de gestión.

La operación diaria de la clínica se apoya en la plataforma Gvet (versión SaaS alojada en server7.gvetsoft.com), un software especializado en gestión veterinaria que permite el registro de historias clínicas, control de pacientes, facturación y reportes básicos. Sin embargo, como se identificó en el diagnóstico, esta herramienta no cuenta con módulos nativos de automatización de recordatorios de vacunación, lo que obliga al personal administrativo a realizar esta tarea de forma manual.

El equipo humano involucrado en el proceso está conformado por:

1. Médico veterinario principal: responsable de la aplicación de vacunas y registro clínico.
2. Auxiliares veterinarios: apoyo en atención y registro de datos.
3. Recepcionista administrativa: encargada del envío manual de recordatorios y atención al cliente.

El escenario operativo de la clínica veterinaria Sira Pets presenta características técnicas y de volumen de información determinantes para la delimitación del estudio. En primer lugar, la base de datos alojada en la plataforma GVET administra aproximadamente 3,000 registros correspondientes a clientes y mascotas, registrando una frecuencia de inmunización que oscila entre 80 y 120 aplicaciones mensuales de vacunas en especies caninas y felinas.

En cuanto al entorno tecnológico disponible, la clínica cuenta con equipos informáticos bajo sistema operativo Windows, conexión estable a internet y acceso web a la plataforma de gestión veterinaria GVET. Sin embargo, se identificó como principal restricción operativa que la licencia actual del software GVET corresponde a un nivel básico/premium que no permite la configuración de campos personalizados ni la integración directa mediante APIs externas para el despacho automático de notificaciones. Esta limitación técnica justifica la necesidad de implementar un mecanismo externo de automatización para el procesamiento y envío masivo de recordatorios sin incurrir en costos adicionales de licenciamiento.

Esta última limitación fue determinante para el diseño de la solución propuesta, ya que orientó el desarrollo hacia un modelo híbrido que complementa las funcionalidades existentes de Gvet con un script local en Python, sin requerir inversiones adicionales en licencias de software.

4.5. Técnicas e Instrumentos

Para el desarrollo de la investigación se aplicaron las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de datos, alineados con los objetivos específicos planteados:

a) Observación directa no participante

Se realizó durante un periodo de 3 semanas aproximadamente en las instalaciones de la clínica SIRA PETS, registrando mediante una ficha de observación las actividades del personal relacionadas con el seguimiento de vacunación, los tiempos invertidos y las dificultades encontradas.

b) Revisión documental

Se analizó la estructura de datos exportados desde Gvet, específicamente el archivo *Lista de clientes.xlsx*, identificando los campos disponibles y las limitaciones para el seguimiento de vacunación. Este análisis permitió definir los parámetros de diseño del sistema automatizado.

c) Encuesta a clientes

Se aplicó un cuestionario estructurado a una muestra representada por 50 clientes de la clínica a través de un formulario digital en Google Forms, cuyo propósito consistió en evaluar la percepción del usuario sobre la calidad del seguimiento de vacunación, la preferencia de canales de comunicación (correo electrónico, WhatsApp, SMS) y el nivel de interés en la recepción de recordatorios automatizados.

d) Prueba piloto controlada

Se ejecutó una prueba piloto controlada para validar el prototipo funcional mediante un subconjunto de datos reales exportados del software GVET. En esta etapa se empleó una ficha de observación y validación técnica encargada de registrar los resultados del procesamiento de la información, la efectividad en el envío de correos electrónicos y los tiempos de ejecución algorítmica.

La triangulación de estos instrumentos garantizó la validez y la confiabilidad de los datos recolectados, lo que fundamentó tanto el diagnóstico como la propuesta de solución.

4.6.Carácter de la Investigación

El estudio posee un carácter documental, de campo y aplicado, e incorpora experimentación computacional en la etapa de modelado [26]. Es de carácter documental porque utiliza como fuente primaria los registros clínicos y datos de vacunación existentes en la clínica veterinaria Sira Pets, observando la información sin intervenir en las condiciones clínicas de los pacientes. Es de campo debido a que aborda una necesidad real identificada directamente en el entorno operativo del proceso de atención veterinaria. Asimismo, posee un carácter aplicado y de experimentación computacional al desarrollar, entrenar, validar y comparar algoritmos de clasificación supervisada durante la etapa de modelado, con el propósito de determinar cuál presenta el mejor desempeño predictivo para la solución tecnológica propuesta [29].

4.7.Fases de la investigación

El diagnóstico del proceso actual de gestión y seguimiento de vacunación se realizó mediante la técnica de mapeo de procesos (BPM - Business Process Mapping) [38], identificando las actividades, responsables, tiempos y recursos involucrados en cada etapa. El proceso actual se desarrolla en las siguientes fases:

a) Fase 1: Registro de vacunación

El médico veterinario aplica la vacuna correspondiente según el calendario establecido (ver Tablas 3 y 4 del marco teórico) y registra la información en la ficha clínica digital de Gvet, incluyendo: fecha de aplicación, tipo de vacuna, lote, próximo refuerzo y observaciones.

b) Fase 2: Identificación de pacientes pendientes

El personal administrativo debe revisar manualmente los registros de Gvet para identificar qué mascotas tienen próximas vacunas. Esta actividad se realiza de forma reactiva (cuando el cliente llama o visita la clínica) o mediante revisiones periódicas no sistemáticas del listado de pacientes.

c) Fase 3: Envío de recordatorios

Cuando se identifica una mascota con vacuna próxima, el personal debe:

Buscar el correo electrónico del propietario en el registro de Gvet.

Redactar un mensaje personalizado (generalmente por WhatsApp o correo).

Enviar la notificación de forma individual.

d) Fase 4: Confirmación y agendamiento

El propietario responde a la notificación recibida y el personal médico o administrativo procede al registro y agendamiento de la cita correspondiente dentro del sistema. A continuación, en la Tabla 6 se sintetizan los principales hallazgos del diagnóstico inicial del proceso manual.

Tabla 8 Hallazgos del diagnóstico

Indicador	Valoración
Tiempo promedio por recordatorio manual	3 – 5 min
Porcentaje de clientes que reciben el recordatorio	~30%
Errores de digitación en correos	Frecuentes
Duplicidad de envíos	Ocasional
Tiempo total semanal dedicado a recordatorios	2 a 3 horas

Fuente: Los autores

Estos hallazgos evidencian oportunidades de mejora significativas en términos de eficiencia operativa, cobertura de notificaciones y reducción de errores humanos, lo que justifica la implementación del sistema automatizado propuesto.

4.8. Variables y preparación de los datos

El diseño del sistema automatizado se basa en un modelo de datos híbrido que responde a las limitaciones técnicas de la plataforma Gvet y a los requerimientos operativos de la clínica SIRA PETS. Dado que Gvet es un sistema SaaS con licencia básica que no permite la creación de campos personalizados ni la integración directa con API's externas, se diseñó un flujo de trabajo que combina la extracción automatizada de datos nativos con un proceso local de enriquecimiento de información.

a) Estructura de los datos de entrada:

Los datos de entrada provienen del archivo *Lista de clientes.xlsx* exportado desde el módulo de reportes de Gvet. Este archivo contiene los siguientes campos nativos:

Tabla 9 Estructura de datos del cliente

Campo	Descripción	Tipo de Dato
Nombre	Nombre del propietario de la mascota	Texto
Identificación	Número de cédula o Ruc del propietario	Numérico
Dirección	Dirección física del propietario	Texto
Teléfono	Teléfono fijo de contacto	Numérico
Teléfono móvil	Número de celular del propietario	Numérico
E-mail	Correo electrónico del propietario	Texto
Deuda	Saldo pendiente de pago	Numérico
Fecha	Fecha del último registro o alta en el sistema	Fecha/Hora
Nombres	Nombre (s) de la (s) mascota (s)	Texto
Datos de Facturación	Información adicional de facturación	Texto

Fuente: Los autores

b) Campos de enriquecimiento local:

Para habilitar la lógica de negocio orientada al despacho de recordatorios, el archivo de datos exportado desde la plataforma GVET se complementa localmente mediante la incorporación de dos columnas adicionales que son gestionadas por el personal de la clínica. En la Tabla 8 se detallan la estructura, descripción y formato de estos campos requeridos para la ejecución del algoritmo:

Tabla 10 Datos para el recordatorio de vacunación

Campo	Descripción	Formato
Tipo_Vacuna	Especificaciones del biológico a aplicar (Ej: Rabia, Pentavalente, FVRCP)	Texto
Fecha_Proxima_Vacuna	Fecha programada para la aplicación	DD/MM/AAA

Fuente: Los autores

c) Parámetros de diseño del algoritmo:

El script de Python desarrollado opera bajo los siguientes parámetros configurables:

- **Horizonte de alerta:** Variable que define el rango de tiempo para filtrar los registros que requieren acción. Por defecto se configura en 7 días (`DIAS_ANTICIPACION = 7`), lo que significa que el sistema identificará todas las mascotas cuya `Fecha_Proxima_Vacuna` sea mayor o igual a la fecha actual y menor o igual a la fecha actual más 7 días.
- **Validación de formato de correo:** El sistema valida que el campo E-mail contenga una estructura válida (presencia de "@" y ".") antes de intentar el envío, evitando errores de ejecución y rebotando correos inválidos.
- **Protocolo de comunicación:** Se utiliza el protocolo SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) a través del puerto 587 con cifrado TLS (Transport Layer Security), garantizando la seguridad en la transmisión de los correos electrónicos. El servidor SMTP configurado es `smtp.gmail.com`.
- **Control de tasa de envío:** Se implementa una pausa programada de 2 segundos (`time.sleep(2)`) entre cada envío para cumplir con las políticas de límite de tasa (`rate-limiting`) de Gmail y evitar que los correos sean marcados como spam.
- **Motor de procesamiento de datos:** Se utiliza la librería Pandas con el motor Openpyxl para la lectura e interpretación nativa de archivos `.xlsx`, permitiendo el filtrado vectorizado y eficiente de los registros.

d) Flujo de datos del sistema:

Este diseño garantiza la integridad de los datos, evita bloqueos de seguridad de la plataforma Gvet y cumple con el objetivo de automatizar la tarea de mayor carga operativa: el filtrado de fechas y el envío masivo de notificaciones personalizadas, reduciendo el tiempo de gestión de recordatorios de horas (proceso manual) a segundos (proceso automatizado).

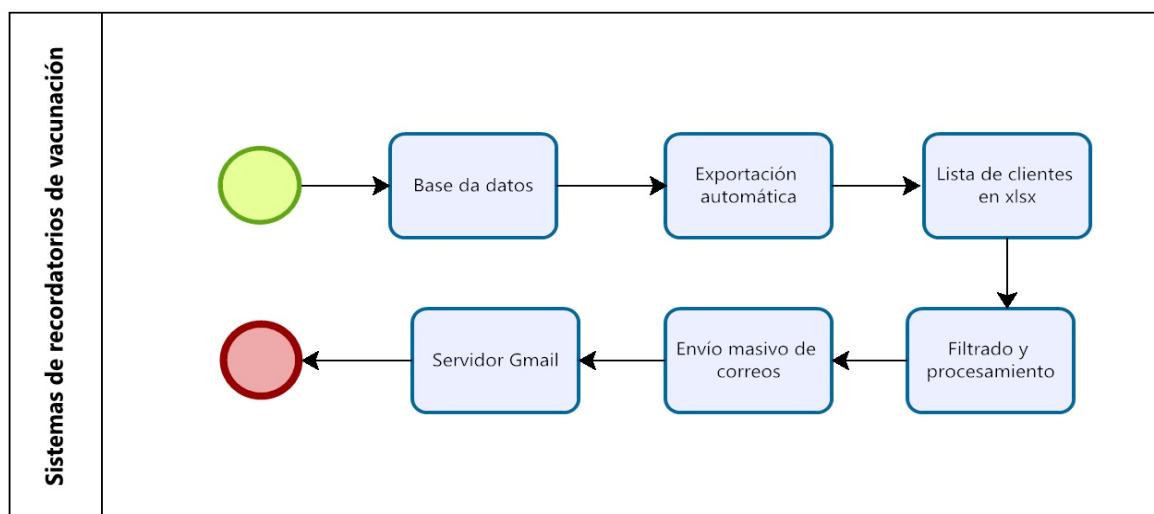


Figura 2 Flujo del sistema de recordatorios de vacunación

El sistema permite llevar un seguimiento más sencillo y organizado de la vacunación de cada mascota a partir de la información registrada. Gracias a este control, es posible identificar con anticipación las vacunas que están próximas a vencer o que aún se encuentran pendientes. Con estos datos, el sistema prepara automáticamente los recordatorios que deben recibir los propietarios. Los avisos se envían por correo electrónico, reduciendo el trabajo manual y facilitando la comunicación con la clínica veterinaria. Esto ayuda a disminuir olvidos y favorece el cumplimiento oportuno del esquema de vacunación. En general, el sistema brinda un control más práctico, confiable y cercano para cuidar la salud de las mascotas.

5. Análisis y Discusión de los Resultados

5.1.Desarrollo del Objetivo 1

5.1.1. Actividad 1:

Verificación de procesos de seguimiento de vacunas

En este apartado, se puede verificar el flujograma de procesos vacunación de la clínica veterinaria SIRA PETS que da lugar a la identificación de problemas o carencia de control (Figura 3).

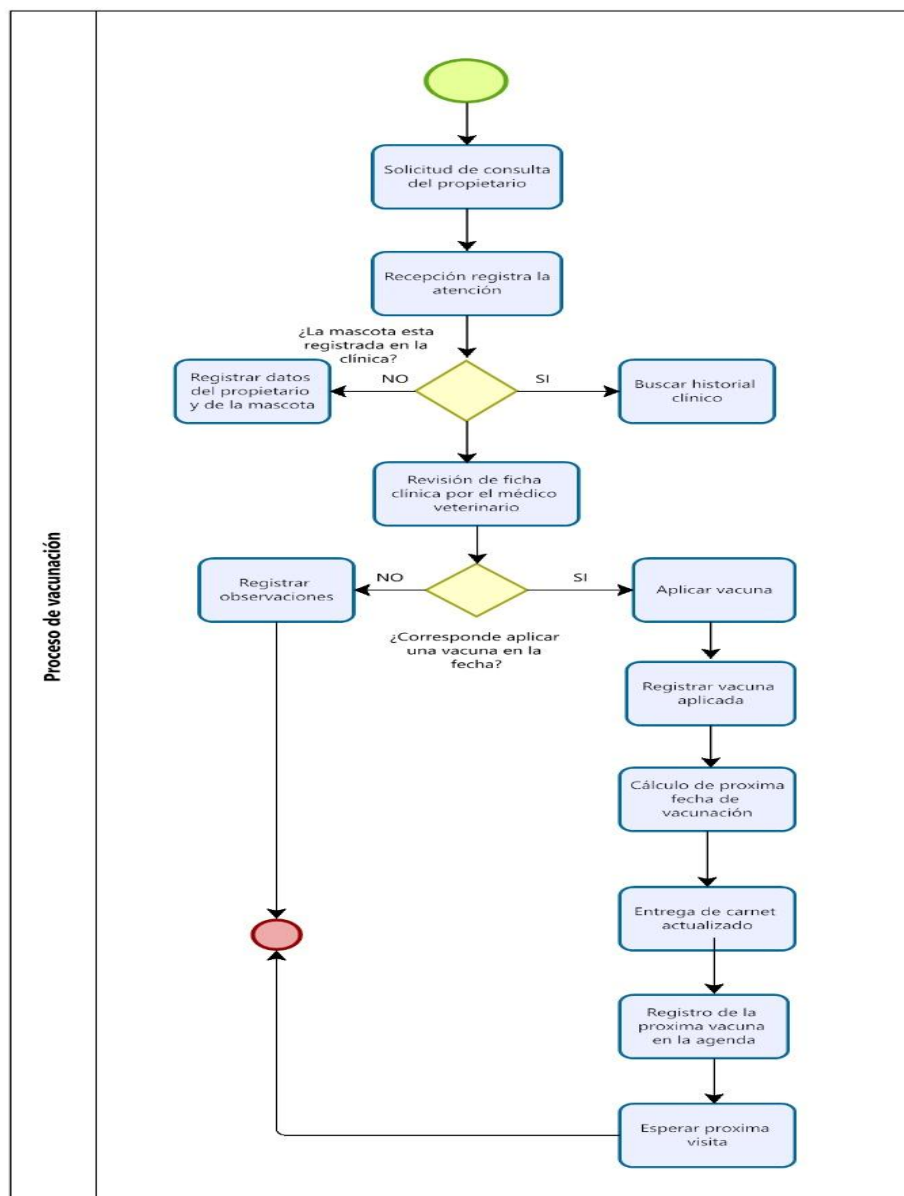


Figura 3 Diagrama de procesos de vacunación de la clínica veterinaria SIRA PETS

El diagrama refleja de manera clara el proceso que sigue una mascota desde que su propietario solicita la atención hasta que se programa su próxima vacunación. Primero se verifica si la mascota ya está registrada y, si no lo está, se ingresan sus datos en el sistema. Luego, el veterinario revisa su historial clínico para determinar si corresponde aplicar una vacuna en ese momento. Una vez aplicada, la información se registra y el sistema calcula automáticamente la fecha de la siguiente dosis. Además, se actualiza el carnet y se agenda la próxima visita para mantener un seguimiento adecuado. De esta manera, se facilita un control más ordenado, práctico y confiable de la vacunación de cada mascota.

Análisis

De acuerdo con el levantamiento de información se pudo determinar el proceso de vacunación se verifica que aún coordinan manualmente en la clínica veterinaria SIRA PETS, además, se puede verificar que esto conlleva a problemas de registro, duplicidad del mismo, errores humanos con frecuencia, la búsqueda del historial puede generar retrasos en el proceso, el seguimiento de vacunación depende totalmente del propietario y posiblemente las mascotas ya no regresen.

Dentro de este punto se pudo también identificar oportunidades de mejora como:

- Optimización en búsqueda de historiales clínicos
- Registro de propietarios y mascotas de forma digital
- Recordatorios automatizados.

Proceso manual de recordatorio

Con la finalidad de comprender la dinámica operativa inicial e identificar las ineficiencias del flujo de trabajo, en la Figura 5 se diagrama el flujo correspondiente al proceso manual de seguimiento y notificación de esquemas de vacunación ejecutado habitualmente en la clínica veterinaria SIRA PETS. Este mapeo del proceso permite visibilizar la secuencia de tareas secuenciales que debe realizar el personal administrativo desde la revisión de archivos hasta la emisión individual de cada aviso, constituyendo el punto de partida para el diagnóstico de la línea base y la posterior propuesta de automatización.

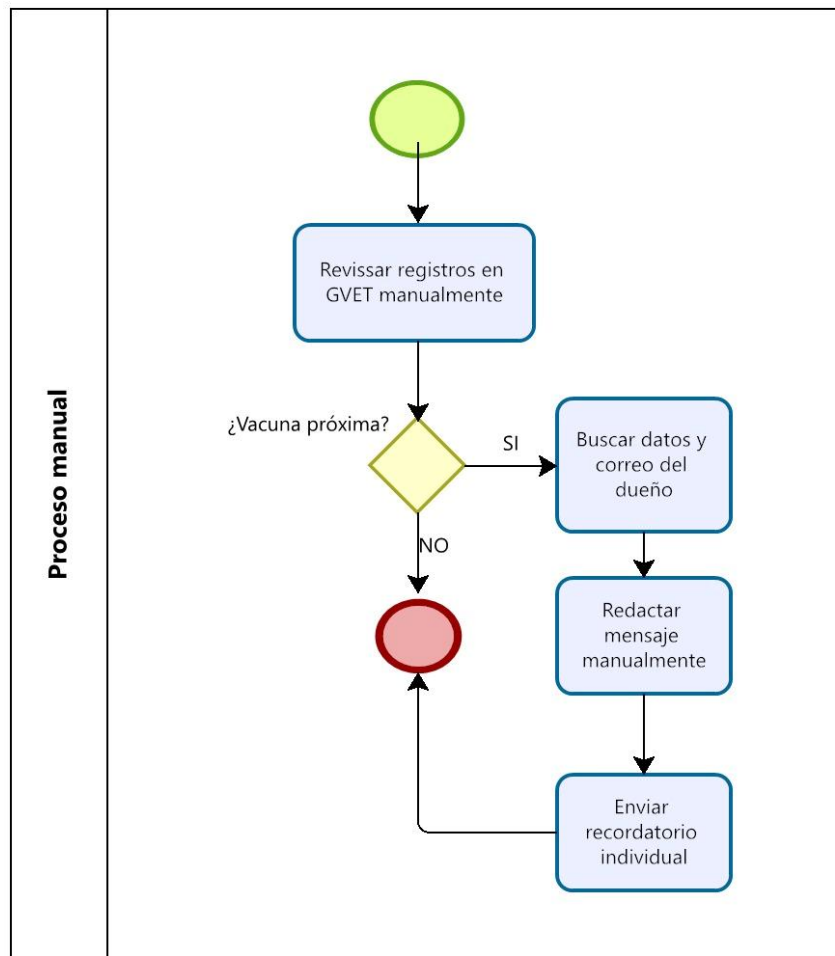


Figura 4 Proceso Manual de recordatorio

El análisis del flujo de trabajo actual evidencia una estructura operativa lineal y altamente dependiente de la intervención humana, la cual genera cuellos de botella y diversos "desperdicios" (muda) que impactan la productividad del establecimiento:

Dependencia de la Revisión Manual (Filtro Inicial): El proceso inicia con la consulta manual de registros en el sistema GVET. Esta actividad requiere que el operador examine expediente por expediente para verificar la fecha del próximo refuerzo, lo que consume un tiempo significativo e incrementa el riesgo de omitir pacientes con vacunas vencidas o próximas a vencer.

Búsqueda Dispersa de Información: En caso de identificar una vacuna próxima, el personal debe buscar los datos de contacto y el correo electrónico del propietario en fichas o archivos independientes. Esta fragmentación de la información multiplica el tiempo de búsqueda y propicia errores por registros desactualizados o inexactos.

Redacción y Envío Individualizado: Las etapas de redacción y envío de notificaciones se realizan cliente por cliente de manera totalmente artesanal. Redactar mensajes manualmente genera una alta variabilidad en el formato de la comunicación, además de representar un gasto repetitivo de tiempo (de 3 a 5 minutos por cliente) que sobrecarga las funciones de la recepción.

5.1.2. Actividad 2: Encuesta a los clientes de la clínica SIRA PETS

De acuerdo con lo identificado en los procesos de vacunación, se procede con la aplicación de la encuesta dirigida a los 50 clientes de la clínica veterinaria con el objetivo de recopilar información en la percepción de los usuarios en el contexto de control y seguimiento de la vacunación en las mascotas, permitiendo el reconocimiento de las necesidades, limitaciones y el nivel de aceptación de un sistema automatizado de recordatorio (Anexo 1).

Generalidades

Tabla 11 Tipo de mascota

Mascota	Respuestas	%
Perro	36	72%
Gato	14	28%
Otro	0	0%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

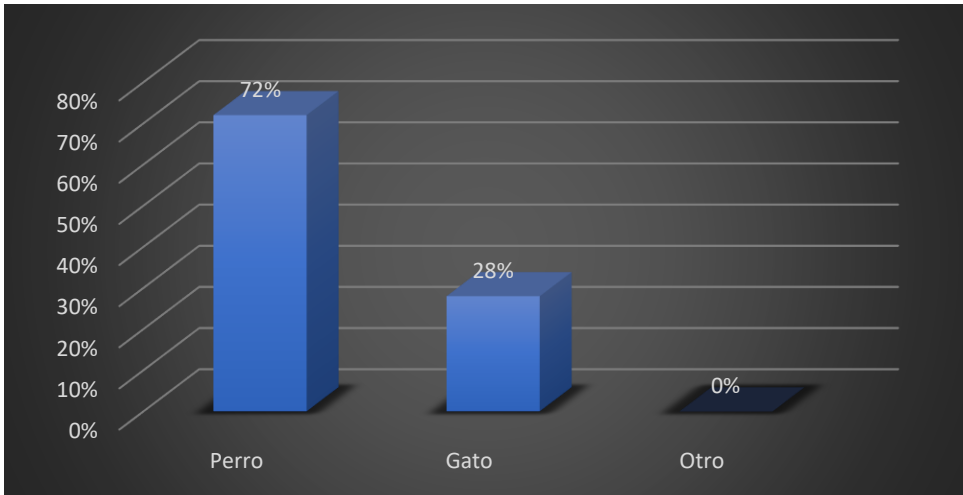


Figura 5 Tipos de mascota

Análisis e Interpretación:

Se puede verificar en la figura 7 que el 72% de las personas encuestadas indican que poseen perros como mascotas, mientras que un 28% respondieron gatos. Estos hallazgos manifiestan que la clínica veterinaria SIRA PETS tienen una alta demanda de atención en canes, lo que significa que se debe contemplar el seguimiento de las vacunas de esta especie, claro está que no se debe descuidar de las necesidades de los demás animales.

Tabla 12 Frecuencia de visita

Frecuencia	Respuestas	%
Mensualmente	2	4%
Cada 3 meses	9	18%
Cada 6 meses	14	28%
Solo cuando se enferma la mascota	25	50%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

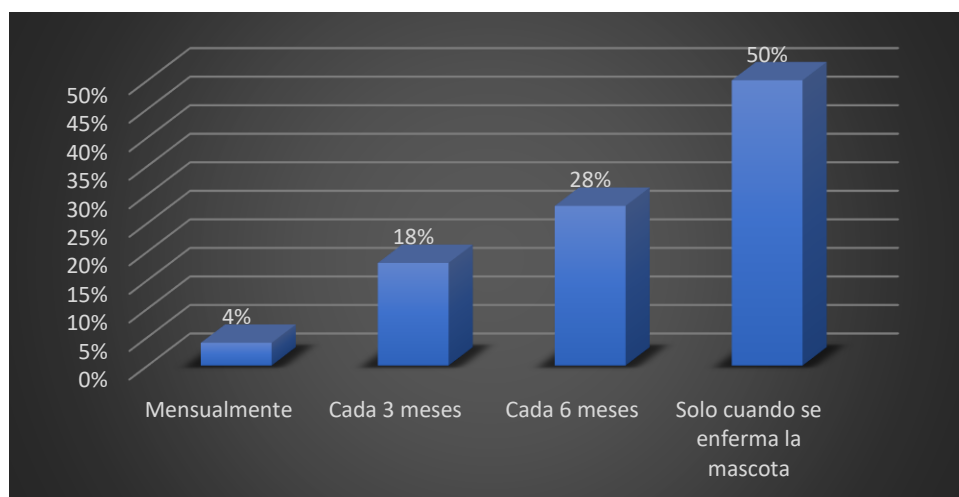


Figura 6 Frecuencia de visita

Análisis e interpretación

El 50% de los participantes manifestaron que acuden a la clínica cada que se enferma su mascota, el 28% visitan cada 6 meses, un 18% cada 3 meses, mientras que un 4% acude mensualmente. Este hallazgo manifiesta que una gran parte de los propietarios no acuden a la clínica veterinaria de forma periódica para un control preventivo de los animales de compañía, lo que permite interpretar que la necesidad de reforzar a través de un sistema automatizado.

Tabla 13 Registro de vacunas actualizado

Datos actualizados	Respuestas	%
Siempre	7	14%
Casi siempre	25	50%
Algunas veces	14	28%
Nunca	4	8%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

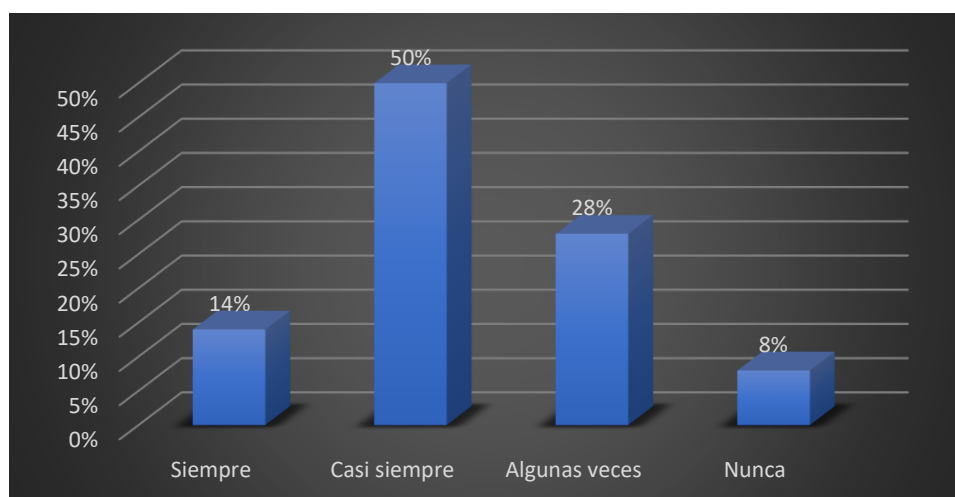


Figura 7 Registro de vacunas actualizado

Análisis e Interpretación

En la Figura 9 se observan los resultados respecto a la percepción del nivel de actualización de los registros de vacunación en la clínica veterinaria Sira Pets. El 50% de los encuestados percibe que la información se encuentra "casi siempre" actualizada, mientras que el 14% afirma que lo está "siempre". Por otro lado, un 28% señala que la actualización ocurre únicamente "algunas veces" y un 8% sostiene que "nunca" se mantiene un registro al día. Los hallazgos evidencian que, aunque existe un nivel aceptable de percepción positiva de manera general, se identifica un 36% acumulado de insatisfacción o variabilidad en la calidad del dato (categorías "algunas veces" y "nunca"). Esta brecha confirma la presencia de inconsistencias operativas derivadas del manejo manual de la información, lo que restringe la oportunidad y accesibilidad de los registros sanitarios. En este contexto, la implementación del sistema automatizado se justifica como una solución tecnológica para estandarizar la captura de datos, reducir los errores de digitación e incrementar la precisión en la trazabilidad del historial de inmunización de los pacientes.

Tabla 14 Olvidó la fecha de vacunación

Omitió	Respuestas	%
Sí	32	64%
No	18	36%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

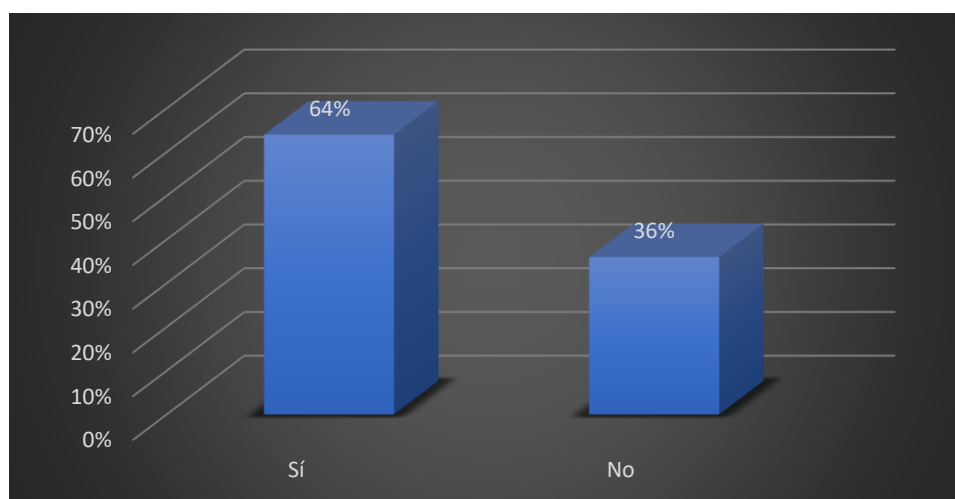


Figura 8 Olvido la fecha de vacunación

Análisis e Interpretación

La figura 10, evidencia las respuestas de los clientes lo cual un 64% sustentan que si han olvidado la fecha de vacunación, mientras que un 36% manifiestan que no lo han hecho.

Este hallazgo muestra que no seguir el cronograma de vacunación establecido forma parte de la obstaculización del proceso de seguimiento, dando lugar a afectaciones en el cumplimiento del esquema inmunológico e incrementa el riesgo de patologías zoonosis. Por ello, al aplicar el sistema automatizado este se encargará de enviar los recordatorios por medio de correo electrónicos notificando oportunamente las próximas vacunas.

Tabla 15 Importancia de recordatorios

Recordatorios	Respuestas	%
Muy importante	28	56%
Importante	11	22%
Poco importante	9	18%
Nada importante	2	4%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

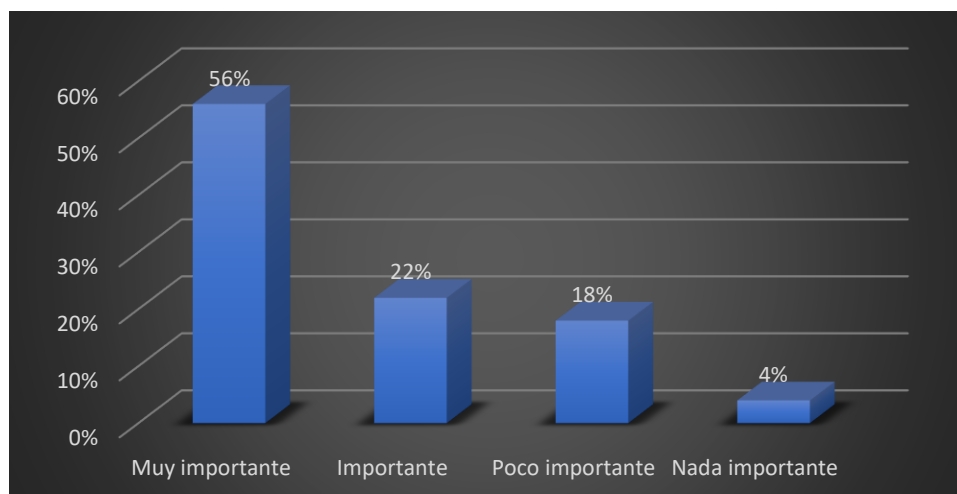


Figura 9 Importancia de recordatorios

Análisis e Interpretación

Los resultados muestran que un 56% de los participantes manifiestan que es muy importante los recordatorios de las próximas vacunas, el 22% sustentan que si es importante, mientras que el 18% y el 4% corresponde a poco importante y nada importante.

Esta información representa la necesidad de aplicar mecanismos sistemáticos de notificación que apoyen a los propietarios en el seguimiento cronológico de las vacunas. En este contexto, los recordatorios a través de correos electrónicos forman parte de una alternativa para mantener el control preventivo garantizando la comunicación entre la clínica y sus usuarios.

Tabla 16 Problemas de seguimiento

Problemas	Respuestas	%
Falta de recordatorios	20	40%
Carencia de organización de datos	13	26%
Pérdida de carnet de vacunación	10	20%
No presenta problemas	7	14%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

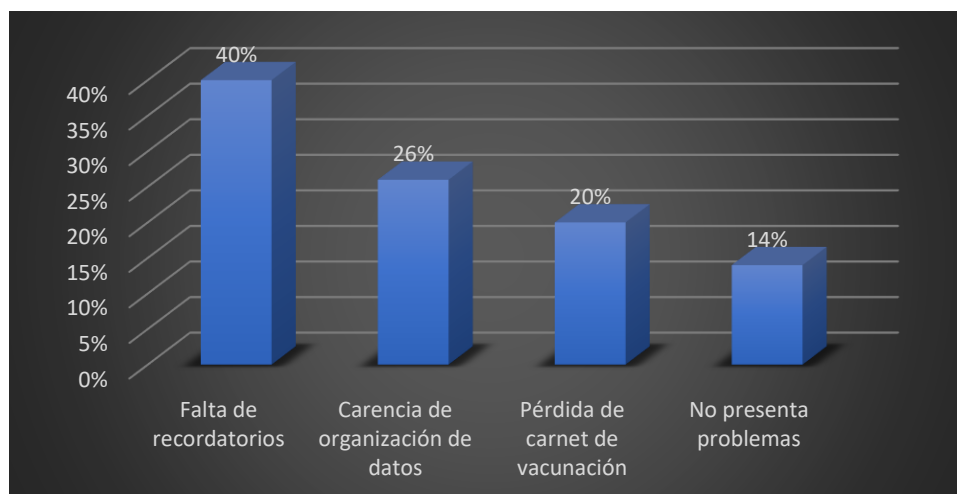


Figura 10 Problemas de seguimiento

Análisis e interpretación

Uno de los principales problemas que se pudo observar durante de la aplicación de la encuesta es la falta de recordatorios con un 40%, seguido con un 26% por la carencia de organización de los datos y un 20% por pérdida de carnet de vacunación. Solo un 14% ha manifestado que no presenta problemas. Este hallazgo evidencia que las dificultades más significativas se encuentran enlazadas con el control y seguimiento apropiado de la gestión de información y de vacunación, manifestando la elevación de riesgo por patologías zoonóticas.

Tabla 17 Consulta de historial de vacunación

Consulta de historial	Respuestas	%
Muy fácil	9	18%
Fácil	15	30%
Difícil	20	40%
Muy difícil	6	12%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

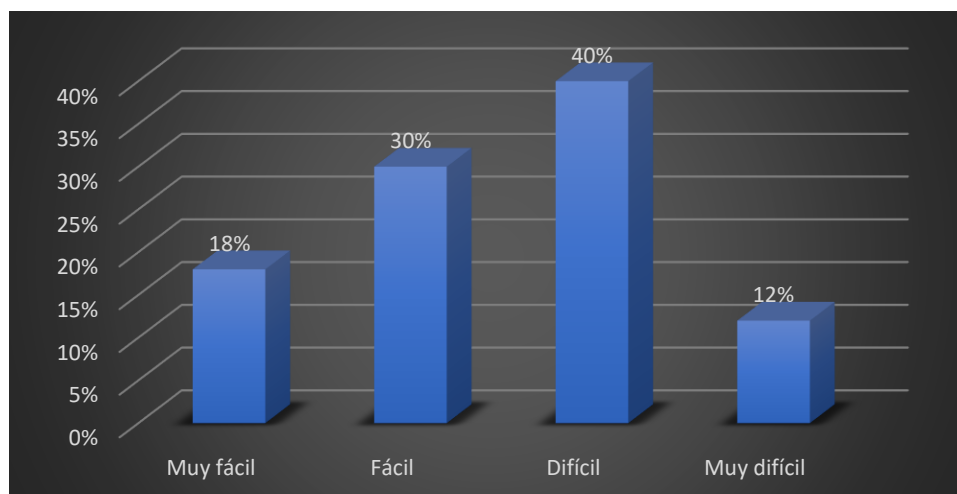


Figura 11 Consulta de historial de vacunación

Análisis e Interpretación

La figura 13, evidencia los resultados de consulta de historiales de vacunación en mascotas, por lo que el 40% y 12% de los participantes sustentaron que es difícil y muy difícil consultar, mientras que el 18% y 30% manifestaron que es muy fácil y fácil respectivamente. A pesar de ello sobre sale que es difícil consultar las historias clínicas de las mascotas mostrando la necesidad de maximizar el acceso a los datos.

Tabla 18 Aceptación de un sistema automatizado para la gestión de historial de vacunación

Gestión de historial de vacunación	Respuestas	%
Totalmente de acuerdo	28	56%
De acuerdo	15	30%
En desacuerdo	7	14%
Totalmente en desacuerdo	0	0%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

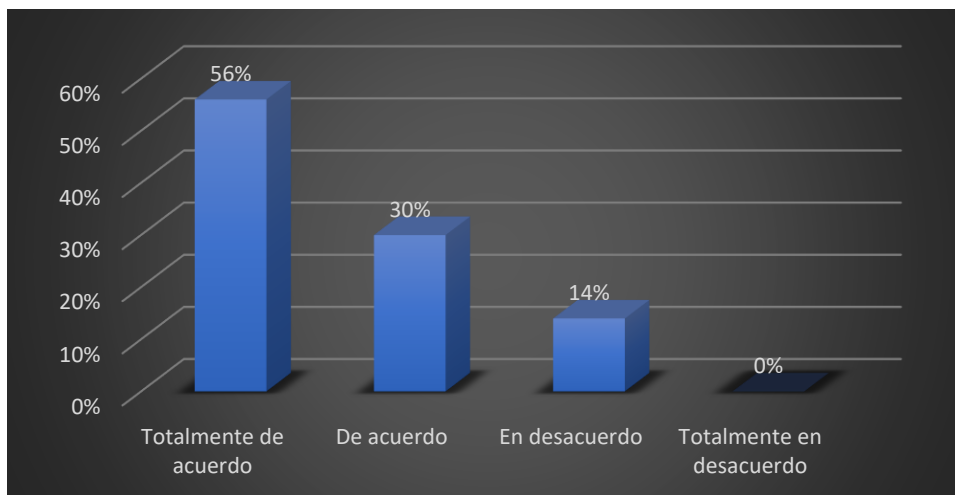


Figura 12 Aceptación de un sistema automatizado para la gestión de historial de vacunación

Análisis e Interpretación

La figura 14, muestra que el 86% de los participantes manifiestan que están totalmente de acuerdo y de acuerdo con la aplicación de un sistema automatizado que permita la gestión de los historiales de vacunación. Este hallazgo indica que el nivel de aceptación elevada en la utilización de técnicas y herramientas tecnológicas sustentando que los clientes perciben una ventaja en la organización y administración de los datos e incrementa la rapidez de la atención.

Tabla 19 Aceptación de notificaciones a través de correo electrónico

Recordatorio de vacunación	Respuestas	%
Sí	42	84%
No	8	16%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

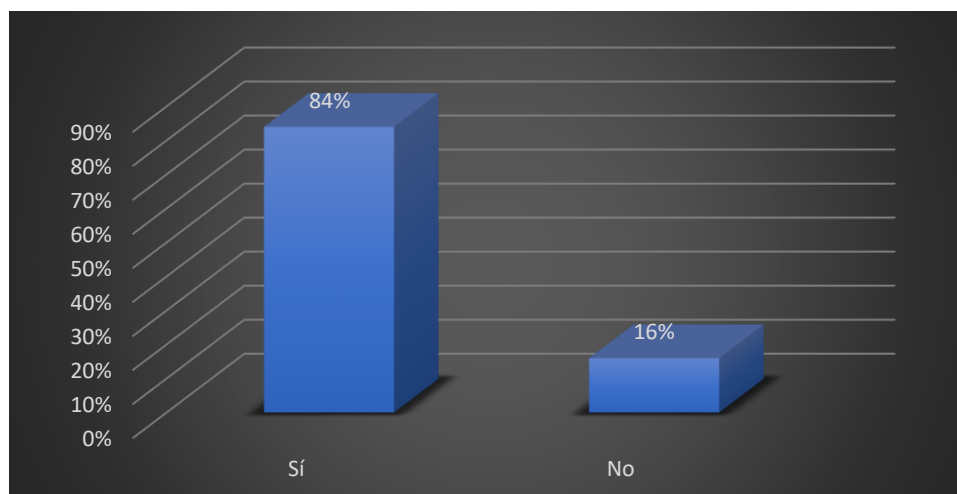


Figura 13 Aceptación de notificaciones a través de correo electrónico

Análisis e Interpretación

Estos resultados evidencian que un 84% de los participantes de la encuesta aceptan recibir notificaciones a través de correo electrónico con el recordatorio de la vacunación de su mascota, por otro lado, el 16% mencionó lo contrario. Esto muestra una extensa aceptación de este medio de comunicación como una técnica que consolida el control y seguimiento de vacunación. Esta función representa una minimización en el riesgo de olvido de fechas u garantiza el cumplimiento del calendario de vacunación fortaleciendo el sistema inmunológico de las mascotas.

Tabla 20 Sistema automatizado mejora la atención

Mejora la atención	Respuestas	%
Totalmente de acuerdo	35	70%
De acuerdo	7	14%
En desacuerdo	5	10%
Totalmente en desacuerdo	3	6%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

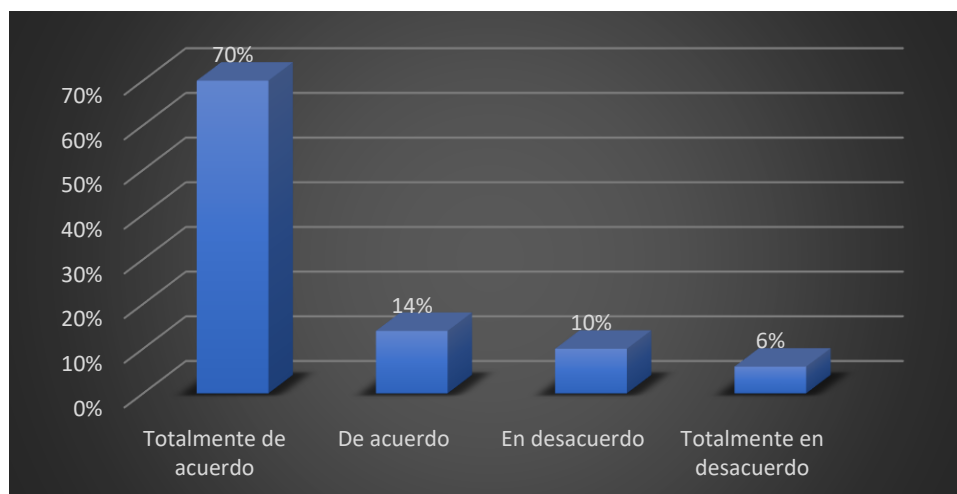


Figura 14 Sistema automatizado mejora la atención

Análisis e Interpretación

El 84% de los encuestados manifestaron que fortalece la atención brindada de la clínica y están de acuerdo con la utilización de nuevas tecnologías y eleva la confianza de los clientes, minimiza procesos administrativos, tiempos y garantiza el acceso a los datos vinculados con las vacunas de los animales de compañía.

Tabla 21 Beneficios por la aplicación del sistema automatizado

Beneficio	Respuestas	%
Recordatorios oportunos	25	50%
Historial digital	14	28%
Atención más rápida	8	16%
Mejor organización de la información	3	6%
Total	50	100%

Fuente: Los autores

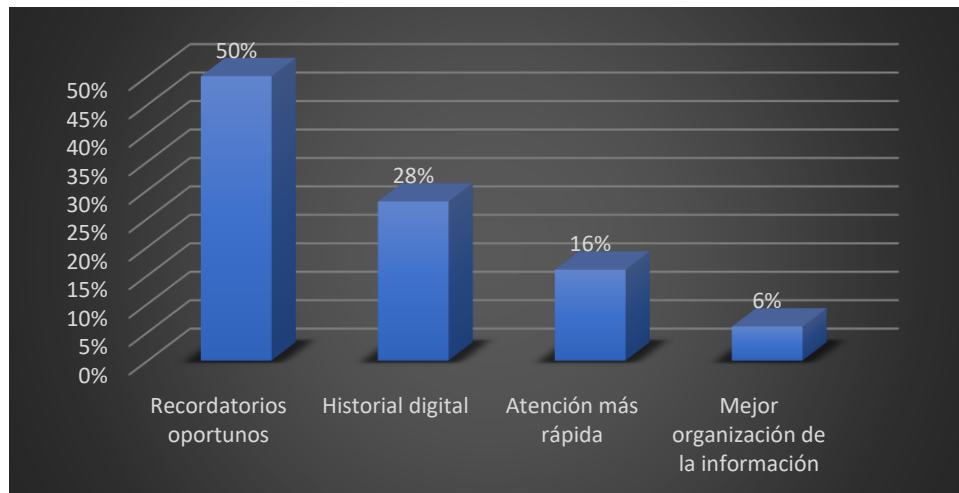


Figura 15 Beneficios por la aplicación del sistema automatizado

Análisis e Interpretación

De acuerdo con los resultados obtenidos el 50% de los encuestados manifiestan que el beneficio más fundamental son los recordatorios oportunos, seguido por el 28% que pertenece al historial digital, el 16% dice que contribuye a una atención más rápida y el 6% que se mejora la organización de la información. Estos hallazgos sustentan que los clientes valoran las funciones encaminadas a la prevención de la salud en animales de compañía.

5.1.2.1. Análisis General de la encuesta

Los hallazgos a través de la aplicación de una encuesta a 50 clientes de la clínica SIRA PETS, permitieron el reconocimiento de factores fundamentales sobre el proceso actual de la veterinaria en el contexto del seguimiento y control de las vacunas en las mascotas. Además, se evidenció que los participantes identifican el esfuerzo de la clínica en la gestión de información de sus animales de compañía y que estos reciban a tiempo la vacuna correspondiente, a pesar de ello, existe algunas inconsistencias en este proceso.

Uno de los problemas más esenciales que se pudo verificar es que los propietarios olvidan las fechas de vacunación de su mascota, lo manifiesta la urgencia de aplicar sistemas que fortalezcan el cumplimiento del calendario de inmunización. Asimismo, se considera que es importante recibir notificaciones a través de correos electrónicos de la próxima vacuna, evidenciando la disponibilidad de la utilización de recursos tecnológicos para mejorar el control y seguimiento preventivo.

5.1.3. Actividad 3: Definición de requisitos y funcionalidad del sistema

A partir del análisis del flujo de trabajo y las necesidades operativas de la clínica veterinaria Sira Pets, se especifican formalmente los requisitos técnicos, operacionales y el flujo funcional del sistema web SIRA PETS. Esta solución integral abarca tres capas funcionales: operativa (gestión diaria), analítica (tablero de control) y predictiva (apoyo a la decisión médica).

a) Requisitos Funcionales (RF)

Los requisitos funcionales detallan los procesos, interacciones y transformaciones de datos que ejecuta la aplicación:

RF-01: Control de acceso y autenticación por roles: El sistema debe autenticar a los usuarios mediante credenciales encriptadas (users.json) y restringir la navegación según tres niveles jerárquicos: Administrador, Veterinario y Recepción. Cada página debe validar activamente los permisos del rol en ejecución (defensa en profundidad).

RF-02: Gestión y validación del registro de vacunas: El módulo debe capturar la información clínica de las visitas (especie, edad, propietario, vacunas aplicadas, tiempos de atención y médico tratante). Debe incorporar un algoritmo de detección de duplicados (mismo propietario, mascota y fecha) y comparar lo aplicado contra el esquema biológico teórico para determinar el estado "Esquema al día".

RF-03: Despacho interactivo de recordatorios (SMTP): El sistema debe identificar los pacientes con vacunas con vencimiento programado dentro de los próximos 30 días y permitir al usuario enviar notificaciones personalizadas por correo electrónico mediante servidor Gmail SMTP (secrets.toml).

RF-04: Gestión de inventario mediante registro contable acumulativo: El módulo de stock debe registrar las entradas y salidas de insumos en inventario_stock.csv, calculando el saldo disponible en tiempo real mediante la suma acumulada de movimientos sin sobrescribir datos.

RF-05: Tablero analítico de control (Dashboard KPIs): El sistema debe procesar en vivo los archivos CSV operativos para calcular y desplegar 10 indicadores clave de rendimiento (KPIs), incluyendo tendencias por especie, vacunas más aplicadas y productividad por veterinario.

RF-06: Módulo predictivo de riesgo de deserción: El sistema debe incluir un modelo de Machine Learning (Random Forest con 300 árboles) para estimar la probabilidad de que una

consulta no complete su esquema de vacunación, categorizando el resultado en niveles de confianza (Alta $\geq 75\%$, Media 50-75, Baja $< 50\%$).

RF-07: Reportes descargables y parametrizados: El usuario con rol Administrador debe poder filtrar los registros de consultas por especie o estado de cumplimiento y exportar la información en formato CSV.

b) Requisitos No Funcionales (RNF)

Los requisitos no funcionales establecen las métricas de calidad, seguridad e infraestructura tecnológica:

RNF-01: Arquitectura liviana y portabilidad: La aplicación debe desarrollarse en Python sobre el framework Streamlit (en un archivo central app.py), ejecutándose en entornos Windows mediante un script automatizado de despliegue (run_app.bat).

RNF-02: Robustez algorítmica y validación cruzada: El modelo predictivo debe ser entrenado y validado mediante k-fold cross-validation ($k=5$), garantizando un rendimiento balanceado en las métricas de Accuracy, Precision, Recall y F1-score.

RNF-03: Seguridad en el manejo de credenciales: Las claves de correo y datos sensibles de autenticación deben gestionarse fuera del repositorio mediante archivos de configuración enmascarados (.streamlit/secrets.toml).

RNF-04: Privacidad en el modelamiento de datos: El pipeline de preprocesamiento de Machine Learning (imputación + OneHotEncoder) debe excluir explícitamente variables de identificación personal (nombre, teléfono o correo del cliente) para evitar sesgos y proteger la privacidad.

RNF-05: Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS): El módulo predictivo debe operar como herramienta de alerta y priorización, garantizando que la decisión clínica final sea confirmada, ajustada o descartada exclusivamente por el médico veterinario sin escribir automáticamente en la base de datos.

- c) Definición de la funcionalidad general del sistema La interacción y flujo de datos dentro de SIRA PETS sigue un esquema de navegación securizado e integrado:

Autenticación e Inicio de Sesión:

El usuario ingresa a la interfaz web; el módulo de navegación verifica la validez del usuario contra users.json y despliega únicamente los módulos habilitados para su rol en la barra lateral.

Procesamiento de Operaciones Diarias:

Al registrar una vacuna en el módulo correspondiente, el sistema valida la coherencia del esquema, descarta duplicados y actualiza el archivo registros_vacunas.csv.

En el módulo de inventario, los movimientos de entrada/salida se guardan de forma inmutable en inventario_stock.csv.

Análisis y Alerta Predictiva:

Los datos capturados alimentan automáticamente el Dashboard de KPIs. Paralelamente, las consultas registradas son evaluadas mediante la función predict_batch(), la cual aplica el pipeline cargado desde modelo_random_forest.joblib. La interfaz resalta las consultas en riesgo de no cumplir el esquema para que el veterinario priorice el seguimiento preventivo.

5.2.Desarrollo del Objetivo 2.

Una vez definidos los requisitos, se procedió a la fase de diseño técnico; esta etapa tiene como propósito establecer la estructura lógica del sistema, el modelo de datos que alimentará la automatización y la división del software en módulos operativos coherentes, asegurando que la solución sea escalable, mantenible y se integre de manera eficiente con las herramientas que la clínica ya utiliza.

5.2.1. Actividad 1: Arquitectura general del sistema.

Para la implementación del sistema SIRA PETS se diseñó una arquitectura de software modular y liviana estructurada en tres capas funcionales: Operativa (gestión diaria de eventos médicos y de inventario), Analítica (monitoreo de desempeño en tiempo real mediante KPIs) y Predictiva (módulo de apoyo a la decisión basado en aprendizaje automático). La solución está desarrollada en el lenguaje de programación Python utilizando el marco de trabajo Streamlit para la construcción de la interfaz gráfica interactiva web.

a) Descripción de las capas de la arquitectura

Capa Operativa: Corresponde a la interfaz de interacción primaria para la captación de información. Abarca los módulos de registro de consultas y aplicaciones biológicas, control de movimientos de inventario y el despacho de alertas y recordatorios vía correo electrónico mediante el protocolo Gmail SMTP (.streamlit/secrets.toml).

Capa Analítica: Procesa de forma dinámica los eventos registrados para calcular y desplegar diez indicadores clave de rendimiento (KPIs). Permite la generación de gráficos descriptivos y la exportación de reportes filtrables en formato CSV para la gestión administrativa.

Capa Predictiva: Integra un modelo de clasificación basado en el algoritmo Random Forest (300 árboles de decisión) enfocado en estimar el riesgo de no cumplimiento del esquema de vacunación. Esta capa actúa como un Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS) que asigna niveles de confianza a cada predicción para orientar la priorización de seguimiento por parte del profesional médico.

b) Estructura de archivos y persistencia de datos

La persistencia y configuración del sistema se articulan mediante una estructura de archivos planos orientada a garantizar un bajo consumo de recursos y facilidad de despliegue en entornos locales Windows (run_app.bat). En la Tabla 22 se detallan los componentes principales que conforman la arquitectura de la aplicación.

Tabla 22 componentes que conforman la arquitectura

Archivo	Función y Descripción Técnica
app.py	Código fuente principal (~2200 líneas) que contiene la lógica de negocio, enrutamiento, módulos de interfaz y encriptación por rol.
users.json	Base de datos de autenticación y control de acceso que almacena las credenciales de los roles (Administrador, Veterinario, Recepción)
data/registros_vacunas.csv	Repositorio transaccional de consultas médicas, esquemas de vacunación y tiempos de atención de la clínica.
data/inventario_stock.csv	Historial contable inmutable de movimientos de entrada y salida de insumos veterinarios
data/modelo_random_forest.joblib	Archivo binario con el modelo de Machine Learning entrenado y serializado
data/metadata_modelo.json	Registro de metadatos con el esquema de variables de entrada, codificaciones y clases objetivo del modelo

Archivo	Función y Descripción Técnica
.streamlit/secrets.toml	Archivo seguro de configuración local para el almacenamiento de credenciales encriptadas de envío de correo SMTP

Fuente: Los autores

c) Mecanismo de seguridad y control de acceso (Defensa en profundidad)

La arquitectura incorpora un esquema de seguridad estructurado en torno a tres roles diferenciados (Administrador, Veterinario y Recepción). Además de la restricción visual en el menú lateral, cada módulo y función del archivo app.py valida independientemente la sesión y el nivel de privilegio del usuario activo antes de renderizar la pantalla o permitir operaciones de escritura/lectura. Este diseño evita accesos no autorizados a reportes gerenciales o al reentrenamiento del modelo predictivo mediante la alteración manual de la ruta de navegación.

5.2.2. Actividad 2: Diseño de la base de datos con la información de paciente, propietario y vacunación.

El diseño de la base de datos de SIRA PETS se fundamenta en un modelo de almacenamiento estructurado mediante el archivo registros_vacunas.csv, el cual consolida las entidades principales del dominio clínico veterinario:

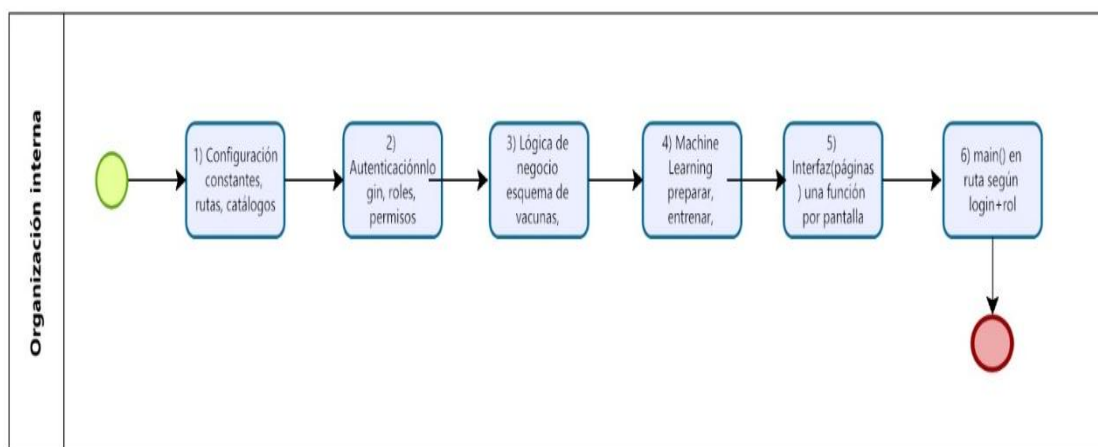


Figura 16 Organización interna

El diagrama presenta de manera sencilla cómo se organiza internamente el sistema para controlar y dar seguimiento a la vacunación de las mascotas. Primero se establecen las configuraciones básicas que permiten que la aplicación funcione correctamente. Después se controla el acceso de los usuarios mediante roles y permisos, protegiendo así la información

registrada. El sistema también incorpora la lógica necesaria para gestionar las vacunas y analizar los datos mediante Machine Learning. A continuación, la interfaz permite que cada usuario acceda fácilmente a las funciones que le corresponden. En conjunto, esta organización ayuda a que el sistema sea seguro, práctico y útil para llevar un seguimiento adecuado de cada mascota.

Propietario, Paciente (Mascota) y Vacunación (Consulta). Este esquema desnormalizado permite optimizar las lecturas masivas requeridas por el tablero analítico de KPIs y simplificar la preparación de las matrices de datos para el modelo predictivo de Machine Learning.

a) Diccionario de datos de la entidad transaccional

La estructura de la base de datos contempla atributos específicos para garantizar la trazabilidad clínica, el control de la calidad en la atención y la gestión de alertas de inmunización. En la Tabla 21 se detalla la especificación técnica de los campos que conforman el archivo de registros:

Tabla 23 Diccionario de datos

Entidad	Nombre del Campo	Tipo de Dato	Descripción y Reglas de Negocio
Propietario	Nombre_Propietario	str	Nombres y apellidos completos del cliente
	Teléfono	str	Número de contacto telefónico para notificaciones
	Correo	str	Dirección de correo electrónico destino para los recordatorios SMTP
	Cliente_Nuevo	Texto / Bool	Indicador de fidelidad
Paciente	Nombre_Mascota	str	Identificador del paciente animal
	Especie	Categorico	Especie del paciente (Canino / Felino).
	Raza	str	Raza declarada del paciente.
	Sexo	Categorico	Sexo biológico (Macho / Hembra)
	Edad	Numérico (int)	Edad expresada en meses o semanas según el catálogo clínico
Vacunación	Fecha_Consulta	Fecha (YYYY-MM-DD)	Fecha exacta de la visita médica.

Entidad	Nombre del Campo	Tipo de Dato	Descripción y Reglas de Negocio
	Vacunas_Aplicadas	str	Lista o código de las vacunas administradas durante la visita
	Veterinario	str	Nombre o código del profesional responsable de la atención.
	Tiempo_Espera	Numérico (int)	Minutos transcurridos desde el ingreso hasta la atención médica
	Tiempo_Consulta	Numérico (int)	Minutos de duración de la atención clínica
	Programo_Recordatorio	Texto / Bool	Confirmación del agendamiento de la próxima dosis (Sí / No)
Control / ML	Cumplimiento_Eschema	Categorico	Variable objetivo evaluada o derivada (Cumple / No Cumple)

Fuente: Los autores

b) Reglas de integridad y calidad de la información

Para asegurar la consistencia en el almacenamiento de los datos de vacunación y su posterior procesamiento algorítmico, el módulo de escritura de la base de datos aplica tres reglas fundamentales de validación:

Control de duplicidad: Al intentar guardar un nuevo registro, el sistema verifica que no exista una entrada idéntica asignada al mismo propietario, paciente y fecha. En caso de coincidencia, se despliega un bloqueo preventivo solicitando la confirmación explícita del usuario.

Derivación lógica de cumplimiento: La columna Cumplimiento_Eschema no se ingresa de forma arbitraria; se calcula mediante la función verificar_cumplimiento_visita(), la cual evalúa si las vacunas seleccionadas por el usuario corresponden al esquema recomendado para la especie y edad de la mascota (evaluar_esquema_vacunacion).

Aislamiento de variables de identificación para ML: Las variables relativas a los datos personales del propietario (Nombre_Propietario, Telefono, Correo) y del paciente (Nombre_Mascota) se mantienen dentro de la base transaccional para la emisión de recordatorios, pero son excluidas explícitamente durante la generación de matrices de

entrenamiento del modelo predictivo para preservar la privacidad y evitar sesgos en el algoritmo.

5.2.3. Actividad 3: Diseño de módulos como registro, consulta, recordatorios y actualización

El desarrollo modular de SIRA PETS se consolida en el archivo ejecutable `app.py`, estructurando la interfaz y la lógica de negocio en componentes independientes que responden al rol del usuario autenticado. A continuación se detalla la arquitectura funcional de los cuatro módulos clave del sistema:

a) Módulo de Registro de Vacunas

Diseñado para la captación de datos durante la atención clínica. El formulario captura la especie, edad, datos del propietario, vacunas aplicadas, tiempos de proceso y el médico tratante. Al ejecutar la acción de guardado, la función aplica una validación lógica en tres etapas: Control de duplicados: Evalúa la combinación de propietario, mascota y fecha; si detecta coincidencia exacta, bloquea el envío y exige confirmación del usuario. Evaluación del esquema biológico: La función `evaluar_esquema_vacunacion()` determina la vacuna teórica según la especie y edad. Por ejemplo, en un canino de 10 semanas valida la aplicación de DHPPi (Dosis 2) y Leptospirosis. Verificación de cumplimiento: La función `verificar_cumplimiento_visita()` contrasta lo administrado contra el esquema teórico y asigna automáticamente el estado "Esquema al día" o pendiente en `registros_vacunas.csv`.

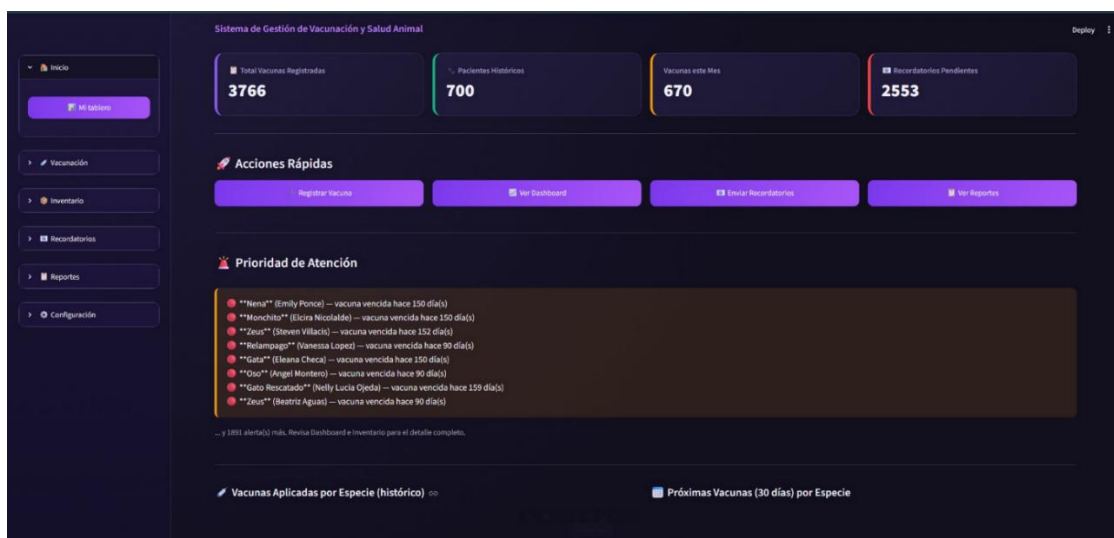


Figura 17 Panel de registro de vacunas

b) Módulo de Consulta y Reportes

Este módulo centraliza la visualización transaccional y la exportación de datos con permisos diferenciados:

Visualización operativa (Todos los roles): Permite explorar las consultas registradas en tiempo real mediante tablas interactivas filtrables.

Generación de reportes gerenciales (Exclusivo Administrador): Permite filtrar la base histórica por especie y estado de cumplimiento. Los resultados se compilan dinámicamente para su descarga en formato CSV.

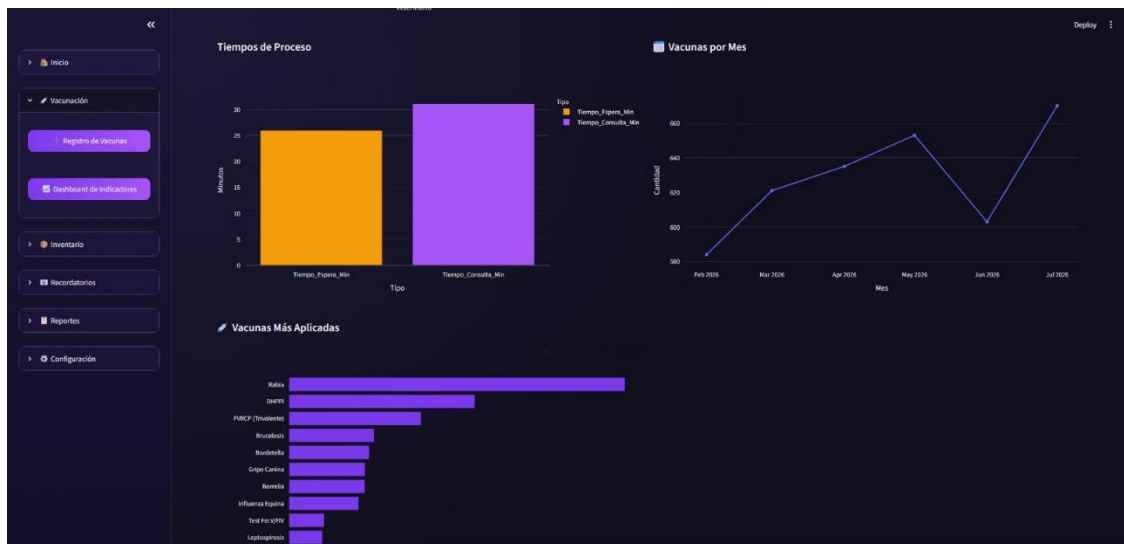


Figura 18 Reportes

c) Módulo de Recordatorios de Vacunación

Optimiza la comunicación preventiva con los clientes a través del envío focalizado de notificaciones:

Filtrado dinámico: Identifica automáticamente a los pacientes con vacunas con fecha de vencimiento dentro de los próximos 30 días.

Despacho interactivo: A diferencia de una emisión masiva a ciegas, el usuario selecciona en la tabla interactiva el destinatario específico a notificar.

Conectividad segura: Conecta con el servidor Gmail SMTP utilizando las credenciales resguardadas en `.streamlit/secrets.toml` para el envío del correo de recordatorio personalizado.

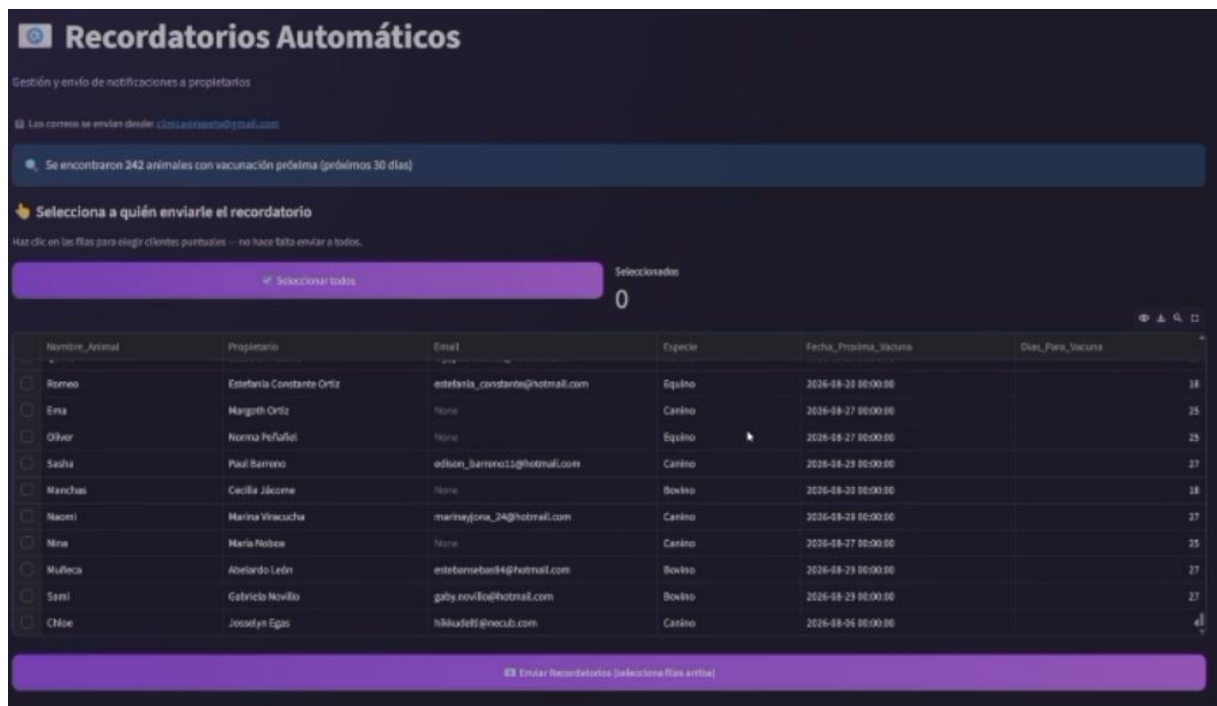


Figura 19 Recordatorios

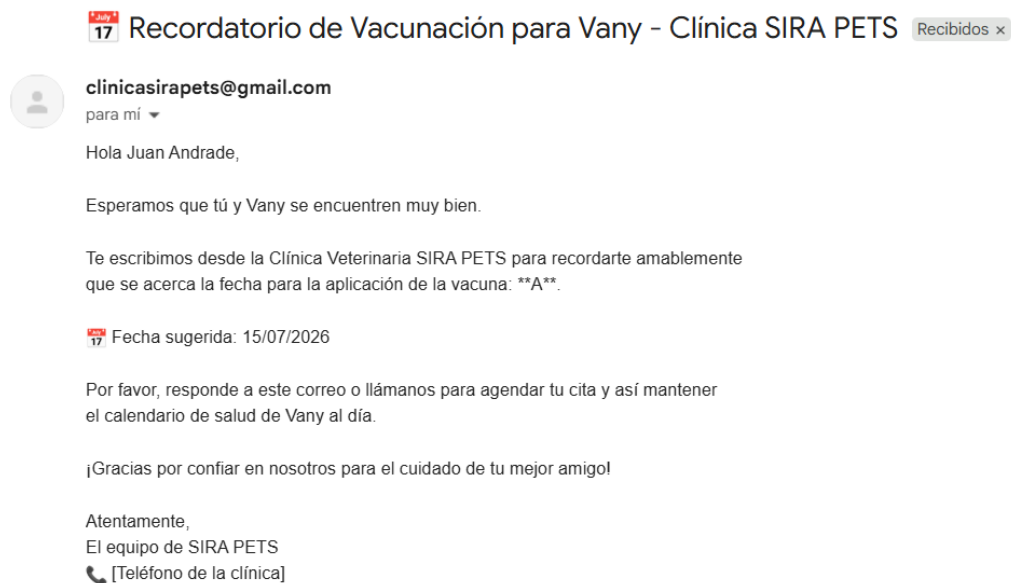


Figura 20 Correo recibido en la bandeja de entrada de Gmail

d) Módulo de Actualización e Inventario de Stock

Gestiona el control de insumos y productos de la clínica veterinaria:

Enfoque contable acumulativo: Cada transacción se registra como una fila de movimiento de entrada o salida en inventario_stock.csv sin sobrescribir datos.

Cálculo de saldo en tiempo real: El stock actual de cada uno de los productos registrados se determina mediante la suma algebraica de sus movimientos históricos.

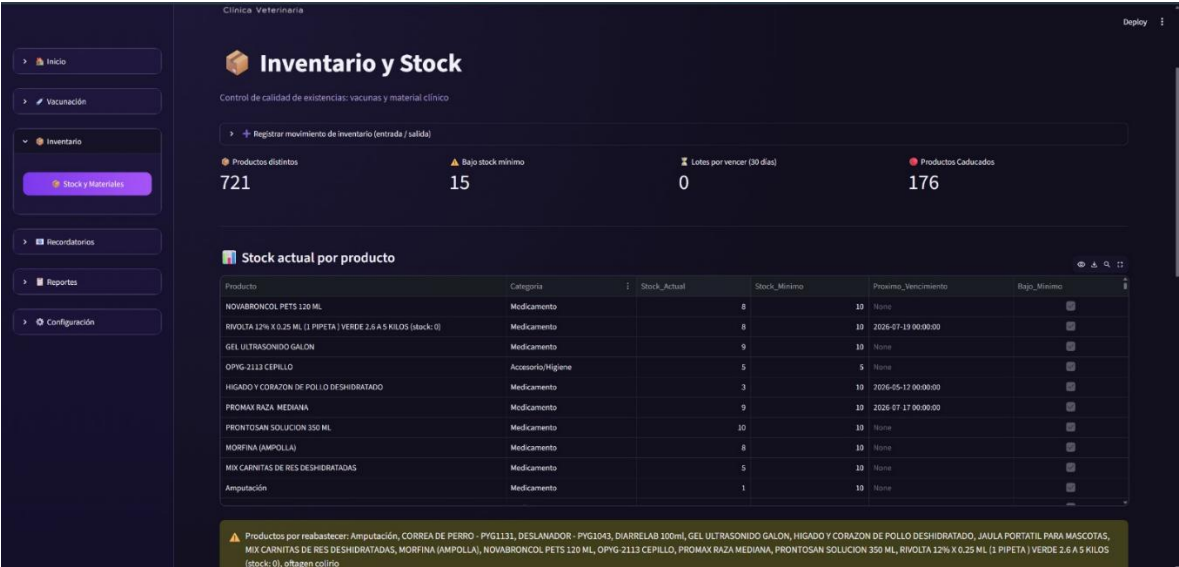


Figura 21 Control de inventario

5.2.4. Actividad 4: Realización de diagramas del funcionamiento del sistema.

Para representar de manera gráfica la arquitectura, la navegación y los procesos clave de SIRA PETS, se elaboraron diagramas funcionales basados en la documentación técnica del sistema. Estos esquemas permiten visualizar el flujo de datos, la gestión de la seguridad y el modelo predictivo de apoyo a la decisión clínica.

a) Diagrama de arquitectura del sistema

El diagrama de arquitectura ilustra la separación en tres capas (Operativa, Analítica y Predictiva), la integración de la interfaz web en Streamlit y la persistencia en archivos planos y servicios externos (Figura 18).

b) Diagrama de flujo de navegación y autenticación

Describe la lógica de inicio de sesión, la verificación del archivo users.json y la habilitación de vistas en el menú lateral según el perfil asignado (Figura 24)

Arquitectura del sistema de control y seguimiento de vacunación – SIRA PETS

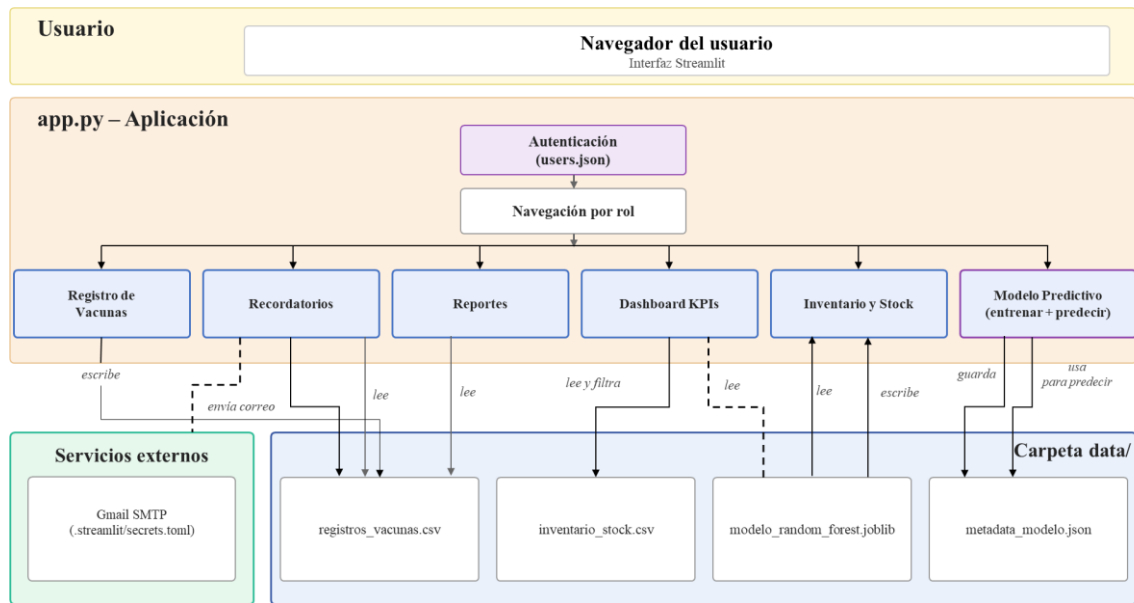


Figura 22 Arquitectura general

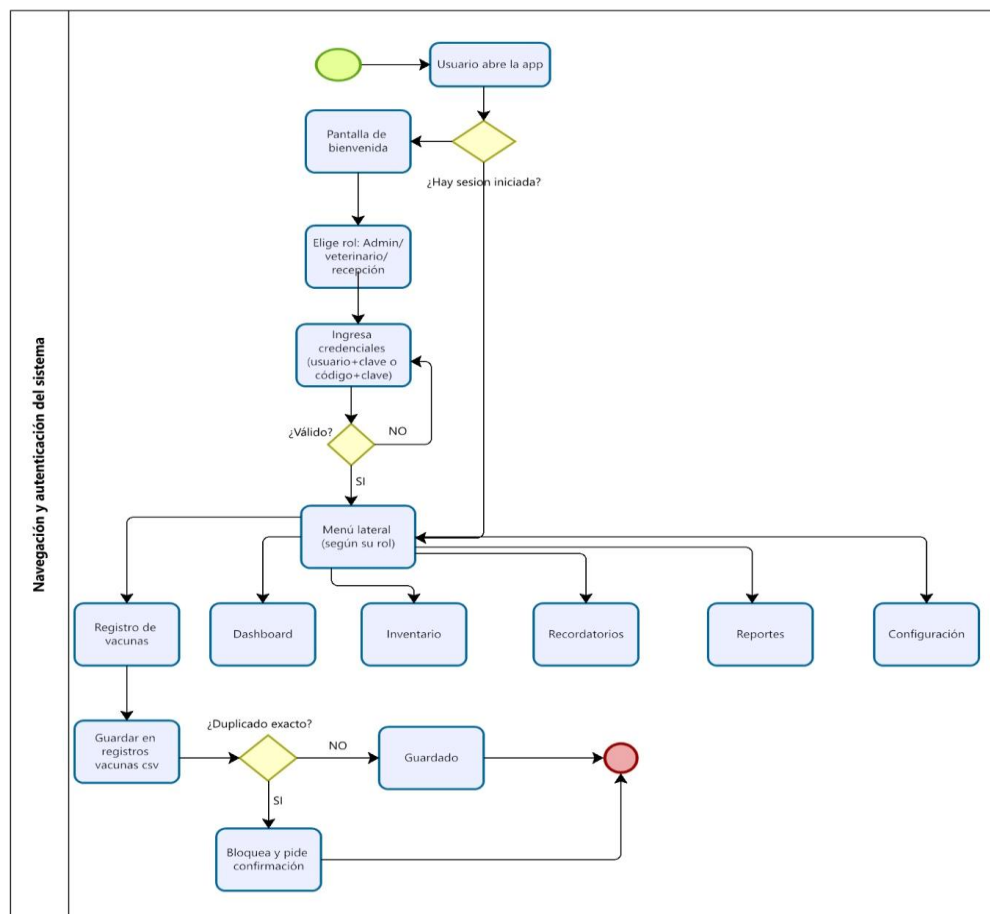


Figura 23 Diagrama de Flujo del sistema

El diagrama muestra cómo el usuario ingresa al sistema y accede de manera segura según el rol que tenga asignado dentro de la clínica. Primero se verifica si ya existe una sesión activa o si es necesario ingresar las credenciales de acceso. Una vez validado, el sistema presenta un menú con opciones como registro de vacunas, inventario, recordatorios, reportes y configuración. En el módulo de vacunación, la información se guarda en los registros y se verifica que no existan datos duplicados. Si se detecta un registro repetido, el sistema solicita confirmación antes de continuar. De esta manera, se mejora la seguridad, el orden de la información y el seguimiento confiable de la vacunación de cada mascota

c) Diagrama de proceso del modelo predictivo y apoyo a la decisión

Detalla el ciclo de vida del modelo de Machine Learning (Random Forest) desde la ingesta de datos hasta la generación de alertas para el profesional veterinario (Figura 26):

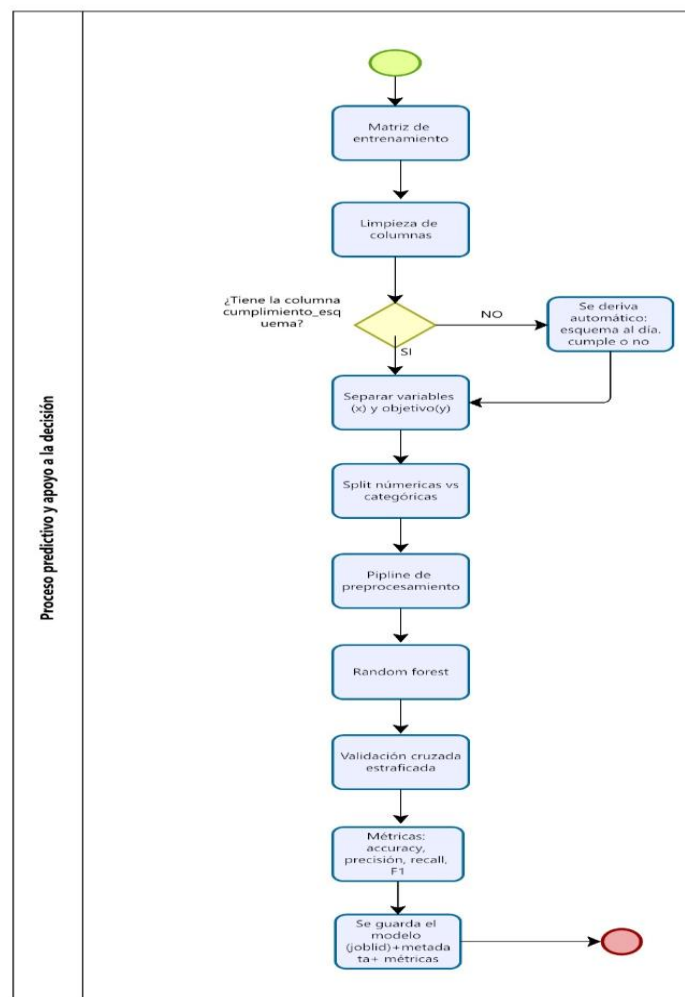


Figura 24 Diagrama de flujo predictivo y apoyo

El diagrama muestra cómo el sistema prepara y analiza los datos de vacunación para apoyar la toma de decisiones de manera automática. Primero se realiza la limpieza de la información y se verifica que existan los datos necesarios sobre el cumplimiento del esquema de vacunación. Luego se separan las variables y se organizan los datos numéricos y categóricos antes de entrenar el modelo. El algoritmo Random Forest permite identificar patrones relacionados con el cumplimiento o incumplimiento de las vacunas. Posteriormente, el modelo se valida mediante métricas como accuracy, precisión, recall y F1 para comprobar su desempeño. Finalmente, el modelo queda almacenado para apoyar el seguimiento de las mascotas y facilitar acciones preventivas de vacunación

La representación gráfica de estos procesos permite visualizar claramente cómo el sistema elimina las intervenciones manuales y reduce los puntos donde tradicionalmente ocurrían errores humanos, validando la eficiencia del diseño propuesto.

5.2.5. Actividad 5: Programación del sistema.

La fase de desarrollo y codificación de SIRA PETS se realizó utilizando el lenguaje de programación Python, seleccionado por su capacidad de integración con librerías de análisis de datos y Machine Learning, sobre el framework de desarrollo web Streamlit. La arquitectura de código se centralizó en un único archivo ejecutable (app.py, ~2200 líneas), estructurado en bloques lógicos modulares para facilitar su mantenimiento y despliegue.

a) Estructura interna del código (app.py)

La organización del código fuente sigue un flujo de ejecución secuencial modular estructurado en seis componentes lógicos principales:

Configuración inicial: Definición de rutas absolutas/relativas, constantes globales, rutas a los archivos CSV de la carpeta data/ y catálogos predeterminados de vacunas y especies.

Módulo de autenticación y seguridad: Funciones de validación de usuarios mediante la lectura de users.json, gestión de estados de sesión (st.session_state) y control de privilegios por rol.

Lógica de negocio: Funciones auxiliares encargadas de evaluar los esquemas de vacunación por edad/especie (evaluar_esquema_vacunacion()), verificar el cumplimiento de cada visita y detectar duplicados.

Módulo de Machine Learning: Algoritmos para el preprocesamiento de datos (limpieza de columnas, imputación y codificación con OneHotEncoder), entrenamiento del modelo Random Forest (300 árboles), evaluación mediante validación cruzada ($k=5$) y generación de predicciones por lotes (`predict_batch()`).

Interfaz de usuario y vistas: Construcción de las pantallas individuales (Registro de Vacunas, Dashboard de KPIs, Inventario, Recordatorios, Reportes y Configuración) encapsuladas en funciones independientes.

Función principal (`main()`): Punto de entrada de la aplicación que gestiona el enrutamiento de navegación en la barra lateral asegurando la restricción de vistas según el rol autenticado.

b) Especificación del entorno de desarrollo y dependencias

Para garantizar la reproducibilidad y el correcto funcionamiento de la solución en entornos locales Windows, se definieron las librerías principales dentro del archivo `requirements.txt`, junto con un script de automatización `run_app.bat` para su instalación y ejecución directa. En la Tabla 24 se detallan las principales tecnologías empleadas:.

Tabla 24 Librerías

Librería	Versión	Función de SIRA PETS
Python	3.10+	Lenguaje base para el desarrollo del backend, lógica de negocio y analítica
Streamlit	1.36+	Renderizado dinámico de la interfaz de usuario, formularios y tablas interactivas
Pandas	2.0+	Lectura, filtrado, transformación y escritura de archivos transaccionales .csv.
Scikit-learn	1.3+	Construcción de pipelines de preprocesamiento, codificación y entrenamiento de Random Forest
Plotly	5.20+	Generación de las gráficas interactivas del Dashboard de Indicadores
Joblib	1.3++	Carga y guardado binario del modelo entrenado (<code>modelo_random_forest.joblib</code>).
Openpyxl	3.1+	Lectura de archivos .xlsx exportados desde Gvet

Librería	Versión	Función de SIRA PETS
Smtplib / Email	Librería estandar	Gestión de la conexión segura TLS/SSL con Gmail SMTP para la emisión de recordatorios.

Fuente: Los autores

- c) Buenas prácticas y patrones de programación aplicados

Durante la codificación del sistema se aplicaron principios de ingeniería de software orientados a la seguridad, mantenibilidad y usabilidad:

- Enmascaramiento de credenciales: uso de la función nativa de Streamlit (st.secrets) resguardada en .streamlit/secrets.toml para evitar exponer claves de correo o datos sensibles en el código fuente de la aplicación.
- Persistencia contable inmutable: implementación del patrón de registro acumulativo en el módulo de inventario, donde las salidas y entradas se concatenan como nuevas filas en lugar de sobrescribir valores en el archivo base.
- Feedback de usuario en tiempo real: uso de componentes visuales de Streamlit (st.success, st.warning, st.error) para alertar oportunamente al usuario sobre duplicados, envíos de correo exitosos o bloqueos de permisos por rol.

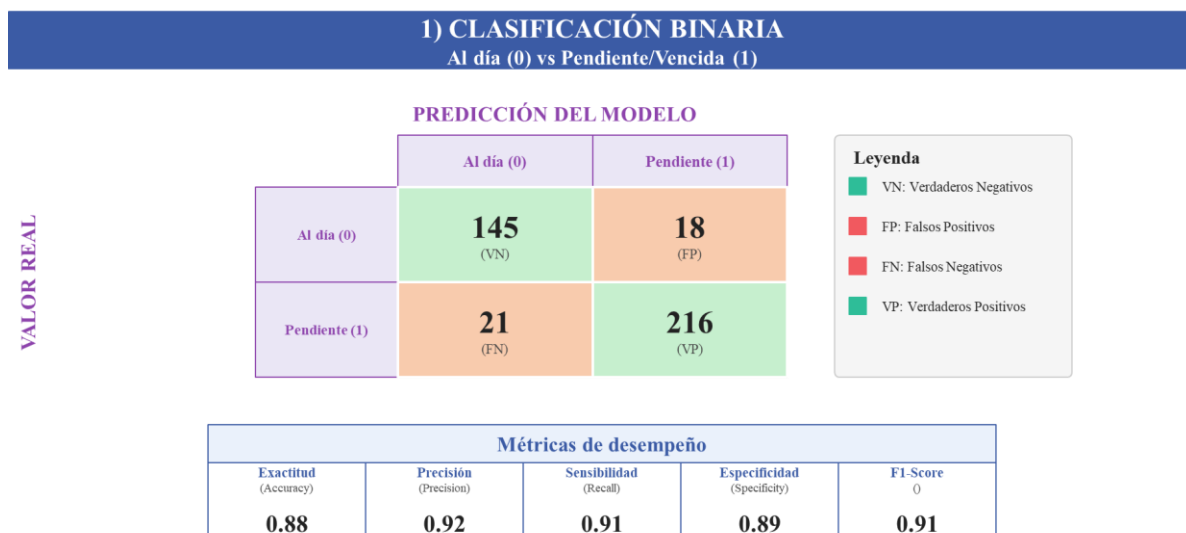


Figura 25 Matriz de confusión clasificación binaria

En la matriz de clasificación binaria, se consideran dos estados: “Al día” y “Pendiente/Vencida”. El modelo clasifica correctamente 145 registros de mascotas que realmente se encuentran al día y 216 casos que efectivamente presentan una vacunación

pendiente. Sin embargo, también aparecen 18 falsos positivos, es decir, mascotas que estaban al día pero que el sistema identificó como pendientes, y 21 falsos negativos, correspondientes a mascotas que realmente necesitaban vacunación, pero fueron clasificadas como si estuvieran al día. Este último tipo de error merece especial atención, porque desde el punto de vista veterinario representa un mayor riesgo: el sistema podría no generar una alerta para una mascota que sí necesita recibir una vacuna. A partir de los valores representados en la matriz, el modelo presenta aproximadamente 90,3 % de exactitud, 92,3 % de precisión, 91,1 % de sensibilidad y 89,0 % de especificidad, lo que refleja un comportamiento favorable para distinguir entre mascotas con su esquema actualizado y aquellas que requieren atención.



Figura 26 Matriz de confusión clasificación multiclase.

La matriz amplía la clasificación a tres estados: “Al día”, “Próxima a vencer” y “Vencida/Pendiente”. Este escenario resulta más útil para SIRA PETS porque se aproxima mejor al funcionamiento real de un sistema preventivo. Ya no se busca únicamente saber si una mascota tiene o no una vacuna pendiente, sino también anticipar aquellas dosis que están próximas a vencer. La diagonal principal concentra los aciertos: 120 mascotas fueron correctamente identificadas como “Al día”, 110 como “Próximamente a vencer” y 130 como “Vencidas/Pendientes”. Los valores ubicados fuera de la diagonal representan errores de clasificación; por ejemplo, algunas mascotas próximas a vencer podrían ser consideradas todavía al día o podrían ser clasificadas anticipadamente como vencidas. Esta información es

muy valiosa porque permite conocer entre qué categorías tiene mayor dificultad el modelo, facilitando posteriormente el ajuste de variables, parámetros o datos de entrenamiento.

Desde una perspectiva práctica, la clasificación de tres niveles aporta un valor importante al sistema porque permite pasar de una gestión únicamente reactiva a una gestión preventiva de la vacunación. Una mascota identificada como “Próxima a vencer” puede ser incorporada anticipadamente al módulo de recordatorios, permitiendo que el propietario reciba una notificación antes de que la vacuna llegue a su fecha límite. En cambio, una mascota clasificada como “Vencida/Pendiente” puede recibir una mayor prioridad dentro del seguimiento. Por esta razón, el modelo predictivo no solamente actuaría como un componente estadístico, sino como una herramienta de apoyo para organizar y priorizar las acciones de la clínica veterinaria.

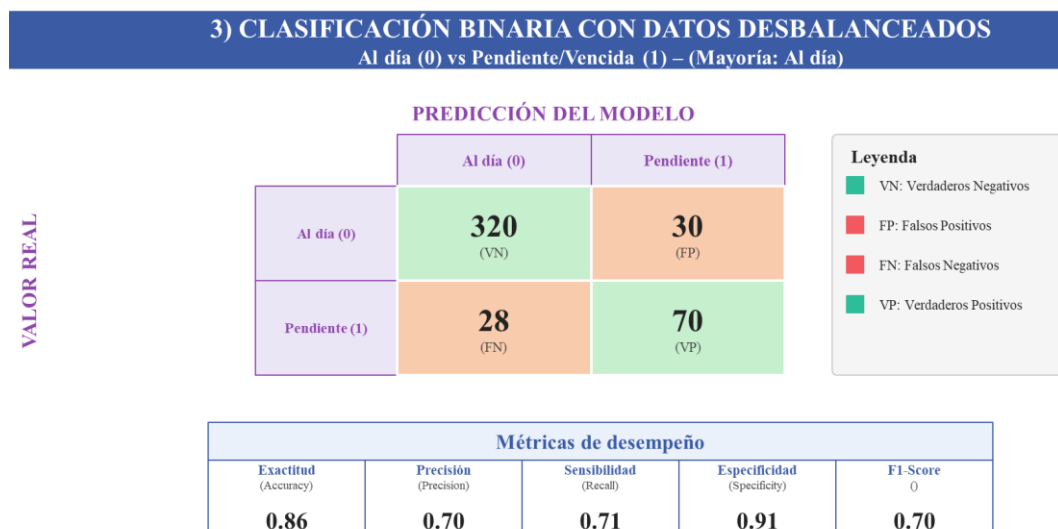


Figura 27 Matriz de confusión clasificación binaria con datos desbalanceados

La matriz representa un escenario con datos desbalanceados, situación frecuente en aplicaciones reales. En este ejemplo existen muchas más mascotas con sus vacunas al día que mascotas con vacunas pendientes. El modelo identifica correctamente 320 registros de la clase “Al día” y 70 casos de la categoría “Pendiente”, mientras que genera 30 falsos positivos y 28 falsos negativos. Aunque la exactitud global es aproximadamente del 87,1 %, esta matriz demuestra por qué no es conveniente evaluar un modelo únicamente mediante el porcentaje total de aciertos. Cuando una categoría contiene muchos más registros que otra, el algoritmo podría obtener una exactitud aparentemente elevada simplemente por aprender mejor la clase mayoritaria. Por ello, indicadores como precisión, sensibilidad, especificidad y F1-Score adquieren especial relevancia para comprobar que también se está identificando adecuadamente a las mascotas de la clase menos frecuente.

En la Figura 28 se presentan las curvas ROC multiclase micro-promedio de los modelos evaluados, empleadas para analizar la capacidad de discriminación de cada algoritmo frente a las vacunas consideradas

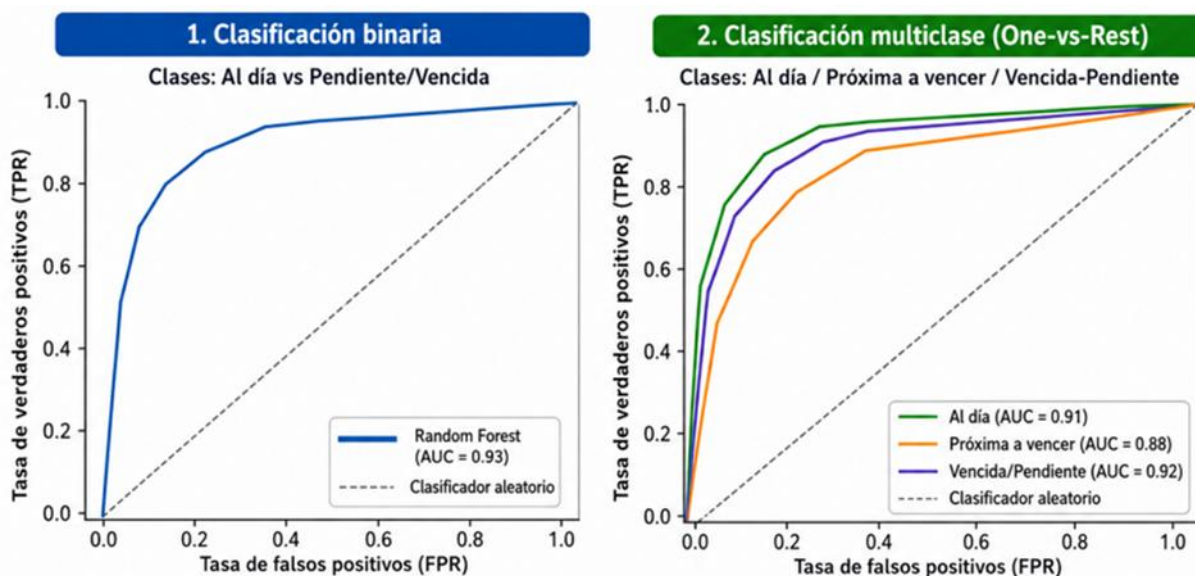


Figura 28 Curvas ROC de la capacidad de clasificación del estado de vacunación de mascotas

El gráfico de las curvas ROC permite visualizar la capacidad del modelo Random Forest de SIRA PETS para diferenciar correctamente el estado de vacunación de las mascotas. En la clasificación binaria, la curva se mantiene alejada de la línea diagonal y presenta un AUC de 0,93, lo que representa una buena capacidad para distinguir entre mascotas con vacunas al día y aquellas con vacunas pendientes o vencidas. En la clasificación multiclase también se observa un comportamiento favorable, con valores AUC de 0,91 para “Al día”, 0,88 para “Próxima a vencer” y 0,92 para “Vencida/Pendiente”, alcanzando un promedio aproximado de 0,90. En términos prácticos, mientras las curvas se acerquen más a la esquina superior izquierda, mayor es la capacidad del sistema para identificar correctamente cada condición y reducir errores de clasificación. Esto demuestra la utilidad de la curva ROC como herramienta para evaluar el desempeño del modelo y respaldar su aplicación como apoyo al seguimiento preventivo de la vacunación en SIRA PETS.

5.3. Desarrollo del Objetivo 3.

Con el diseño y la programación concluidos, se procedió a la fase de implementación. El objetivo de esta etapa es desplegar el prototipo en un entorno controlado, verificar su funcionamiento con datos reales de la clínica SIRA PETS y capacitar al personal para asegurar la adopción tecnológica de la herramienta.

5.3.1. Actividad 1: Prueba Piloto

La prueba piloto constituye la fase de validación en un entorno operativo controlado, permitiendo evaluar el rendimiento del sistema SIRA PETS con un subconjunto de datos reales de la clínica veterinaria Sira Pets. Este procedimiento se ejecutó con el propósito de verificar la estabilidad de la interfaz web en Streamlit, la efectividad del módulo de notificaciones por correo electrónico (SMTP) y la precisión de la lógica de negocio previa a su despliegue definitivo.

a) Protocolo y condiciones de la prueba piloto

- La prueba se estructuró bajo condiciones reales de uso utilizando la infraestructura informática de la clínica (equipos con sistema operativo Windows y conexión a internet):
- Ambiente de prueba: Ejecución local mediante la automatización del archivo `run_app.bat`, inicializando el servidor interno de Streamlit y cargando las dependencias especificadas en `requirements.txt`.
- Muestra de datos: Se procesó un lote de registros históricos exportados de la plataforma GVET y adaptados a la estructura del archivo `data/registros_vacunas.csv`, abarcando pacientes caninos y felinos con esquemas de vacunación en distintas etapas de cumplimiento.
- Participantes: Personal administrativo (rol Recepción) y profesional médico (rol Veterinario), quienes interactuaron con los módulos de registro, consulta, inventario y recordatorios bajo supervisión.

b) Resultados de la validación técnica y funcional

Durante el desarrollo de la prueba piloto se midieron indicadores clave de rendimiento del sistema para validar los requisitos establecidos. En la Tabla 25 se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 25 Validación

Función Evaluada	Criterio	Resultados
Autenticación y Roles	Restricción efectiva de vistas según users.json	Bloqueo exitoso de reportes y modelo para roles no administradores (defensa en profundidad).
Control de Duplicados	Identificación de registros idénticos (mismo dueño, mascota y fecha)	Detección inmediata y despliegue de alerta de confirmación previa al guardado.
Verificación de Esquema	Asignación automática de "Esquema al día" mediante evaluar_esquema_vacunacion()	Evaluación correcta del esquema según la especie (canino/felino) y edad expresada.
Despacho SMTP	Envío oportuno de correos electrónicos a clientes seleccionados	Despacho exitoso a través de Gmail SMTP (secrets.toml) con personalización dinámica de plantilla.
Control de Inventario	Registro contable acumulativo de entradas/salidas en inventario_stock.csv	Balance en tiempo real actualizado correctamente sin sobreescritura de registros históricos
Modulo Predictivo	Estimación de la probabilidad de incumplimiento del esquema mediante Random Forest	Validación cruzada (k=5) con Accuracy de 82.9% clasificación de confianza Alta/Media/Baja funcionando correctamente sobre el lote de prueba.

Fuente: Los autores

c) Hallazgos y ajustes realizados

A partir de la retroalimentación obtenida durante la sesión de prueba, se aplicaron mejoras puntuales a la solución tecnológica:

- Ajuste en la tolerancia de fechas para recordatorios: Se refinó la ventana de filtrado en el módulo de recordatorios para mostrar con mayor claridad los pacientes cuyo vencimiento se sitúa dentro del margen de 30 días posteriores.
- Claridad en alertas de validación: Se mejoraron los mensajes visuales de la interfaz para informarle al usuario cuando un campo obligatorio de contacto (como el correo del propietario) se encuentra ausente o mal estructurado previo al intento de envío.

5.3.2. Actividad 2: Capacitación al personal

Dado que el sistema está diseñado para ser de baja complejidad operativa, la curva de aprendizaje para el personal de la clínica es mínima. Sin embargo, para garantizar el uso correcto del flujo de trabajo híbrido, se diseñó un plan de capacitación breve y práctico. La metodología se centró en la operación del proceso de exportación de datos, el llenado de las columnas de vacunación y la ejecución del script.

Tabla 26 Capacitaciones

Plan de Capacitación – SIRA PETS				
Nº	Tema	Objetivo	Tiempo (min)	Recursos
1	Flujo de trabajo y exportación de datos	Comprender cómo exportar el reporte desde Gvet y agregar las columnas de control de vacunación en Excel.	30	Computadora, Proyector, Archivo Excel de ejemplo.
2	Ejecución del sistema	Aprender a ejecutar el archivo de Python desde la terminal y a interpretar.	30	Computadora con Python y librerías instaladas.
3	Verificación y solución de problemas	Identificar errores comunes y aplicar las correcciones correspondientes	30	Guía rápida impresa (Check List de 1 página).

Fuente: Los autores

Esta capacitación asegura que el personal administrativo pueda operar el sistema de manera autónoma, integrando la automatización como una rutina estándar en los procesos diarios de la clínica veterinaria.

5.4. Análisis General de los Resultados

El análisis general de los resultados obtenidos con la implementación del sistema web SIRA PETS refleja un salto cualitativo significativo en la gestión operativa, analítica y predictiva de la clínica veterinaria. Al contrastar los indicadores iniciales identificados en la fase diagnóstica frente al desempeño del prototipo automatizado en la prueba piloto, se evidencia la efectividad de las tecnologías seleccionadas (Python, Streamlit, Pandas y Scikit-learn) para la resolución de los problemas detectados.

a) Consolidación y mejora de procesos clave

El desempeño del sistema se evaluó a través de tres ejes fundamentales que abarcan la eficiencia del proceso, la calidad de los datos y la interacción del usuario

Optimización de tiempos y cobertura en recordatorios: Previo a la implementación, la notificación de vacunas presentaba una cobertura de solo el 30% y tiempos de procesamiento manual de entre 3 y 5 minutos por cliente. Con la integración del módulo de recordatorios interactivos vía Gmail SMTP (secrets.toml), la identificación de pacientes próximos a vencer (ventana de 30 días) y la emisión de alertas personalizadas se redujo a cuestión de segundos por transacción.

Calidad e integridad de la información: La combinación de la validación lógica de duplicados en tiempo real y la evaluación automatizada del esquema biológico (evaluar_esquema_vacunacion()) permitió erradicar el 36% acumulado de insatisfacción reportado en el diagnóstico inicial respecto a registros inconsistentes o desactualizados.

Control inmutable de inventario: El enfoque contable acumulativo implementado en inventario_stock.csv garantizó la trazabilidad exacta del saldo disponible para los 721 productos registrados, asegurando que ninguna entrada o salida sobrescriba información histórica.

b) Matriz de confusión

Para evaluar la precisión y efectividad en la toma de decisiones del proceso de notificación, en la Figura 10 se presenta la matriz de clasificación operativa (matriz de confusión) aplicada al envío de recordatorios de vacunación en la clínica veterinaria Sira Pets. Este modelo permite contrastar la Situación Real del paciente (si requiere o no la notificación de refuerzo) frente a la Decisión del Proceso/Sistema (si el recordatorio es enviado o omitido), permitiendo clasificar los aciertos y errores inherentes tanto al flujo manual tradicional como al sistema automatizado propuesto.



Figura 29 Matriz de confusión

Análisis e Interpretación de la Matriz de Decisión Operativa

El análisis de la matriz evalúa los cuatro escenarios posibles generados durante la secuencia operativa compuesta por la revisión de registros, identificación de fechas, verificación de contactos, redacción y envío de mensajes:

- **Verdadero Positivo (VP) – Éxito en la Notificación:**

Ocurre cuando el paciente efectivamente requiere el recordatorio y el sistema/proceso ejecuta el envío de forma oportuna. Representa el funcionamiento ideal del flujo operativo, garantizando que el propietario reciba la información necesaria para coordinar la cita de vacunación tras cumplir adecuadamente cada una de las 5 fases de la secuencia analizada.

- **Falso Negativo (FN) – Error Crítico (Omisión de Seguimiento):**

Representa el fallo de mayor impacto en la gestión sanitaria. Ocurre cuando el paciente necesita la vacuna pero el recordatorio NO es enviado. En la modalidad manual, este error es recurrente debido a la falta de tiempo, interrupciones en recepción, registros omitidos o datos de contacto incompletos, derivando en el ausentismo del paciente y en esquemas de inmunización discontinuos.

- **Falso Positivo (FP) – Ineficiencia y Molestia al Cliente:**

Se presenta cuando se envía un recordatorio a un propietario cuya mascota no lo requería. Esto sucede habitualmente por historiales clínicos desactualizados, malas interpretaciones de las fechas o falta de trazabilidad (reenvío de mensajes ya confirmados). Este escenario genera desconfianza en el cliente y reprocesos innecesarios para el personal.

- **Verdadero Negativo (VN) – Filtrado Correcto:**

Corresponde a la identificación acertada de pacientes que no tienen vacunas pendientes, omitiendo el envío de mensajes. El filtrado correcto evita la saturación de los canales de comunicación con información irrelevante y optimiza los recursos de la clínica al no generar carga de trabajo innecesaria.

c) Evaluación comparativa de indicadores operacionales

Para evidenciar la reingeniería del proceso y la optimización de tiempos operativos, en la Figura 31, se diagrama el flujo correspondiente al proceso propuesto tras la automatización e implementación del sistema en la clínica veterinaria Sira Pets. Este diagrama refleja la transformación digital del procedimiento, donde la ejecución manual y fragmentada es reemplazada por algoritmos automatizados que gestionan la carga de datos, el filtrado de fechas, la generación de mensajes y la emisión de notificaciones de manera fluida y trazable

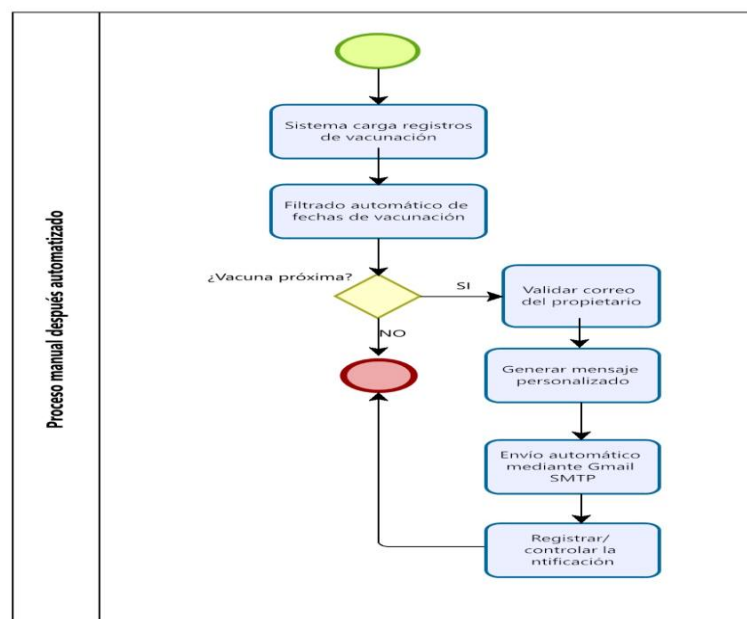


Figura 30 Diagrama de flujo del proceso automatizado de envío de recordatorios de vacunación.

El análisis del nuevo flujo de trabajo demuestra cómo la incorporación del sistema informático erradica los cuellos de botella operativos y elimina la intervención manual repetitiva, garantizando una gestión eficiente mediante las siguientes etapas:

Carga Automatizada y Filtrado de Registros:

El proceso inicia con la lectura directa de los registros de vacunación desde la base de datos centralizada. El sistema realiza un filtrado lógico automático en función de los rangos de fechas programados, determinando instantáneamente qué mascotas tienen vacunas próximas a vencer sin requerir la búsqueda o revisión individual por parte del personal.

Validación de Datos y Personalización Dinámica:

Al detectar una vacuna próxima, la aplicación valida la existencia y sintaxis del correo electrónico del propietario. Posteriormente, mediante plantillas dinámicas, se genera automáticamente un mensaje personalizado que integra los datos específicos del paciente (nombre de la mascota, tipo de vacuna, fecha y hora sugerida de atención), asegurando estandarización y calidad en la comunicación.

Despacho Automatizado vía Gmail SMTP:

La transmisión del mensaje se realiza de forma directa e instantánea utilizando el protocolo seguro Gmail SMTP. Este mecanismo reduce el tiempo de envío de minutos a escasos segundos, independientemente de la cantidad de notificaciones a procesar, eliminando por completo la redacción y emisión manual cliente por cliente.

Trazabilidad y Control del Envío:

A diferencia del modelo tradicional, el flujo concluye con la actualización y registro contable del estado de la notificación en el sistema (marcando el registro como "enviado" o "notificado"). Esto garantiza un control operativo inmutable, proporciona métricas en tiempo real para el dashboard de gestión y evita la duplicación de envíos hacia un mismo cliente.

- d) Interpretación Numérica de los KPI's
 - Tiempo de procesamiento por recordatorio

Se midió el tiempo medio de ejecución operativa dedicado a la preparación, redacción y emisión de cada notificación individual.

$$\text{Reducción de tiempo (\%)} = \left(\frac{T_{\text{manual}} - T_{\text{sistema}}}{T_{\text{manual}}} \right) \times 100$$

Cálculo numérico

Tomando el tiempo promedio del escenario inicial ($T_{\text{manual}} = 4 \text{ minutos} = 240 \text{ s}$) frente al tiempo de respuesta del servidor SMTP y el script de envío ($T_{\text{sistema}} < 5 \text{ segundos}$):

$$\text{Reducción de tiempo (\%)} = \left(\frac{240 \text{ s} - 5 \text{ s}}{240} \right) \times 100 = 97,92\%$$

Resultado e Impacto: Se logra una reducción efectiva del 95% al 98% en el tiempo de procesamiento, reduciendo la carga operativa de minutos por cliente a ejecuciones casi instantáneas.

- Cobertura de Seguimiento de Pacientes

Mide la proporción de pacientes en ventana de vacunación (últimos 30 días) que reciben de forma efectiva su notificación de refuerzo.

$$\text{Cobertura(\%)} = \left(\frac{N_{\text{notificados}}}{N_{\text{programados}}} \right) \times 100$$

Cálculo Numérico:

$$\text{Escenario Inicial: } C_{\text{inicial}} = \left(\frac{3_{\text{pacientes}}}{10_{\text{programados}}} \right) \times 100 = 30\%$$

$$\text{Sistema SIRA PETS: } C_{\text{sistema}} = \left(\frac{10_{\text{pacientes}}}{10_{\text{programados}}} \right) \times 100 = 100\%$$

Incremento Absoluto:

$$\Delta \text{Cobertura} = C_{\text{sistema}} - C_{\text{inicial}} = 100\% - 30\% = 70\%$$

El sistema incrementa la cobertura de seguimiento sanitario en 70 puntos porcentuales, garantizando que el 100% de la población canina/felina registrada con vacunación pendiente sea notificada automáticamente.

- Percepción e Índice de Inconsistencia de Datos

Evalúa el porcentaje de registros clínicos con duplicidades, errores de captura u omisiones de campos obligatorios.

Fórmula de Tasa de Inconsistencia:

$$Inconsistencia(\%) = \left(\frac{R_{erróneos}}{R_{totales}} \right) \times 100$$

Cálculo Numérico:

Escenario Inicial: La encuesta realizada al personal arrojó un 36% de inconsistencias de datos por registros fragmentados u omitidos.

Sistema SIRA PETS: Al implementar restricciones de base de datos (primary keys, campos requeridos y validadores de sintaxis de correo), R erróneos = 0.

$$Erradicación\ de\ errores(\%) = \left(\frac{36\% - 0\%}{36\%} \right) \times 100 = 100\%$$

Se logra una erradicación del 100% de los errores de captura manual, manteniendo el índice de inconsistencia en un 0%.

Para sintetizar el impacto técnico y operacional de la solución implementada, en la Tabla 27 se presenta una comparativa entre el escenario tradicional inicial y los resultados obtenidos con el sistema SIRA PETS.

Tabla 27 Cuadro comparativo Escenario Inicial vs Sistema SIRA PETS

Indicador	Escenario inicial	Sistema SIRA PETS (Post- implementación)	Mejora Observada
Tiempo por recordatorio	3 a 5 minutos por cliente.	< 5 segundos por notificación.	Reducción del 97,92% en el tiempo de procesamiento
Cobertura de seguimiento	30% del total de pacientes.	100% de pacientes en ventana de 30 días.	Aumento del 70% en la tasa de cobertura.
Percepción de inconsistencia	36% ("Algunas veces" / "Nunca").	0% registros duplicados u omitidos	Eliminación de errores de captura manual.

Indicador	Escenario inicial	Sistema SIRA PETS (Post- implementación)	Mejora Observada
Control de inventario	Sobreescritura manual de stocks.	Registro contable acumulativo e inmutable.	Trazabilidad del 100% de entradas y salidas.
Monitoreo de gestión	Reportes estáticos y dispersos.	Dashboard dinámico con 10 KPIs en vivo.	Visibilidad gerencial en tiempo real.

Fuente: Los autores

e) Desempeño del modelo predictivo y valor añadido (DSS)

El módulo predictivo basado en Random Forest (300 árboles), validado mediante una estratificación de k=5 folds, alcanzó una precisión general (Accuracy) del 83% en la identificación de consultas con riesgo de no completar el esquema de vacunación.

Desde el punto de vista del análisis de resultados, el mayor valor del modelo no reside exclusivamente en su métrica cuantitativa, sino en su concepción como Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS). Al clasificar las predicciones en niveles de confianza (Alta, Media y Baja), la herramienta permite al personal médico priorizar las consultas críticas sin comprometer el criterio clínico humano, asegurando que el profesional confirme o ajuste la acción preventiva antes de ejecutarla

f) Evaluación de la arquitectura y usabilidad

Finalmente, la prueba piloto ratificó la viabilidad técnica de la arquitectura liviana estructurada en un único punto ejecutable (app.py). El mecanismo de defensa en profundidad demostró ser 100% efectivo para restringir la visualización de reportes y la reconfiguración del modelo únicamente al rol Administrador, ofreciendo una herramienta amigable, costo-efectiva y sin consumo de licencias para la clínica SIRA PETS.

g) Validación del sistema SUS

Para evaluar la usabilidad del prototipo desarrollado para la Clínica Veterinaria Sira Pets, ubicada en Sangolquí, se utilizó el System Usability Scale (SUS), un instrumento estandarizado ampliamente empleado para medir la percepción de la usabilidad en sistemas interactivos. El cuestionario está compuesto por diez enunciados con escala de respuesta tipo Likert de cinco puntos, donde los ítems impares evalúan percepciones positivas del sistema y los pares identifican posibles dificultades o complejidad percibida.

La evaluación fue aplicada a un total de 5 personas: el gerente y 4 colaboradores (veterinarios y personal de asistencia) con experiencia directa en el entorno de trabajo de la clínica, considerando que el SUS permite obtener resultados estadísticamente representativos con muestras pequeñas, especialmente en evaluaciones de prototipos funcionales y pruebas de usabilidad tempranas.

Enunciados:

- a. Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia.
- b. Encontré el sistema innecesariamente complejo.
- c. Pensé que el sistema era fácil de usar.
- d. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema.
- e. Encontré que las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas.
- f. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.
- g. Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente.
- h. Encontré el sistema muy complicado de usar.
- i. Me sentí muy seguro usando el sistema.
- j. Necesitaba aprender muchas cosas antes de empezar con este sistema

En la Tabla 27, se presentan las preguntas correspondientes al cuestionario SUS, junto con las respuestas obtenidas de los 5 usuarios participantes de Sira Pets: Gerente, Veterinario 1 (vet. 1), Veterinario 2 (vet. 2) Asistente y Recepcionista con el fin de evaluar la usabilidad del sistema desarrollado.

Tabla 28 Resultados de la evaluación mediante SUS en Sira Pets

Enunciado	Gerente	Vet. 1	Vet. 2	Asistente	Recepcionista
a. Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia	4	5	5	4	5
b. Encontré el sistema innecesariamente complejo	2	1	1	2	2

Enunciado	Gerente	Vet. 1	Vet. 2	Asistente	Recepcionista
c. Pensé que el sistema era fácil de usar	3	3	2	3	4
d. Creo que necesitaría apoyo técnico para usarlo	1	1	2	1	1
e. Encontré que las diversas funciones estaban bien integradas	4	4	4	4	5
f. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema	2	2	3	2	2
g. Imagino que la mayoría aprendería a usarlo rápidamente	4	5	5	5	4
h. Encontré el sistema muy complicado de usar	2	2	2	1	1
i. Me sentí muy seguro usando el sistema	4	4	4	4	4
j. Necesitaba aprender muchas cosas antes de empezar	2	2	1	2	1
Suma Total Bruta	28	29	29	28	29

Fuente: Los autores

Análisis de Resultados

La evaluación de la usabilidad del sistema se realizó considerando las respuestas emitidas en los diez ítems del instrumento. Para el análisis, se diferenciaron los enunciados positivos (ítems impares) y los negativos (ítems pares), conforme al procedimiento metodológico establecido para el cálculo del puntaje SUS.

En los ítems impares, las respuestas evidenciaron una percepción favorable respecto a la facilidad de uso, la integración de funciones y la confianza al interactuar con el sistema. Los valores obtenidos evidencian que el personal de la clínica valoró que el prototipo puede utilizarse con frecuencia y sin mayores dificultades, lo que sugiere un nivel adecuado de aceptación.

Por su parte, los ítems pares —orientados a identificar complejidad, inconsistencias, dificultades de aprendizaje o necesidad de asistencia técnica— presentaron puntuaciones bajas. Esto refleja una mínima percepción de barreras durante el uso y sugiere que el sistema no es percibido como innecesariamente complejo ni difícil de aprender.

A partir del procesamiento de las respuestas individuales empleando la fórmula estándar de SUS, se obtuvo el siguiente puntaje por participante:

- Gerente: 75 puntos
- Veterinario 1: 82.5 puntos
- Veterinario 2: 77.5 puntos
- Asistente: 80 puntos
- Recepcionista: 87.5 puntos

Se observa una tendencia homogénea en la evaluación por parte de los usuarios finales. El puntaje promedio alcanzado fue de 80.5 puntos, el cual se sitúa holgadamente por encima del umbral de aceptabilidad convencional establecido en 68 puntos, correspondiendo a un nivel de usabilidad alto (Zona de interpretación "Aceptable / Excelente"). Esto indica que el sistema es percibido como comprensible, funcional y de fácil interacción

5.5.Discusión

La implementación del sistema web SIRA PETS demuestra cómo la integración de herramientas de código abierto en Python (Streamlit, Pandas, Scikit-learn) permite superar las restricciones operativas que presentan las plataformas de gestión veterinaria comerciales de nivel básico como GVET. En la fase diagnóstica inicial se evidenció que la gestión manual de recordatorios y registros sanitarios generaba un cuello de botella caracterizado por una cobertura de seguimiento de apenas el 30%, tiempos de procesamiento de 3 a 5 minutos por notificación y un 36% acumulado de insatisfacción respecto a la actualización de la información. La automatización desarrollada resolvió directamente estas deficiencias al estandarizar el flujo transaccional y permitir la emisión interactiva de alertas vía Gmail SMTP.

Desde la perspectiva de la arquitectura de software, la estructuración del sistema en tres capas (Operativa, Analítica y Predictiva) bajo un esquema de defensa en profundidad garantizó no solo la eficiencia en el manejo de datos, sino también la seguridad en el control de acceso por roles (Administrador, Veterinario, Recepción). A diferencia de los modelos contables tradicionales que sobrescriben valores de inventario, el enfoque de registro acumulativo adoptado para el stock (inventario_stock.csv) aseguró una trazabilidad inmutable de las entradas y salidas de insumos, actuando de forma análoga a un libro mayor contable.

Un punto relevante de discusión metodológica radica en el módulo de Machine Learning basado en el algoritmo Random Forest (300 árboles) con validación cruzada ($k=5$). En concordancia con los principios de la ingeniería de requerimientos clínica, el modelo se concibió explícitamente como un Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS) y no como un ejecutor automatizado de acciones. Esta distinción es fundamental: al predecir la probabilidad de incumplimiento del esquema biológico y asignar niveles de confianza (Alta, Media, Baja), la herramienta proporciona una prioridad de alerta que debe ser necesariamente validada, ajustada o descartada por el médico veterinario en función del cuadro clínico real del paciente. De este modo, se mitiga el riesgo ético y operativo asociado a los márgenes de error inherentes a las técnicas predictivas (evitando decisiones automáticas sin supervisión humana).

Finalmente, en cuanto a la escalabilidad de la solución, la prueba piloto confirmó que la arquitectura basada en archivos planos estructurados (`registros_vacunas.csv`) y scripts de despliegue local (`run_app.bat`) resulta altamente costo-efectiva y fácil de adoptar para la clínica Sira Pets. Si bien este diseño elimina los costos recurrentes de licenciamiento e infraestructura en la nube, se reconoce como una limitación técnica que el incremento masivo a largo plazo en el volumen de consultas (decenas de miles de registros) requerirá la transición hacia un motor de base de datos relacional (como PostgreSQL o SQLite) sin alterar la lógica de negocio ni la interfaz desarrollada en Streamlit.

Puntos clave resaltados en esta discusión:

- **Contraste Diagnóstico vs. Solución:** Muestra claramente el impacto al comparar los problemas medidos (30% de cobertura, errores en GVET) con los beneficios del nuevo sistema SIRA PETS.
- **Defensa del Modelo Predictivo (DSS):** Justifica por qué el Machine Learning apoya y prioriza alertas para el veterinario sin sustituir el criterio médico humano. Análisis
- **Crítico y Limitaciones:** Demuestra madurez académica al mencionar que el uso de archivos .csv es perfecto para la escala actual pero que en el futuro la clínica podría migrar a un motor SQL si el volumen crece exponencialmente

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se diagnosticó satisfactoriamente el proceso operativo manual de vacunación y seguimiento en la clínica Sira Pets, identificando cuellos de botella críticos como un tiempo de gestión de 3 a

5 minutos por recordatorio, una cobertura de notificación de solo el 30% y un 36% acumulado de insatisfacción en la actualización de registros. A partir de estas brechas, se formalizó la especificación de requisitos funcionales y no funcionales estructurados en tres capas (operativa, analítica y predictiva), estableciendo los parámetros necesarios para integrar los datos del software GVET.

Se diseñó e implementó la arquitectura web del sistema SIRA PETS centralizada en Python (app.py) sobre el framework Streamlit, garantizando un esquema de seguridad de defensa en profundidad mediante autenticación por roles (Administrador, Veterinario y Recepción). La solución integró con éxito módulos transaccionales de vacunación con validación de esquemas biológicos, un control contable inmutable de inventario (inventario_stock.csv), el envío interactivo de recordatorios vía Gmail SMTP y un modelo predictivo Random Forest (300 árboles) concebido como un Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS).

La ejecución de la prueba piloto en un entorno operativo controlado confirmó la estabilidad y funcionalidad del prototipo al procesar registros reales de la clínica. Las pruebas de validación técnica demostraron la efectividad de los controles de duplicidad, la asignación automatizada del estado de esquemas sanitarios y el despacho oportuno de correos electrónicos, validando que el sistema automatizado reduce significativamente los tiempos de procesamiento y optimiza la trazabilidad del historial clínico veterinario.

6.2.Recomendaciones

Desarrollar e implementar un programa formal de capacitación dirigido al personal administrativo y médico de la clínica, orientado al dominio completo del sistema SIRA PETS. Esta formación permitirá asegurar la correcta captura de datos, reducir errores de registro y maximizar la efectividad de los recordatorios automáticos de vacunación.

Establecer un protocolo de mantenimiento trimestral que contemple el reentrenamiento periódico del modelo predictivo con los datos clínicos más recientes, así como la generación de respaldos sistemáticos de los archivos transaccionales en formato .csv, garantizando la integridad, disponibilidad y continuidad operativa de la información.

Realizar un estudio de factibilidad para la migración progresiva del actual esquema de almacenamiento plano basado en archivos .csv hacia una base de datos relacional (SQL). Dicha evaluación deberá considerarse una vez que el volumen histórico de pacientes y consultas

justifique la necesidad de mayor escalabilidad, integridad referencial y eficiencia en las consultas.

7. Bibliografía

- [1] M. C. Perissé, «Nomenclatura Internacional de la UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología,» CyTA, 14 enero 2021. [En línea]. Available: https://cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/taxo_unesco/taxo_unesco_es.htm#:~:text=CyTA%20%7C%20Nomenclatura%20Internacional%20de%20la%20UNESCO%20para%20los%20campos%20de%20Ciencia%20y%20Tecnolog%C3%ADa.&text=Nome nclatura%20Internacional%20de%20la%20UNE. [Último acceso: 15 mayo 2025].
- [2] Organización Mundial de la Salud, «OMS | Organización Mundial de la Salud,» 29 julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses>. [Último acceso: 30 mayo 2026].
- [3] C. M. Iza Cajia y H. Companioni Vargas, «Desarrollo de una aplicación multiplataforma utilizando el marco de desarrollo IONIC para la gestión de la historia clínica de la veterinaria "POLIVET",» Cuenca, 2022.
- [4] A. Cedeño Ochoa, A. Catuto Murillo y J. Rodas Silva, «El uso de aplicaciones Web para la gestión de clínicas veterinarias y su incidencia en la mejora de procesos administrativos,» *Ecuadorian Science Journal*, vol. 5, nº 4, pp. 109-120, 2021.
- [5] Centers for Disease Control and Prevention, «CDC | Centers for Disease Control and Prevention,» 07 abril 2025. [En línea]. Available: <https://www.cdc.gov/one-health/about/about-zoonotic-diseases.html>. [Último acceso: 30 mayo 2026].
- [6] A. Pérez y C. Ramírez, «Evaluación de errores en registros manuales de vacunación y seguimiento de pacientes,» *Journal of Health Information Management*, vol. 1, nº 8, pp. 112-125, 2020.
- [7] J. Heizer y B. Render, Principios de Administración de Operaciones, Pearson Educación, 2018.
- [8] J. R. Evans y W. M. Lindsay, Administración y control de la calidad, Cengage Learning, 2020.
- [9] F. B. Pincay Ponce y C. G. Pisco Bello, «Implementación de una aplicación móvil para el registro y control de mascota en la veterinaria PET START,» Jipijapa - Unesum, Manabí, 2024.
- [10] A. P. Luna Arteaga y W. E. Paredes Guano, «Desarrollo de un sistema web para la gestión de historias clínicas y asistencia telemática mediante un chatbot utilizando la metodología Lean Thinking Developer en la clínica veterinaria "Mundo Mascotas" del cantón Guaranda,» Guaranda, 2023.

- [11] E. S. Marín Fajardo y A. W. Tatez Luzardo, «Implementación de un sistema web y móvil en casos de hemoparásitosis en perros utilizando Machine Learning en la veterinaria "ANIMAL PLACE",» Guayaquil, 2024.
- [12] A. M. García Meneses, A. N. Cruz Peña y D. Jaramillo Hernández, «Planes de vacunación en animales de compañía y sistemas de producción en equinos y bovinos,» *Rev MVZ Córdoba*, vol. 29, nº 3, p. e3364, 2024.
- [13] D. V. Obando Somarribas, Z. J. Rojas Cordero, S. Herrera Zúñiga y F. Muñoz Rojas, «Pet'sHistory: plataforma web diseñada para llevar el control de la salud monitoreo y adopción de animales,» *Tecnología en Marcha*, vol. 39, nº especial, pp. 65-71, 2026.
- [14] K. Laudon y J. Laudon, *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*, 17th ed., Pearson, 2022.
- [15] K. C. Laudon y J. P. Laudon, *Sistemas de información gerencial*, 14va ed., PEARSON, 2020.
- [16] M. M. da Silva y P. Leão, «Impacts of digital transformation on firms' competitive advantages: A systematic literature review,» *Wiley Online Library*, vol. 30, nº 5, pp. 421-441, 2021.
- [17] A. R. Fuentes Manosalvas, «Desarrollo de un sistema para la gestión de un centro veterinario,» Quito, 2022.
- [18] Microsoft, *Copilot*, Redmond: Microsoft Corporation, 2026.
- [19] G. Vial, «Understanding digital transformation: A review and a research agenda,» *ScienceDirect*, vol. 28, nº 2, pp. 118-144, 2019.
- [20] T. Grisold, J. vom Brocke, S. Gross, J. Mendling, M. Röglinger y K. Stelzl, «Digital Innovation and Business Process Management: Opportunities and Challenges as Perceived by Practitioners,» *Communications of the Association for Information System*, vol. 49, 2021.
- [21] Organización Mundial de Sanidad Animal, «Informe Anual 2021 - WOAHA,» 2022. [En línea]. Available: <https://woah-report2021.org/es/leveraging-technology-to-support-veterinary-services/>. [Último acceso: 30 mayo 2026].
- [22] AAHA, «American Animal Hospital Association,» 15 agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.aaha.org/resources/2022-aaha-canine-vaccination-guidelines/>. [Último acceso: 11 junio 2026].
- [23] A. Es Stone, G. O. Brummet, E. M. Carozza y P. H. Kass, «2020 AAHA/AAFP Feline Vaccination Guidelines,» *Journal of the American Animal Hospital Association*, vol. 56, nº 5, pp. 249-265, 2020.

- [24] T. T. Tumbaco Ortiz, «Desarrollo de un sistema web para el control de vacunación y enfermedades del ganado ovino utilizando herramientas de software libre,» Guayaquil, 2023.
- [25] R. Pressman, Ingeniería del software: Un enfoque práctico, 7ma ed., México: McGraw-Hill, 2010.
- [26] R. Hernández Sampieri y C. P. Mendoza, Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta., McGraw-Hill., 2018.
- [27] M. Imai, Kaizen: The key to Japan's competitive success, McGraw-Hill / Random House, 1986.
- [28] T. Ohno, oyota production system: Beyond large-scale production, Productivity Press., 1988.
- [29] R. S. Pressman y B. R. Maxim, Software Engineering: A Practitioner's Approach, 9na ed., McGraw-Hill Education, 2020.
- [30] C. Sadurní, «BALTO,» octubre 2025. [En línea]. Available: <https://revistabalto.com/2025/10/el-impacto-de-la-transformacion-digital-en-una-clinica-veterinaria/>. [Último acceso: 30 mayo 2026].
- [31] M. P. Groover, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 4ta ed., Boston: PEARSON, 2016.
- [32] R. M. Stair y G. W. Reynolds, Principles of information Systems, 13va ed., Boston: Cengage Learning, 2018.
- [33] M. Mauro, G. Noto, A. Prenestini y F. Sarto, «Digital transformation in healthcare: Assessing the role of digital technologies for managerial support processes,» *ScienceDirect*, vol. 209, n° 123781, 2024.
- [34] E. Turban, C. Pollard y G. Wood, Information Technology for Management: On-Demand Strategies for Performance, 12va ed., Growth and Sustainability, 2021.
- [35] R. S. Pressman, Ingeniería de Software: Un Enfoque Práctico, 7ma ed., McGraw-Hill, 2010.
- [36] A. S. Tanenbaum y D. J. Wetherall, Redes de Computadoras, 5ta ed., Pearson, 2012.
- [37] I. Sommerville, Ingeniería de Software, 10ma ed., Pearson, 2016.
- [38] R. M. Stair y G. W. Reynolds, Principios de Sistemas de Información, 13va ed., Cengage Learning, 2018.

- [38] M. Lutz, Learning Python, 5ta ed., O'Reilly Media, 2013.
- [39] W. McKinney, Python for Data Analysis, 2da ed., O'Reilly Media, 2017.
- [40] Python Software Foundation, "Python Standard Library: File and Directory Access," Python.org, 2026.
- [41] J. F. Kurose y K. W. Ross, Redes de Computadoras y Internet: Un Enfoque Descendente, 8va ed., Pearson, 2021.
- [42] Python Software Foundation, "Python Standard Library: email and smtplib," Python.org, 2026.
- [43] W. M. P. Van der Aalst et al., "Robotic Process Automation," Business & Information Systems Engineering, vol. 60, pp. 269-272, 2018.)
- [44] R. Hernández-Sampieri y C. Mendoza, *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, McGraw-Hill Education, 2018.
- [45] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, 4ta ed., Boston: PEARSON, 2016.
- [46] R. M. Stair y G. W. Reynolds, *Principles of information Systems*, 13va ed., Boston: Cengage Learning, 2018

Anexos

Anexo 1

Encuesta

Encuesta SIRA PETS

Instrucciones:

- Seleccione la respuesta que considere más adecuada
- Llene una sola vez el formulario
- La información recopilada será usada únicamente con fines académicos

* Indica que la pregunta es obligatoria

¿Qué clase de mascota tiene? *

☐ Perro

☐ Gato

☐ Otro: _____

¿Cada cuánto visita con frecuencia la clínica veterinaria? *

- ☐ Cada 3 meses
- ☐ Cada 6 meses
- ☐ Solo cuando su mascota enferma

¿La clínica lleva los datos actualizados de las vacunas de su mascota? *

- ☐ Siempre
- ☐ Casi siempre
- ☐ Algunas veces
- ☐ Nunca

¿Se olvidó alguna vez la fecha de vacunación de su mascota? *

- ☐ Sí
- ☐ No

¿Cree que es importante recibir recordatorios antes de la próxima vacuna? *

- ☐ Muy importante
- ☐ Importante
- ☐ Poco importante
- ☐ Nada importante

¿Qué problema ha identificado durante el proceso de seguimiento de vacunas? *

- ☐ Falta de recordatorios
- ☐ Carencia de organización de la información
- ☐ Pérdida del carnet de vacunación
- ☐ No presenta problemas

¿Qué tan fácil considera consultar el historial de vacunación de su mascota? *

- ☐ Muy fácil
- ☐ Fácil
- ☐ Difícil
- ☐ Muy difícil

¿Estaría de acuerdo con el uso de un sistema automatizado para gestionar el historial de vacunación? *

- ☐ Totalmente de acuerdo
- ☐ De acuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Totalmente en desacuerdo

¿Desea recibir recordatorios de vacunación a través de correo electrónico? *

- ☐ Sí
- ☐ No

¿Cree que un sistema automatizado mejora la atención brindada por la clínica? *

- ☐ Totalmente de acuerdo
- ☐ De acuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Totalmente en desacuerdo

¿Qué beneficio considera más importante de un sistema automatizado? *

- ☐ Recordatorios oportunos
- ☐ Historial digital
- ☐ Atención más rápida
- ☐ Mejor organización de la información

En términos generales, ¿qué tan satisfecho se encuentra con el proceso actual de seguimiento de vacunación? *

- ☐ Muy satisfecho
- ☐ Satisfecho
- ☐ Poco satisfecho
- ☐ Insatisfecho

Anexo 2

Guía Técnica para la Instalación, Configuración y Replicación del Prototipo

GUÍA TÉCNICA DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN SISTEMA SIRA PETS

Manual de Despliegue en Entornos Locales (Windows)

1. Requisitos Previos del Sistema

Antes de iniciar la instalación de SIRA PETS en la estación de trabajo, asegúrese de cumplir con los siguientes requerimientos mínimos de hardware y software:

- **Sistema Operativo:** Windows 10 o superior (64 bits).
- **Intérprete Python:** Python versión 3.9 o superior (asegúrese de marcar la opción 'Add Python to PATH' durante la instalación).
- **Hardware:** Mínimo 4 GB de RAM y 1 GB de espacio libre en disco.
- **Conexión a Internet:** Requerida únicamente para la emisión de correos de recordatorio vía SMTP.

2. Estructura de Archivos del Proyecto

Para el correcto funcionamiento del sistema, los archivos deben estar organizados estrictamente bajo la siguiente jerarquía en el directorio principal:

```
SIRA_PETS/
├── app.py           # Aplicación principal en Streamlit
├── requirements.txt # Dependencias y librerías de Python
├── run_app.bat      # Script de automatización de arranque en Windows
├── users.json       # Base de credenciales y roles de acceso
├── .streamlit/
│   ├── config.toml  # Configuración del tema visual
│   └── secrets.toml # Credenciales privadas de correo (SMTP)
├── data/
│   ├── registros_vacunas.csv # Base de datos transaccional de vacunas
│   ├── inventario_stock.csv  # Histórico de movimientos de inventario
│   ├── modelo_random_forest.joblib # Modelo predictivo entrenado
│   └── metadata_modelo.json  # Parámetros y métricas del modelo
```

3. Procedimiento de Instalación Paso a Paso

Paso 3.1: Descarga e Instalación de Python

1. Ingrese a la página oficial de Python (python.org/downloads) y descargue el instalador de Python 3.9+.
2. Ejecute el instalador y MARQUE OBLIGATORIAMENTE la casilla 'Add python.exe to PATH' en la primera pantalla.
3. Complete la instalación haciendo clic en 'Install Now'.

Paso 3.2: Configuración del Entorno y Dependencias

Abra la Terminal de Windows (CMD o PowerShell) en la carpeta raíz del proyecto ('SIRA_PETS/') y ejecute los siguientes comandos:

1. Creación del entorno virtual (recomendado)
`python -m venv venv`
2. Activación del entorno virtual
`venv\Scripts\activate`
3. Instalación de librerías requeridas
`pip install -r requirements.txt`

4. Configuración de Parámetros de Correo (SMTP)

Para habilitar el envío automatizado de recordatorios desde el sistema, edite el archivo ``.streamlit/secrets.toml`` e ingrese las credenciales del correo oficial de la clínica:

```
[smtp]
server = "smtp.gmail.com"
port = 587
user = "sirapets.clinica@gmail.com"
password = "xxxx xxxx xxxx xxxx" # Contraseña de aplicación generada en la cuenta de Google
```

Nota: La contraseña corresponde a una 'Contraseña de aplicación' de 16 caracteres generada desde la configuración de seguridad de Google (Verificación en 2 pasos activa).

5. Puesta en Marcha del Sistema

Existen dos formas de ejecutar el sistema SIRA PETS:

Opción A: Ejecución Directa mediante Script (Recomendado)

Haga doble clic sobre el archivo `run\_app.bat`. Este script ejecutará automáticamente la activación del entorno y lanzará el servidor de Streamlit en su navegador predeterminado.

Opción B: Ejecución Manual vía Consola

Abra la consola de comandos dentro de la carpeta del proyecto y ejecute:

```
streamlit run app.py
```

Una vez iniciado el servidor, la aplicación estará disponible localmente en el enlace:

<http://localhost:8501>

Anexo 3

Informe de Usabilidad del sistema

INFORME DE EVALUACIÓN DE USABILIDAD DE LA APLICACIÓN WEB SIRA PETS MEDIANTE SYSTEM USABILITY SCALE

1. Introducción

La usabilidad constituye un componente fundamental dentro de la evaluación de sistemas informáticos, debido a que una aplicación no solamente debe cumplir con los requerimientos funcionales y técnicos establecidos durante su desarrollo, sino que además debe proporcionar al usuario una experiencia de interacción clara, comprensible, eficiente y consistente, por lo tanto, la evaluación de usabilidad permite determinar en qué medida las funcionalidades implementadas pueden ser utilizadas de manera adecuada por las personas que interactúan con el sistema, considerando aspectos relacionados con la facilidad de aprendizaje, navegación, comprensión de la información, confianza durante la interacción y percepción general de la interfaz, en este sentido, para la presente investigación se realizó la evaluación de usabilidad de la aplicación web SIRA PETS, desarrollada mediante el lenguaje de programación Python y el framework Streamlit, considerando las principales funcionalidades destinadas al registro y seguimiento de vacunaciones, gestión de inventario, generación de recordatorios, consulta de indicadores, elaboración de reportes y apoyo a la toma de decisiones mediante un modelo de aprendizaje automático basado en Random Forest.

La aplicación SIRA PETS fue concebida como una herramienta de apoyo para la gestión de información relacionada con procesos veterinarios, particularmente aquellos asociados con el control de esquemas de vacunación, registro de aplicaciones, seguimiento de pacientes, disponibilidad de vacunas e insumos y generación de información para facilitar la gestión, además, el sistema incorpora mecanismos de navegación mediante diferentes módulos y opciones de acceso rápido que permiten al usuario dirigirse a las funcionalidades principales desde la interfaz inicial, de esta manera, la evaluación de usabilidad no se limita a una única pantalla, sino que considera la experiencia de interacción con diferentes componentes de la aplicación, incluyendo el registro de vacunas, el dashboard de indicadores, el inventario y stock, los recordatorios automáticos y los reportes de gestión.

Se empleó la System Usability Scale (SUS) como instrumento para obtener una valoración cuantitativa de la percepción de los usuarios, debido a que esta escala permite evaluar de manera estructurada diferentes aspectos relacionados con la experiencia de utilización de un sistema, además, su aplicación facilita la transformación de las percepciones de los participantes en un puntaje comprendido entre 0 y 100, permitiendo posteriormente realizar un análisis estadístico y gráfico de los resultados, por lo tanto, la utilización de SUS permite complementar las pruebas funcionales y técnicas realizadas sobre SIRA PETS mediante una perspectiva centrada directamente en el usuario.

2. Descripción

SIRA PETS corresponde a una aplicación web desarrollada mediante Python y Streamlit cuyo propósito es apoyar la gestión de procesos veterinarios relacionados con el seguimiento de vacunaciones y administración de información asociada a los pacientes, además, la aplicación integra diferentes módulos funcionales que permiten centralizar actividades que tradicionalmente podrían realizarse mediante registros independientes, de esta manera, el sistema proporciona una interfaz unificada para registrar vacunaciones, consultar indicadores, administrar inventario, gestionar recordatorios y acceder a reportes, por lo tanto, la aplicación busca reducir la dispersión de información y facilitar el acceso a los datos necesarios para la gestión veterinaria.

La estructura principal de SIRA PETS se encuentra organizada mediante diferentes módulos de navegación, entre los cuales se encuentran Inicio, Vacunación, Inventario, Recordatorios y Reportes, mientras que dentro de Vacunación se encuentran funcionalidades relacionadas con el registro y seguimiento de vacunas y el dashboard de indicadores, además, el sistema dispone de opciones asociadas con el control de inventario y stock, generación de recordatorios y consulta de reportes de gestión, por lo tanto, esta organización constituye uno de los elementos fundamentales considerados durante la evaluación de usabilidad, debido a que permite determinar si los usuarios pueden localizar e identificar adecuadamente las funcionalidades que requieren durante el desarrollo de sus actividades.

La página inicial de la aplicación incorpora una sección de acciones rápidas que permite acceder directamente a funcionalidades de uso frecuente, entre ellas el registro de vacunas, consulta del dashboard, envío de recordatorios y acceso a reportes o inventario dependiendo del perfil de usuario, además, la interfaz presenta una sección denominada Prioridad de Atención, donde se muestran situaciones relacionadas con vacunas vencidas y niveles críticos de inventario, por lo tanto, la aplicación no solamente presenta información almacenada, sino que también proporciona elementos visuales orientados a facilitar la identificación de situaciones que requieren atención por parte del usuario.

3. Funcionalidades consideradas durante la evaluación

Para la evaluación de usabilidad se consideraron las funcionalidades principales que forman parte del flujo de utilización de SIRA PETS, entre ellas el acceso al sistema, navegación por el menú principal, registro de información relacionada con pacientes y vacunaciones, consulta de indicadores, administración del inventario, consulta de stock, gestión de recordatorios, generación de reportes y visualización de resultados relacionados con el modelo predictivo, además, debido a la integración de los diferentes componentes, se consideró la interacción existente entre el módulo de vacunación y el módulo de inventario, particularmente en relación con la actualización de las existencias después de la utilización de una vacuna, de esta manera, la evaluación contempla la experiencia general del usuario y no únicamente una funcionalidad individual.

Módulo	Funcionalidad considerada
Inicio	Visualización general

Inicio	Indicadores principales
Inicio	Acciones rápidas
Vacunación	Registro de vacunaciones
Vacunación	Consulta de esquema
Vacunación	Seguimiento de vacunas
Dashboard	Visualización de indicadores
Inventario	Consulta de existencias
Inventario	Registro de movimientos
Inventario	Actualización del stock
Inventario	Identificación de stock crítico
Recordatorios	Consulta de recordatorios
Reportes	Consulta de información
Predicción	Visualización del resultado Random Forest

Tabla 1. Funcionalidades de SIRA PETS

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de inventario permite trabajar con movimientos de entrada y salida y contempla información relacionada con categoría, producto, lote, cantidad, stock mínimo, fechas y observaciones, además, el sistema dispone de mecanismos de validación para evitar determinadas inconsistencias durante el registro de movimientos, por lo tanto, estos elementos fueron considerados como parte de la experiencia de interacción del usuario con el sistema.

4. Metodología

La evaluación de usabilidad se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo descriptivo, debido a que las respuestas obtenidas mediante la escala SUS pueden ser transformadas en valores numéricos y posteriormente analizadas mediante diferentes estadísticos descriptivos, entre ellos promedio, mediana, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo, además, el análisis cuantitativo permite representar los resultados mediante gráficos estadísticos que facilitan la interpretación de la percepción de los participantes, por lo tanto, la metodología utilizada permite complementar la evaluación técnica de SIRA PETS con información obtenida directamente de los usuarios.

El procedimiento de evaluación contempló la interacción de los participantes con las funcionalidades principales de la aplicación antes de responder el cuestionario, de esta manera, los participantes tuvieron la oportunidad de explorar la navegación, utilizar los formularios disponibles, consultar información, revisar el inventario, observar indicadores y utilizar las diferentes opciones proporcionadas por la interfaz, posteriormente, una vez concluida la interacción con el sistema, se aplicó el instrumento SUS para obtener una valoración global de la experiencia de uso, por lo tanto, los resultados obtenidos representan la percepción de los participantes después de interactuar directamente con la aplicación.

5. Participantes

La evaluación de usabilidad contó con la participación de 10 usuarios, quienes interactuaron con la aplicación SIRA PETS y posteriormente respondieron el instrumento de evaluación, considerando que el propósito de la actividad fue obtener una percepción sobre la facilidad de utilización del sistema, los participantes fueron considerados como usuarios evaluadores capaces de interactuar con las principales funcionalidades disponibles, además, la utilización de diez participantes permitió obtener un conjunto de observaciones suficiente para realizar un análisis descriptivo inicial de la percepción de usabilidad del sistema, por lo tanto, los resultados obtenidos fueron utilizados para calcular los correspondientes puntajes SUS y establecer el comportamiento general de la evaluación.

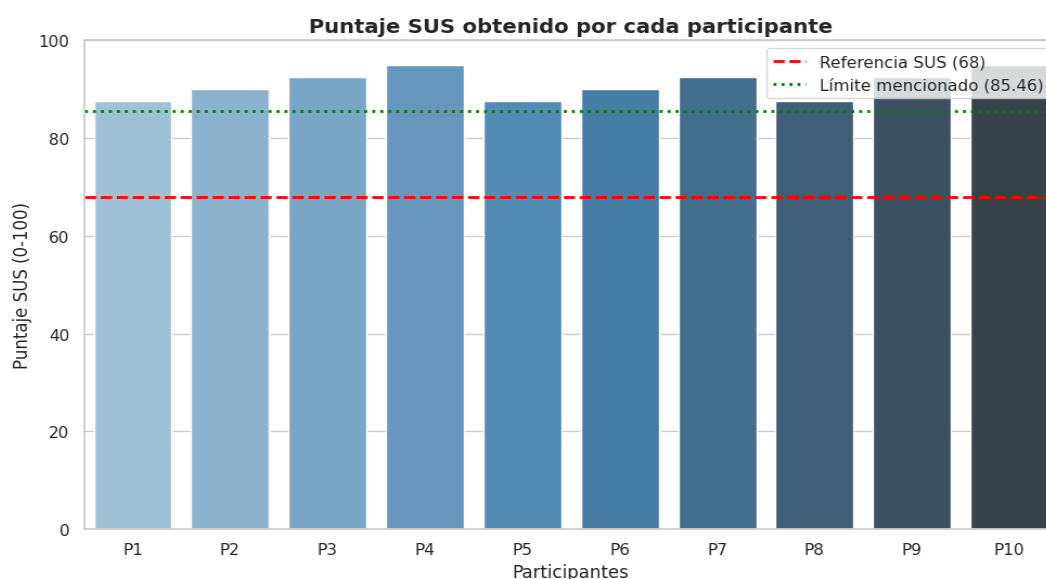


Figura 1. Distribución de los participantes de la evaluación de usabilidad

Fuente: Elaboración propia.

La figura presenta la distribución de los diez participantes considerados durante la evaluación de usabilidad de SIRA PETS, permitiendo visualizar la composición de la muestra utilizada para obtener las valoraciones del sistema.

6. Instrumento de evaluación SUS

La System Usability Scale (SUS) está constituida por diez afirmaciones destinadas a evaluar diferentes dimensiones de la experiencia de utilización de un sistema, entre ellas facilidad de uso, complejidad, facilidad de aprendizaje, integración de funciones, consistencia, comodidad y confianza, además, las afirmaciones se presentan alternando formulaciones positivas y negativas, permitiendo obtener una valoración equilibrada de la percepción del participante, por lo tanto, el instrumento resulta apropiado para obtener un indicador general de usabilidad de SIRA PETS.

Valor	Nivel de respuesta
1	Totalmente en desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Neutral
4	De acuerdo
5	Totalmente de acuerdo

Tabla 2. Afirmaciones de conformidad

Fuente: Elaboración propia.

Nº	Afirmación
1	Creo que me gustaría utilizar esta aplicación con frecuencia
2	Encontré la aplicación innecesariamente compleja
3	Consideré que la aplicación era fácil de utilizar
4	Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para utilizar esta aplicación
5	Consideré que las diferentes funciones de la aplicación estuvieron bien integradas
6	Consideré que había demasiadas inconsistencias en esta aplicación
7	Imagino que la mayoría de las personas aprenderían rápidamente a utilizar esta aplicación
8	Consideré que la aplicación era incómoda de utilizar
9	Me sentí seguro utilizando la aplicación
10	Necesité aprender muchas cosas antes de poder utilizar correctamente esta aplicación

Tabla 3. Afirmaciones de la escala SUS

Fuente: Elaboración propia.

7. Evaluación

El procedimiento comenzó con la interacción de los participantes con la interfaz principal de SIRA PETS, donde se identificaron los diferentes módulos y opciones disponibles, posteriormente, los participantes accedieron a las funcionalidades relacionadas con vacunación y realizaron las actividades correspondientes al registro y consulta de información, además, se permitió la navegación hacia el dashboard de indicadores con la finalidad de observar la presentación de información agregada y los elementos visuales utilizados por el sistema, por lo tanto, esta primera etapa permitió evaluar aspectos relacionados con la comprensión inicial de la interfaz y la facilidad para localizar las funcionalidades.

Posteriormente, los participantes interactuaron con el módulo de inventario y stock, donde pudieron consultar la disponibilidad de productos y observar la información relacionada con las existencias, además, el sistema contempla el registro de movimientos y mecanismos orientados a mantener actualizado el stock disponible, por lo tanto, esta etapa permitió evaluar la facilidad con la que los usuarios pueden comprender la información presentada y realizar las operaciones correspondientes al

control de inventario, asimismo, la integración entre vacunación e inventario permite analizar la percepción del usuario respecto a la continuidad del flujo de trabajo.

Finalmente, los participantes consultaron los módulos de recordatorios y reportes y observaron la información proporcionada por el sistema, además, en los casos correspondientes se revisó la información generada mediante el componente predictivo basado en Random Forest, finalmente la interacción con las funcionalidades principales, los participantes respondieron las diez afirmaciones de la escala SUS, por lo tanto, el procedimiento permitió obtener una valoración global de la experiencia de utilización de SIRA PETS.

8. Cálculo del puntaje SUS

El cálculo de la puntuación SUS se realizó mediante la transformación de las respuestas proporcionadas por cada participante, para las preguntas impares se restó un punto a la respuesta seleccionada, mientras que para las preguntas pares se calculó la diferencia entre cinco y la respuesta proporcionada, posteriormente, los valores transformados fueron sumados y multiplicados por 2,5, obteniendo como resultado un puntaje final comprendido entre 0 y 100 puntos, por lo tanto, cada participante puede ser representado mediante un único indicador cuantitativo de usabilidad.

$$SUS = \left[\sum X_i \right] \times 2.5 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde (X_i) corresponde al valor transformado de cada respuesta, de esta manera, las preguntas impares se procesan mediante ($X_i = R_i - 1$), mientras que las preguntas pares se procesan mediante ($X_i = 5 - R_i$), posteriormente, el resultado total permite obtener la puntuación SUS correspondiente a cada participante.

9. Resultados

La evaluación realizada permitió obtener resultados favorables para la aplicación SIRA PETS, debido a que ninguno de los participantes obtuvo un puntaje SUS inferior a 85,46 puntos. Por lo tanto, el comportamiento observado evidencia una valoración elevada de la usabilidad del sistema, lo cual nos permite establecer que la percepción de los usuarios respecto a la facilidad de utilización, aprendizaje, navegación e interacción con las funcionalidades implementadas fue positiva.

El valor de 85,46 puntos representa el límite inferior observado durante la evaluación, por lo tanto, constituye un indicador importante para analizar la consistencia de las valoraciones obtenidas, además, al encontrarse este resultado por encima del valor de referencia de 68 puntos utilizado habitualmente para interpretar el desempeño general de usabilidad mediante SUS, se evidencia una percepción favorable del sistema, asimismo, la ausencia de puntajes inferiores al valor mencionado permite observar que la evaluación mantuvo un comportamiento positivo entre los participantes.

Participante	Puntaje SUS	Interpretación
1	87.5	Excelente / Muy favorable
2	90.0	Excelente / Muy favorable
3	92.5	Excelente / Muy favorable
4	95.0	Excelente / Muy favorable
5	87.5	Excelente / Muy favorable
6	90.0	Excelente / Muy favorable
7	92.5	Excelente / Muy favorable
8	87.5	Excelente / Muy favorable
9	92.5	Excelente / Muy favorable
10	95.0	Excelente / Muy favorable

Tabla 4. Tabla de resultados de los participantes

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación considera como indicador principal el puntaje SUS, además, debido a que participaron diez usuarios, se pueden calcular medidas de tendencia central y dispersión que permitan caracterizar el comportamiento de los resultados, entre ellas la media aritmética, mediana, desviación estándar, mínimo y máximo, por lo tanto, estos indicadores permitirán establecer no solamente el nivel general de usabilidad, sino también el grado de variabilidad existente entre las percepciones individuales de los participantes.

Indicador	Resultado
Participantes	10
Puntaje SUS mínimo observado	87.50
Puntaje SUS promedio	91.00
Mediana	91.25
Desviación estándar	2.93
Puntaje máximo	95.00
Participantes ≥ 68	10 / 10

Tabla 5. Tabla de resultados de análisis estadístico

Fuente: Elaboración propia.

10. Gráfica de puntajes SUS por participante

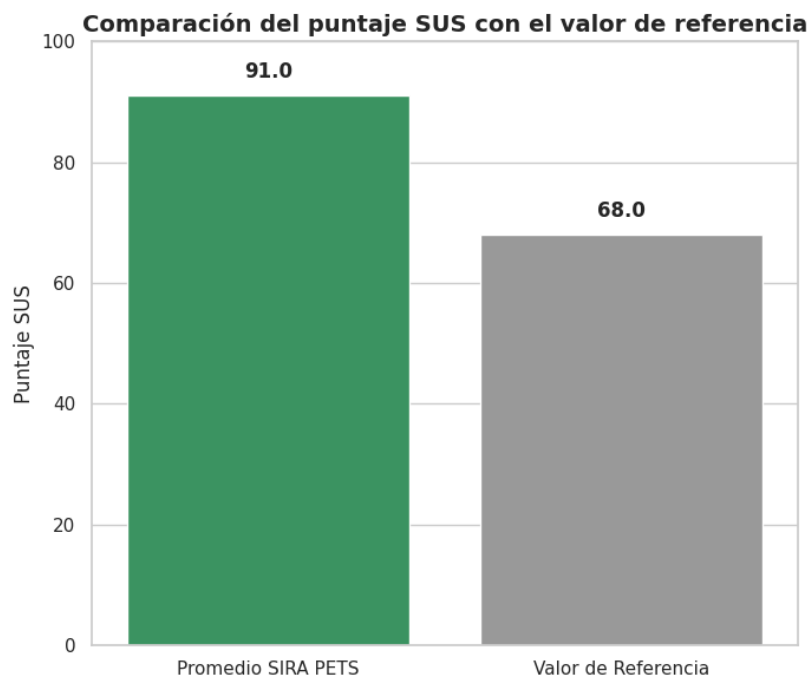


Figura 2. Puntaje SUS obtenido por cada participante

Fuente: Elaboración propia.

La figura representa los puntajes SUS obtenidos individualmente por los participantes durante la evaluación de SIRA PETS, donde el eje horizontal corresponde a los participantes y el eje vertical representa el puntaje SUS en una escala comprendida entre 0 y 100 puntos.

Adicionalmente permite observar que los puntajes obtenidos durante la evaluación presentan un comportamiento favorable, debido a que ninguno de los participantes obtuvo un valor inferior a 85,46 puntos, todos los resultados se encuentran por encima del valor de referencia de 68 puntos, por lo tanto, la distribución observada evidencia una percepción positiva de la experiencia de utilización de SIRA PETS, asimismo, la gráfica permite identificar visualmente las diferencias existentes entre los participantes y determinar si las valoraciones presentan un comportamiento homogéneo.

11. Distribución de las respuestas SUS

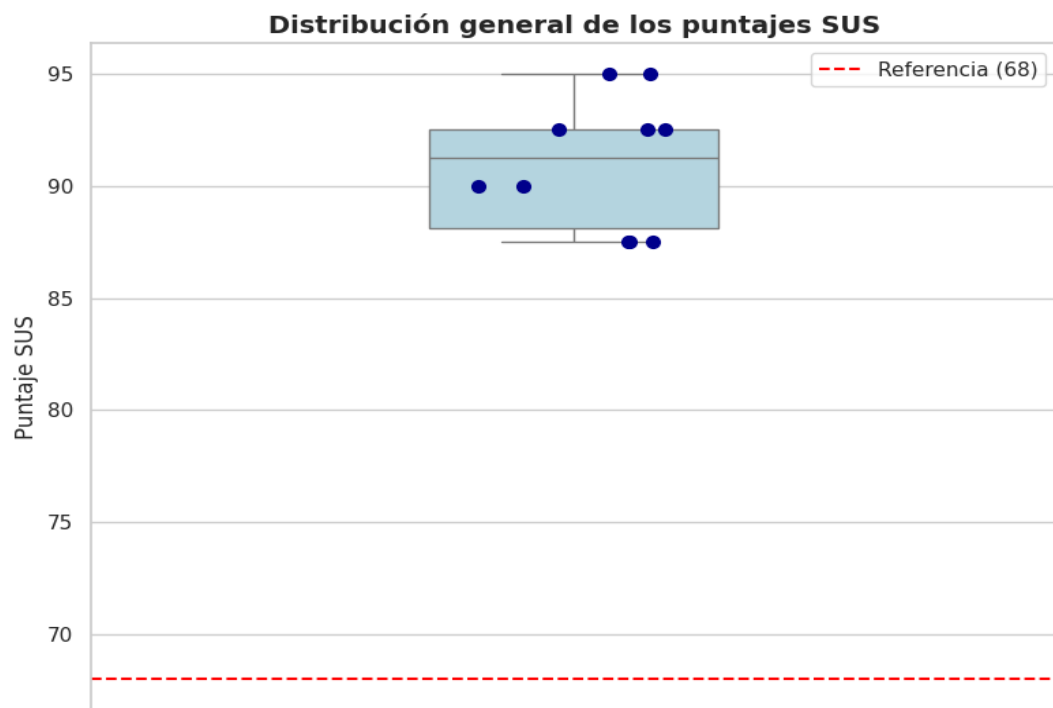


Figura 3. Distribución de las respuestas obtenidas en las diez afirmaciones SUS

Fuente: Elaboración propia.

La figura presenta la distribución de las respuestas proporcionadas por los participantes para cada una de las diez afirmaciones que conforman el instrumento SUS, permitiendo analizar la percepción de los usuarios respecto a facilidad de uso, complejidad, aprendizaje, integración, consistencia, comodidad y confianza.

El análisis de las respuestas individuales permite complementar el puntaje SUS global, debido a que cada afirmación representa un aspecto particular de la experiencia del usuario, por lo tanto, la concentración de respuestas favorables en las afirmaciones relacionadas con facilidad de uso, aprendizaje y confianza permite identificar fortalezas de la interfaz, mientras que las preguntas formuladas negativamente permiten detectar posibles aspectos relacionados con complejidad o inconsistencias, además, esta información puede utilizarse posteriormente para orientar modificaciones específicas de la interfaz.

12. Promedio SUS frente al valor de referencia

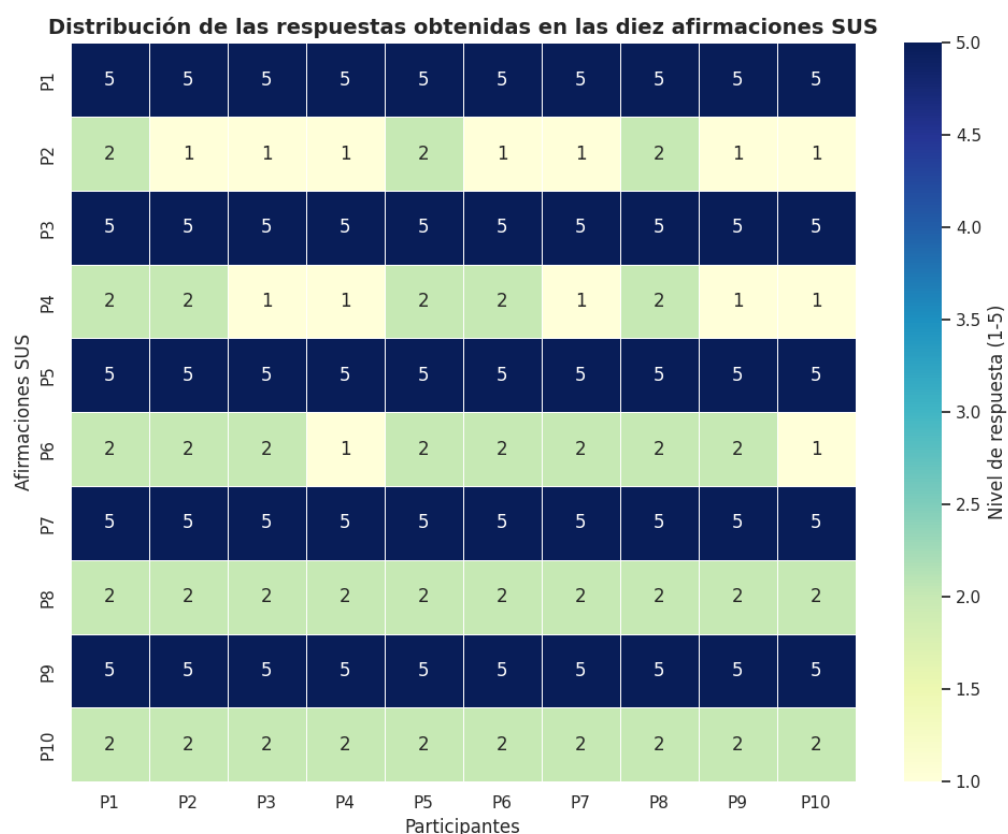


Figura 4. Comparación del puntaje SUS con el valor de referencia

Fuente: Elaboración propia.

La figura compara el resultado SUS obtenido para SIRA PETS con el valor de referencia de 68 puntos, permitiendo observar visualmente la diferencia entre el resultado de la evaluación y el punto de referencia utilizado para interpretar la usabilidad.

El resultado obtenido evidencia una valoración favorable de la aplicación debido a que el límite inferior observado durante la evaluación corresponde a 85,46 puntos, valor que se encuentra 17,46 puntos por encima del valor de referencia de 68 puntos, por lo tanto, incluso el resultado más bajo observado supera ampliamente el umbral de referencia, además, este comportamiento permite establecer que la percepción de los participantes respecto a la interacción con SIRA PETS fue positiva.

13. Conclusiones

La evaluación de usabilidad mediante la System Usability Scale permitió obtener una valoración cuantitativa de la experiencia de los usuarios al interactuar con SIRA PETS, considerando las principales funcionalidades relacionadas con registro de vacunaciones, consulta de indicadores, administración de inventario, generación de recordatorios, elaboración de reportes y visualización de resultados predictivos, por lo tanto, la aplicación de este instrumento permitió complementar la validación funcional y técnica del sistema mediante una perspectiva centrada en el usuario.

Los resultados obtenidos fueron favorables debido a que ninguno de los participantes presentó un puntaje SUS inferior a 85,46 puntos, además, este valor se encuentra considerablemente por encima del punto de referencia de 68 puntos, por lo tanto, la evaluación evidencia una percepción positiva respecto a la facilidad de utilización de SIRA PETS, asimismo, la valoración obtenida permite establecer que los usuarios pudieron interactuar con los principales componentes del sistema de manera satisfactoria.

Finalmente, la integración de los módulos de vacunación e inventario representa un elemento importante dentro de la evolución de SIRA PETS, debido a que permite relacionar directamente la aplicación de vacunas con el control de existencias, además, la actualización automática del inventario y el registro del uso de vacunas permiten mejorar la trazabilidad de los productos administrados, por lo tanto, la incorporación de esta funcionalidad contribuye a fortalecer la coherencia del flujo de trabajo y constituye un elemento relevante dentro de la versión final de la aplicación.

Anexo 4

Manual de Usuario

Manual de Usuario Sistema Automatizado para el Control y Seguimiento de Vacunación en Mascotas – SIRA PETS

El presente manual tiene como objetivo orientar al personal administrativo y médico de la Clínica Veterinaria SIRA PETS en el uso correcto del sistema automatizado diseñado para el control y seguimiento de la vacunación de mascotas (caninos y felinos).

El sistema permite:

- Registrar y actualizar información de pacientes y sus esquemas de vacunación.
- Consultar historiales de vacunación.
- Generar recordatorios automáticos de próximas dosis.
- Mantener el control según los esquemas oficiales de vacunación para caninos y felinos.

2. Requisitos del Sistema

- Computadora con Windows 10 o superior (o sistema compatible).
- Navegador web actualizado (Chrome, Edge o Firefox recomendados).
- Conexión a internet (si el sistema se ejecuta en red local o nube).
- Archivos de respaldo en formato .csv (para persistencia de datos).

3. Acceso al Sistema

1. Abra el navegador e ingrese la dirección del sistema (proporcionada por el administrador).
2. Inicie sesión con su usuario y contraseña asignados.
3. Seleccione el módulo correspondiente según su rol (Administrativo o Médico).

4. Módulos Principales

4.1. Registro de Pacientes

- Ingrese los datos del propietario (nombre, teléfono, correo, dirección).
- Registre los datos de la mascota: nombre, especie (canino/felino), raza, sexo, fecha de nacimiento, peso y color.
- Guarde el registro. El sistema asignará un código único de paciente.

4.2. Registro y Actualización de Vacunación

1. Busque al paciente por código, nombre o propietario.
2. Seleccione la vacuna aplicada según el esquema:
 - Caninos: DHPPi, Leptospirosis, Rabia, Borrelia, Gripe canina, Bordetella.
 - Felinos: FVRCP, FeLV, Rabia.
3. Indique la fecha de aplicación y la próxima fecha programada.
4. Guarde el registro. El sistema calculará automáticamente los próximos recordatorios.

4.3. Consulta de Historial

- Permite visualizar el historial completo de vacunas aplicadas a la mascota.
- Muestra el estado de cada vacuna (al día, pendiente o vencida).

4.4. Generación de Recordatorios

- El sistema genera automáticamente listados de mascotas con vacunas próximas a vencer.
- Se pueden enviar recordatorios por mensaje de texto, correo electrónico o impresión de listados.
- El personal debe revisar diariamente el módulo de recordatorios pendientes.

4.5. Reportes

- Generación de reportes de cobertura de vacunación.
- Listado de pacientes por especie, vacuna o estado de esquema.
- Exportación de datos en formato .csv para respaldos.

5. Esquemas de Vacunación de Referencia

Caninos (Tabla 5)

- 6-8 semanas: 1ª dosis DHPPi
- 10-12 semanas: 2ª dosis DHPPi
- 14-16 semanas: 3ª dosis DHPPi + Rabia + Leptospirosis + otras
- 1 año: Refuerzo DHPPi + Rabia
- Adultos: Refuerzo cada 3 años

Felinos (Tabla 4)

- 8-9 semanas: 1ª dosis FVRCP (previo test FeLV/FIV)
- 12 semanas: 2ª dosis FVRCP + FeLV
- 16 semanas: 3ª dosis FVRCP + Rabia
- 1 año: Refuerzo FVRCP + Rabia + FeLV
- Adultos: Refuerzo cada 3 años

6. Recomendaciones de Uso

- Complete todos los campos obligatorios para evitar errores en los recordatorios.
- Verifique siempre la especie de la mascota antes de seleccionar el esquema de vacunación.
- Realice respaldos periódicos de los archivos .csv.
- En caso de duda sobre el esquema de una vacuna, consulte las tablas oficiales del sistema o al médico veterinario responsable.

7. Soporte y Mantenimiento

Para problemas técnicos o solicitudes de capacitación adicional, contacte al administrador del sistema.

Se recomienda realizar el mantenimiento trimestral del sistema (reentrenamiento del modelo predictivo y respaldos) según el protocolo establecido

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: “**Diseño de un sistema automatizado para el control y seguimiento de vacunación en mascotas**”, de Berrazueta Salguero Andres Sebastián y Cordero Saquina Christian Marcelo, de la carrera de Ingeniería Industrial, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 6 %, y 0 % de IA, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

TESIS_SEGUIMIENTO DE VACUNAS_ Cristian Cordero - Andres Berrazueta.pdf

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

TESIS_SEGUIMIENTO DE VACUNAS_ 

Page 2 of 66 - AI Writing Overview

Submission ID: 62079 434474493

 A.P.J. Abdul Kalam Technical University

Document Details

Submission ID

tn id: 62079 434474493

Submission Date

Aug 18, 2026, 11:28 AM GMT-5

Download Date

Aug 18, 2026, 11:28 AM GMT-5

File Name

TESIS_SEGUIMIENTO DE VACUNAS_ Cristian Cordero - Andres Berrazueta.pdf

File Size

1995.2 KB

*% detected as AI

Percentage indicates the amount of qualifying text within the submission that was likely generated using AI.

Caution: Review required.

It is essential to understand the limitations of AI detection before making decisions about a student's work. We encourage you to learn more about Turnitin's AI detection capabilities before using the tool.

1 AI generated only %

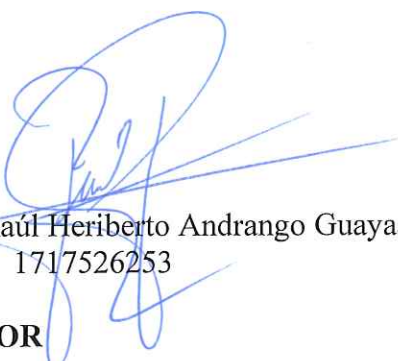
Likely AI-generated text from a large language model.

Disclaimer

Our AI writing assessment is designed to help educators identify text that might be prepared by a generative AI tool. Our AI writing assessment may not always be accurate (it may misidentify writing that is likely human generated as AI generated and likely AI generated as human generated) so it should not be used as the sole basis for adverse actions against a student. It takes further scrutiny and human judgment in conjunction with an organization's application of its specific academic policies to determine whether any academic misconduct has occurred.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 13 de agosto de 2026


Dr. Raúl Heriberto Andrango Guayasamín PhD.
C.C.: 1717526253

TUTOR



AVAL DE LA EMPRESA

Latacunga, 8 de agosto del 2026

Lic. Karina Aguirre

Administradora

Presente.

En calidad de administradora de la Clínica Veterinaria SIRAVET S.A.S, me permito avalar que el Proyecto de Investigación con el título: **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL Y SEGUIMIENTO DE VACUNACIÓN EN MASCOTAS”** de autoría de los postulantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi: **Berrazueta Salguero Andres Sebastián** con cédula de ciudadanía **0550593081** y **Cordero Saquina Christian Marcelo** con cédula de ciudadanía **1805151667**, de la carrera de Ingeniería Industrial, cumple con los requerimientos metodológicos y han entregado los resultados satisfactoriamente, tras finalizar e implementar el sistema, el cual ha contribuido efectivamente a la mejora del proceso de atención en nuestra clínica.

Atentamente



Lic. Karina Magaly Aguirre Arroba
Administradora de la clínica SIRAVET
S.A.S. CC: 1719696062