

UNIVERSIDAD ADVENTISTA DE BOLIVIA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

SISTEMA WEB PARA EL SEGUIMIENTO CLÍNICO Y LA RECOMENDACIÓN
PERSONALIZADA DE EJERCICIOS EN REHABILITACIÓN FÍSICA UTILIZANDO
TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING EN EL CENTRO DE FISIOTERAPIA Y
KINESIOLOGÍA BIENESTAR

PERFIL DE PROYECTO DE GRADO

Presentado como requisito para obtener el grado académico de Licenciatura en Ingeniería
de sistemas

Autor: Juan Daniel Mamani Antezana

Tutor: Ing. Eduardo Mauricio Cartagena Carmona

Cochabamba, agosto del 2025

Introducción

La rehabilitación física es clave en la recuperación de pacientes con lesiones musculares, afecciones neuromotoras o enfermedades degenerativas. Los centros de fisioterapia y kinesiología, como el Centro Bienestar en Quillacollo, Bolivia, brindan tratamientos personalizados que mejoran la funcionalidad y calidad de vida de los pacientes. Sin embargo, este centro continúa gestionando su información clínica y operativa de manera manual o con herramientas básicas, lo que dificulta la trazabilidad de los tratamientos, la personalización de las terapias y el análisis de la evolución funcional.

Según la Organización Mundial de la Salud, la adopción de tecnologías digitales en salud mejora la eficiencia clínica y administrativa y la calidad del servicio. Estudios recientes también muestran que los sistemas inteligentes en fisioterapia permiten predecir el rendimiento de tratamientos y personalizar ejercicios según el historial del paciente.

Actualmente, en el Centro Bienestar, la asignación de ejercicios se realiza principalmente a criterio del fisioterapeuta y la planificación de sesiones, gestión de citas, facturación y reportes se hace de forma aislada, aumentando la carga operativa y los errores.

Frente a esta situación, se propone diseñar un sistema web que permita el seguimiento clínico de los pacientes y la recomendación de ejercicios personalizados mediante machine learning, mejorando la eficiencia operativa, la toma de decisiones basada en datos y la calidad del servicio de rehabilitación física.

CAPÍTULO 1

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes institucionales

El Centro de Fisioterapia y Kinesiología Bienestar es una institución privada especializada en atención terapéutica integral, ubicada en la ciudad de Quillacollo, Bolivia, concretamente en la Av. Waldo Ballivián entre Luis Uría y 20 de diciembre, con sucursal en Av. 23 de Marzo entre Carmela Serruto y Luis Uría. Su misión es brindar servicios profesionales y personalizados en fisioterapia, combinando técnicas convencionales y modernas que abarcan desde la atención a adultos mayores hasta tratamientos postquirúrgicos, ortopédicos, neurológicos y relajantes.

El centro cuenta con un equipo multidisciplinario de especialistas capacitados en técnicas como terapia manual, electroterapia, Taping, reeducación postural, fisioterapia respiratoria, limpieza facial, masajes terapéuticos, y atención a domicilio, incluyendo fisioterapia en pacientes con parálisis facial, lesiones deportivas, artrosis, tendinitis, pie plano y estrés muscular.

A pesar del crecimiento sostenido en la demanda de sus servicios y del compromiso del personal con la calidad asistencial, el centro enfrenta desafíos en cuanto a la sistematización de sus procesos clínicos y terapéuticos. Actualmente, los registros de pacientes, diagnósticos, sesiones, pagos y ejercicios recomendados se realizan de forma manual o mediante herramientas digitales básicas como hojas de cálculo. Esto dificulta el seguimiento clínico riguroso, genera duplicidad de información y limita la trazabilidad en la evolución del tratamiento.

Además, la asignación de ejercicios terapéuticos depende en gran medida del criterio empírico del fisioterapeuta, sin el respaldo de herramientas tecnológicas que analicen datos históricos o patrones clínicos previos. Esta situación puede afectar negativamente la personalización de los tratamientos, ralentizando el proceso de rehabilitación y reduciendo su efectividad.

Frente a este panorama, se hace evidente la necesidad de implementar un sistema web inteligente que integre la información clínica, administre operativamente los servicios del centro, y recomiende ejercicios terapéuticos personalizados mediante técnicas de machine learning. Esta solución tecnológica permitirá mejorar la atención al paciente, aumentar la precisión en las terapias asignadas, y optimizar la eficiencia operativa del centro, elevando así el estándar de calidad en el servicio fisioterapéutico ofrecido.

1.1.2. Antecedentes tecnológicos

Actualmente, los centros de salud especializados en rehabilitación física en Bolivia, incluido el Centro de Fisioterapia y Kinesiología Bienestar, manejan la información clínica y administrativa de manera manual o con herramientas de ofimática de propósito general, como hojas de cálculo y documentos de texto. Esto genera procesos fragmentados, dificultad en la recuperación de datos y limitaciones en la planificación de sesiones y seguimiento de pacientes.

A nivel internacional y regional, se han desarrollado sistemas digitales de gestión clínica que integran la información de pacientes, planifican sesiones, registran progresos y permiten la prescripción de ejercicios terapéuticos de manera personalizada. Estos sistemas han demostrado mejorar la eficiencia operativa, la calidad del tratamiento y la trazabilidad de los procedimientos. Sin embargo, su implementación en centros de fisioterapia en Bolivia sigue siendo limitada debido a barreras técnicas, presupuestarias e institucionales.

En el Centro de Fisioterapia y Kinesiología Bienestar, se identificó que los procesos actuales presentan problemas específicos: registros manuales de evaluaciones funcionales, dispersión de información sobre citas y facturación, y prescripción empírica de ejercicios terapéuticos sin análisis sistemático de la evolución funcional del paciente. Estas limitaciones afectan la calidad del servicio, dificultan la coordinación entre profesionales y aumentan la carga administrativa del personal.

El desarrollo de un sistema independiente que centralice la información clínica, automatice el registro de sesiones y permita la prescripción personalizada de ejercicios representa una innovación tecnológica para el centro. Actualmente, no existen plataformas públicas o

privadas en Bolivia que ofrezcan funcionalidades integrales de digitalización clínica y seguimiento terapéutico con control de progreso del paciente y análisis basado en datos, por lo que el proyecto propuesto cubre una necesidad tecnológica inédita.

1.2. Problema

1.2.1. Situación problemática

- En el Centro de Fisioterapia y Kinesiólogía Bienestar, los procesos clínicos, terapéuticos y administrativos se gestionan de forma manual y fragmentada, utilizando hojas de cálculo y registros físicos. Esta modalidad dificulta el análisis y recuperación de información, afectando la calidad de las decisiones terapéuticas y limitando la personalización de los tratamientos.
- La prescripción de ejercicios se realiza de forma empírica, sin considerar de manera sistemática variables como diagnóstico inicial, edad, evolución funcional o intervenciones previas, lo que reduce la efectividad de los tratamientos y prolonga el tiempo de recuperación.
- La dispersión de registros de citas, sesiones, facturación y reportes provoca duplicación de tareas, errores administrativos y pérdida de información relevante para la continuidad del tratamiento, generando sobrecarga en el personal y disminuyendo la eficiencia operativa.
- La actual estructura y gestión de datos clínicos dificulta la personalización de ejercicios terapéuticos, limitando la precisión, eficacia y calidad de las intervenciones.

1.2.2. Formulación de problema

La gestión manual y fragmentada de la información clínica, junto con la asignación empírica de ejercicios terapéuticos, provoca deficiencias en los procesos de rehabilitación, tratamientos poco eficaces y una disminución en la calidad de atención brindada a los pacientes en el Centro de Fisioterapia y Kinesiólogía Bienestar.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema web para el Centro de Fisioterapia y Kinesiología Bienestar que integre técnicas de machine learning para el seguimiento clínico de los pacientes y la recomendación personalizada de ejercicios terapéuticos, con el fin de eliminar el uso de métodos manuales y la asignación empírica en dichos procesos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un módulo para el registro de pacientes que centralice datos personales, historial clínico y evaluaciones funcionales, garantizando la trazabilidad y organización de la información.
- Desarrollar un componente para la gestión de citas, sesiones y planificación de tratamientos y facturación que permita mejorar la organización operativa del centro.
- Establecer mecanismos digitales para el registro sistemático de las intervenciones terapéuticas realizadas en cada sesión, permitiendo el seguimiento clínico individualizado.
- Implementar un módulo inteligente de recomendación de ejercicios terapéuticos personalizado, utilizando técnicas de machine learning y considerando parámetros clínicos y la evolución del paciente.
- Desarrollar un sistema de generación de reportes analíticos sobre la evolución clínica de los pacientes y el desempeño del equipo fisioterapéutico.

1.4. Alcances

- Gestión de Pacientes: Registro de pacientes, historial médico, datos de contacto, alergias, diagnósticos previos, fichas clínicas completas.
- Evaluaciones y Diagnóstico: Registro de evaluación inicial, escala de dolor, medición de rango de movimiento, resultados de test funcionales.
- Agenda y Citas: Programación semanal de fisioterapeutas, reserva de citas, confirmación automática, recordatorios por correo electrónico o SMS.

- Gestión de Sesiones: Registro detallado de sesiones realizadas, técnicas aplicadas, observaciones clínicas y seguimiento de evolución.
- Gestión de Fisioterapeutas: Registro del personal clínico, especialidades, horarios, disponibilidad y asignación de pacientes.
- Facturación y Pagos: Emisión de facturas, gestión de diferentes métodos de pago, historial de pagos por paciente, reportes financieros automáticos.
- Gestión de Sesiones: Registro detallado de sesiones realizadas, técnicas aplicadas, observaciones clínicas y seguimiento de evolución.
- Tratamientos y Plan de Rehabilitación: Asignación personalizada de ejercicios, definición de objetivos terapéuticos, y ajustes según la evolución del paciente.
- Autenticación y Seguridad: Registro de usuarios, inicio de sesión, recuperación de contraseña, gestión de roles: administrador, fisioterapeuta, paciente y recepcionista.

1.5. Límites

- El sistema no incluirá la gestión de historias clínicas digitalizadas en formato de imágenes o documentos médicos escaneados (radiografías, resonancias, etc.).
- Las notificaciones por SMS estarán limitadas a recordatorios de citas y dependen de la disponibilidad de servicios de terceros; no se incluye la implementación de una pasarela propia de mensajería.
- No se considerará el desarrollo de funcionalidades para atención remota, teleconsulta o videollamadas.
- El módulo de recomendación inteligente de ejercicios no prescribirá tratamientos médicos ni sustituirá el criterio profesional del fisioterapeuta; su función será únicamente de apoyo clínico.
- La seguridad del sistema estará basada en roles y autenticación básica; no se implementarán mecanismos avanzados como autenticación biométrica, firma digital ni cifrado de extremo a extremo.
- No se desarrollará una aplicación móvil nativa; el sistema será accesible únicamente desde navegadores web mediante una interfaz responsiva.

- No se contempla la integración con sistemas externos como seguros médicos, sistemas hospitalarios o plataformas de salud pública.
- El sistema no gestionará la compra, almacenamiento ni control de inventario de materiales terapéuticos o de fisioterapia.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación social

Desde una perspectiva social, la implementación de este sistema web representa una mejora significativa en las condiciones de atención y trabajo dentro del Centro de Fisioterapia y Kinesiología Bienestar. Actualmente, tanto los fisioterapeutas como el personal administrativo enfrentan una carga laboral considerable al depender de métodos manuales para el registro, seguimiento y coordinación de las sesiones terapéuticas. Esta situación no solo incrementa el margen de error, sino que también genera estrés y reduce el tiempo efectivo dedicado a la atención de los pacientes.

Desde una perspectiva académica, el proyecto constituye un aporte al campo de la Ingeniería de Sistemas, ya que combina metodologías de desarrollo ágil, integración de bases de datos clínicas, diseño de interfaces responsivas y mecanismos de seguridad basados en roles. Además, fomenta la formación de competencias profesionales en desarrollo web full-stack y en la implementación de soluciones tecnológicas aplicadas a la salud, lo que puede servir como referencia y base de conocimiento para futuros proyectos de investigación y desarrollo en la universidad.

Desde una perspectiva científica, el uso de técnicas de machine learning para la recomendación de ejercicios terapéuticos representa un avance innovador en el ámbito de la salud digital en Bolivia. Este enfoque abre la posibilidad de validar modelos predictivos a partir de datos clínicos, contribuyendo a la generación de nuevo conocimiento en el área de la inteligencia artificial aplicada a la fisioterapia. Asimismo, el proyecto puede derivar en publicaciones académicas o presentaciones en congresos especializados, aportando evidencia científica sobre la efectividad de la personalización de terapias mediante algoritmos de aprendizaje automático.

1.7. Factibilidad

1.7.1. Factibilidad técnica

La propuesta es técnicamente viable y se sustenta en el uso de tecnologías Open Source modernas, robustas y de alta productividad, lo que garantiza la escalabilidad, la seguridad y reduce significativamente los costos de licenciamiento, siendo ideal para el contexto del Centro Bienestar.

El centro dispone de los equipos básicos de cómputo y acceso a Internet necesarios para una implementación exitosa del sistema web.

Tecnologías a utilizar:

1. Backend / Core

- Tecnología: Laravel (v12+)
- Propósito Principal: Desarrollo rápido y escalable de la lógica de negocio, *routing* (enrutamiento) y gestión de la API interna.

2. Frontend / Interfaz de Usuario (UI)

- Tecnología: Livewire 3 + Alpine.js (Actual)
- Propósito Principal: Construcción de interfaces reactivas (CRUDs y formularios dinámicos) con código primariamente en PHP.
- Estilos: Tailwind CSS (Actual). Framework CSS que asegura un diseño responsivo, profesional e intuitivo.

3. Base de Datos

- Tecnología: PostgreSQL (Actual)
- Propósito Principal: Almacenamiento relacional robusto con soporte nativo JSONB (para datos clínicos semi-estructurados como evaluaciones, alergias y antecedentes).

4. Machine Learning (ML)

- Tecnología: Python (Actual)
- Propósito Principal: Implementación del modelo de recomendación de ejercicios con librerías especializadas como Scikit-learn o Pandas.

5. Control de Acceso (Seguridad)

- Tecnología: Spatie Laravel Permission (v6+)

- Propósito Principal: Implementación de Control de Acceso Basado en Roles (RBAC) para segregar funciones entre Administrador, Recepcionista y Fisioterapeuta.

Nota: Este conjunto de tecnologías garantiza la seguridad, escalabilidad y viabilidad económica del proyecto.

Requisitos mínimos del equipo de desarrollo:

- Sistema operativo: Windows 10 u 11 Pro.
- Estaciones de trabajo con mínimo 8 GB de RAM y procesadores Intel i5 o superior.
- Pantallas externas o configuración de doble monitor (para eficiencia en desarrollo Full-Stack).
- IDEs: Visual Studio Code (IDE principal) para el desarrollo de Backend (PHP/Laravel) y Frontend (Livewire/Tailwind/JS), además del código de Machine Learning (Python).

El entorno propuesto será suficiente para construir e implementar el sistema en el entorno del centro, con posibilidad de escalar en el futuro hacia la nube o integrarlo con otras plataformas de salud.

1.7.2. Factibilidad económica

El proyecto es económicamente factible, dado que se desarrollará con tecnologías de código abierto que no requieren licencias costosas, y podrá aprovecharse la infraestructura básica ya existente en el Centro Bienestar. Se contempla una inversión inicial principalmente en tiempo de desarrollo, capacitación y puesta en marcha.

Concepto	Detalle	Costo (USD)
Servidor web	VPS básico 1 año	100
Dominio web	Opcional	30
Desarrollo de software	6 meses – Equipo reducido (1 junior + tutoría externa)	4,200

Capacitación	Personal clínico y administrativo	500
Soporte técnico inicial	Primer año (ajustes, incidencias menores)	400
contingencia	Imprevistos (10–15% del presupuesto)	700
Total inversión inicial		6.000 USD

A mediano plazo, el sistema generará un retorno positivo al reducir el uso de papel, evitar errores en la planificación clínica, aumentar la efectividad de los tratamientos y agilizar la gestión del centro. Además, permitirá atender a más pacientes sin necesidad de ampliar el personal, mejorando la productividad y sostenibilidad operativa del servicio.

1.7.3. Factibilidad operacional

El sistema será una solución independiente diseñada para digitalizar los procesos clínicos, terapéuticos y administrativos del Centro de Fisioterapia y Kinesiología Bienestar, respetando los flujos de trabajo ya existentes. Esta autonomía garantiza que la herramienta pueda ser utilizada de manera efectiva y sostenida dentro del centro.

El personal clínico se beneficiará directamente de la automatización, reduciendo la carga de registros manuales, seguimiento de documentos y elaboración de reportes, asegurando su interés y disposición en la adopción del sistema.

Los pacientes percibirán mejoras en la gestión de su tratamiento, ya que el sistema permitirá un seguimiento detallado de su evolución, prescripciones personalizadas de ejercicios y una comunicación más clara con los fisioterapeutas, disminuyendo la incertidumbre sobre su progreso.

La herramienta centralizará la información de citas, evaluaciones funcionales, historial de sesiones y facturación en un único entorno digital, optimizando la coordinación entre personal clínico y administrativo, reduciendo errores y duplicación de tareas.

La implementación del sistema mejorará el ambiente de trabajo. Se ha determinado que el personal clínico y administrativo cuenta con las competencias informáticas necesarias para

operar una aplicación web moderna, minimizando la curva de aprendizaje y la resistencia al cambio.

1.8. Cronograma

Sprint	Periodo	Objetivo específico	Actividades principales	Entregables
Sprint 1 – Inicio del proyecto	Agosto 2025	(Soporte a todos los objetivos)	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión bibliográfica. - Levantamiento de requerimientos. - Análisis de procesos clínicos. - Definición del Product Backlog. 	Documento de requerimientos, backlog priorizado, modelado inicial de procesos.
Sprint 2 – Registro de pacientes	Septiembre 2025	Objetivo 1: Módulo de registro de pacientes	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño del sistema (arquitectura, BD, interfaces). - Desarrollo MVP del registro (datos personales, historial clínico, evaluaciones funcionales). - Pruebas iniciales. 	Módulo funcional de registro de pacientes.
Sprint 3 – Gestión de citas y facturación	Octubre 2025	Objetivo 2: Módulo de citas, sesiones y facturación	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo del calendario de citas y planificación de tratamientos. - Gestión de sesiones y pagos. - Integración con el registro de pacientes. 	Módulo de citas y facturación en funcionamiento.
Sprint 4 – Registro terapéutico	Noviembre 2025	Objetivo 3: Registro de intervenciones terapéuticas	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo del registro de terapias por sesión. - Vinculación con historial clínico. - Pruebas de integración con citas y pacientes. 	Módulo de registro terapéutico validado.
Sprint 5 – Inteligencia y reportes	Diciembre 2025	Objetivo 4 y 5: ML de ejercicios + reportes analíticos	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de modelo ML para recomendación personalizada. - Desarrollo de reportes analíticos de evolución clínica y desempeño de fisioterapeutas. - Ajustes y pruebas de integración. 	Módulo de ML + módulo de reportes operativos.
Sprint 6 – Cierre del proyecto	Enero 2026	Consolidación de todos los objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas unitarias e integrales. - Ajustes finales. - Capacitación al personal. - Documentación técnica. 	Sistema completo y documentado listo para entrega.

CAPÍTULO 2

Modelo de negocio

En las siguientes figuras se ilustran ambos modelos mediante diagramas de flujo, los cuales permiten visualizar de manera clara y estructurada el funcionamiento de cada enfoque.

Modelo de negocio actual

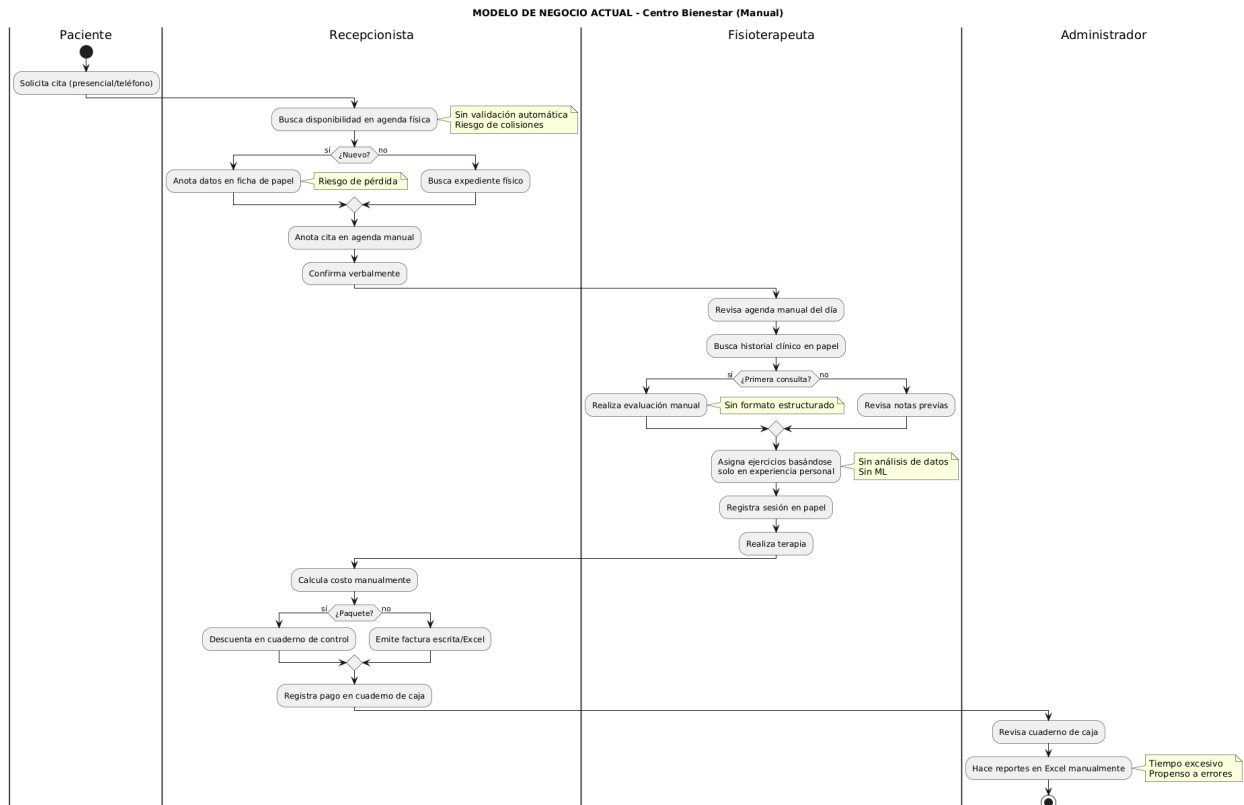


Figura 1: Diagrama de Actividad - Modelo de Negocio Actual Proceso manual de atención fisioterapéutica en el Centro Bienestar

Modelo de negocio alternativo

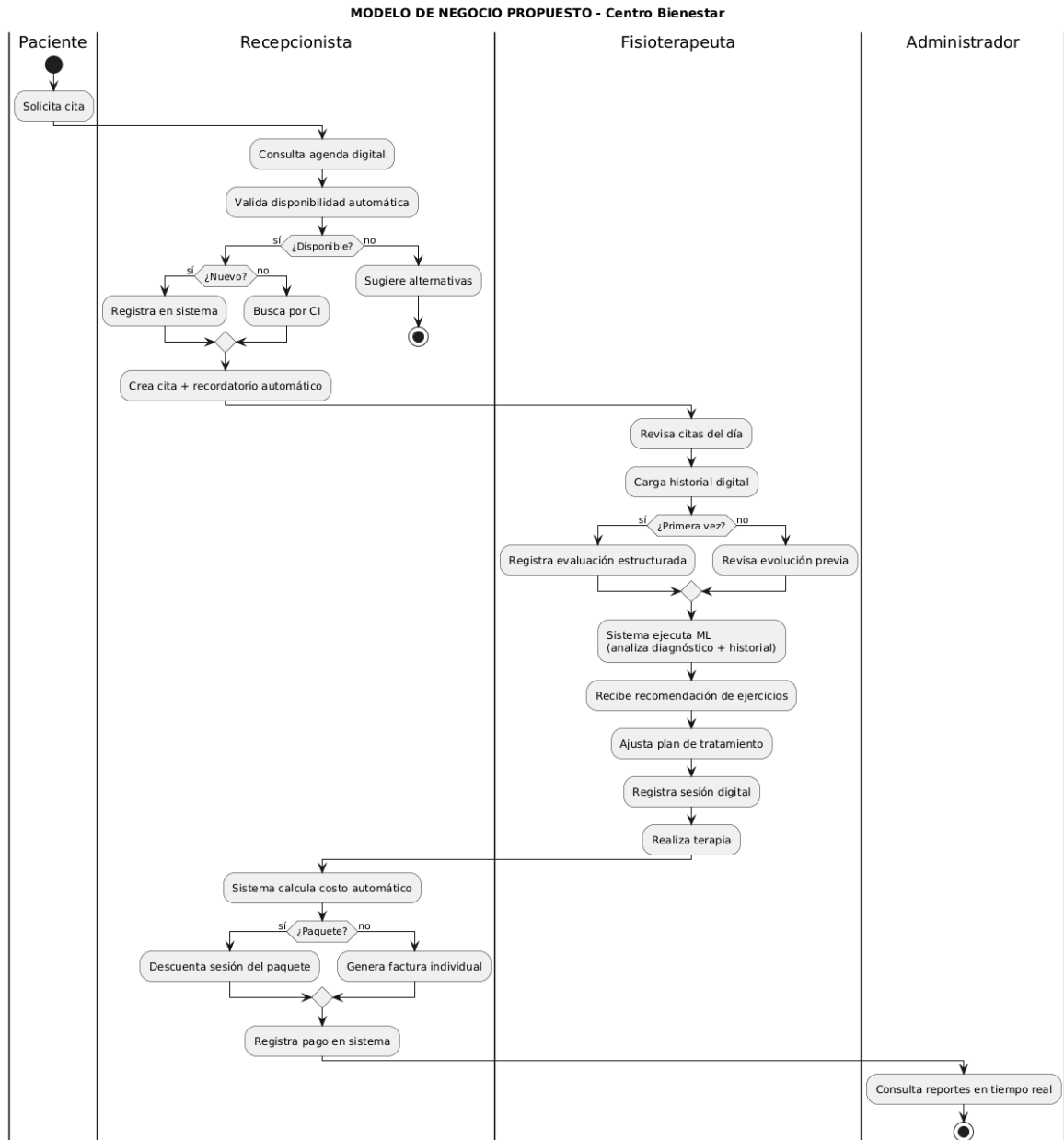


Figura 2: Flujo del proceso digitalizado propuesto

Ingeniería de Requerimientos

A continuación, se presentan las historias de usuario que conforman el Product Backlog del sistema en la Metodología Ágil que usarás **Scrum**.

HU-01: Login de Usuario

Historia de Usuario:

Como usuario del sistema (Admin/Recepcionista/Fisioterapeuta/Paciente), quiero poder iniciar sesión con mi email y contraseña para acceder a las funcionalidades según mi rol.

Criterios de Aceptación:

1. El usuario ingresa email y contraseña válidos
2. El sistema valida las credenciales contra la base de datos
3. Si las credenciales son correctas, redirige al dashboard correspondiente al rol
4. Si son incorrectas, muestra mensaje de error claro
5. Incluye opción de "Recordar sesión"
6. El sistema registra el inicio de sesión en el log de auditoría

Prioridad: Alta

Estimación: 3 puntos

Estado: Completada

Notas: Implementado con Laravel Breeze + Livewire

HU-02: Control de Acceso por Roles (RBAC)

Historia de Usuario:

Como administrador del sistema, quiero que cada usuario solo pueda acceder a las funcionalidades autorizadas para su rol para garantizar la seguridad y privacidad de la información.

Criterios de Aceptación:

1. Admin: Acceso completo a todos los módulos
2. Recepcionista: Acceso a Pacientes (crear/editar), Citas (todas), Facturación
3. Fisioterapeuta: Acceso a Pacientes (lectura), Citas (propias), Sesiones, Evaluaciones, Tratamientos
4. Paciente: Acceso solo a su información personal, citas y tratamientos
5. Al intentar acceder a una ruta no autorizada, muestra error 403
6. Los menús y botones se ocultan según permisos

Prioridad: Alta

Estimación: 5 puntos

Estado: Completada

Notas: Implementado con Spatie Permission (94 permisos granulares)

HU-03: Registrar Paciente

Historia de Usuario:

Como recepcionista, quiero registrar un nuevo paciente con sus datos personales y médicos para tener un expediente digital centralizado.

Criterios de Aceptación:

1. El formulario solicita: CI (único), nombres, apellidos, fecha de nacimiento, sexo, teléfono, email, dirección
2. Campos opcionales: alergias, antecedentes médicos, observaciones
3. El sistema valida que el CI no esté duplicado
4. El sistema valida formato de email y teléfono
5. Al guardar, muestra mensaje de confirmación
6. El paciente aparece en el listado inmediatamente

Prioridad: Alta

Estimación: 3 puntos

Estado: Completada

Notas: CRUD completo con validaciones

HU-04: Buscar Paciente

Historia de Usuario:

Como recepcionista o fisioterapeuta, quiero buscar pacientes por CI o nombre para encontrar rápidamente su expediente.

Criterios de Aceptación:

1. El buscador permite escribir CI o nombre/apellido
2. La búsqueda es en tiempo real (mientras se escribe)
3. Muestra resultados con: CI, nombre completo, teléfono, email
4. Permite ajustar cantidad de registros por página (10, 25, 50)
5. La búsqueda es case-insensitive

Prioridad: Alta

Estimación: 2 puntos

Estado: Completada

HU-05: Editar/Eliminar Paciente (Admin/Recepcionista)

Historia de Usuario:

Como recepcionista, quiero editar los datos de un paciente o eliminarlo para mantener actualizada la información.

Criterios de Aceptación:

1. Solo usuarios con permiso patients.update pueden editar
2. Solo usuarios con permiso patients.delete pueden eliminar
3. Al editar, se cargan los datos actuales en el formulario
4. Al eliminar, solicita confirmación
5. El sistema valida que no haya citas activas antes de eliminar
6. Se registra la acción en el log de auditoría

Prioridad: Media

Estimación: 3 puntos

Estado: Completada

HU-06: Agendar Cita

Historia de Usuario:

Como recepcionista, quiero agendar una cita para un paciente con un fisioterapeuta específico para organizar la agenda del centro.

Criterios de Aceptación:

1. Permite seleccionar paciente existente (búsqueda rápida)
2. Permite seleccionar fisioterapeuta de una lista
3. Muestra calendario visual con disponibilidad
4. Permite seleccionar fecha y hora
5. El sistema valida que no haya colisión de horarios
6. Si hay colisión, muestra mensaje de error y sugiere horarios alternativos
7. Permite ingresar motivo de la cita
8. Al confirmar, programa recordatorio automático (email/SMS 24h antes)
9. La cita aparece en la agenda del fisioterapeuta

Prioridad: Alta

Estimación: 8 puntos

Estado: Completado

HU-07: Validación de Colisiones de Horario

Historia de Usuario:

Como sistema, quiero validar automáticamente que no se agenden dos citas al mismo fisioterapeuta en el mismo horario para evitar conflictos de agenda.

Criterios de Aceptación:

1. Al intentar agendar, el sistema consulta la BD
2. Valida que el fisioterapeuta no tenga otra cita en el rango de tiempo
3. Considera la duración de las citas (por defecto 60 minutos)
4. Si detecta colisión, impide guardar y muestra mensaje claro
5. Sugiere el siguiente horario disponible

Prioridad: Alta

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

HU-08: Ver Agenda del Día (Fisioterapeuta)

Historia de Usuario:

Como fisioterapeuta, quiero ver mi agenda del día con todas mis citas para organizarme y saber qué pacientes atenderé.

Criterios de Aceptación:

1. Dashboard muestra lista de citas del día actual
2. Cada cita muestra: hora, nombre del paciente, motivo
3. Permite filtrar por fecha
4. Muestra estado de cada cita (pendiente, confirmada, completada)
5. Permite hacer clic en la cita para ver detalles del paciente

Prioridad: Alta

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

HU-09: Confirmar/Cancelar Cita

Historia de Usuario:

Como recepcionista, quiero confirmar o cancelar una cita para mantener actualizado el estado de las agendas.

Criterios de Aceptación:

1. Permite cambiar estado de cita a: confirmada, cancelada, no_show
2. Al cancelar, solicita motivo de cancelación (campo obligatorio)
3. Registra quién canceló la cita y cuándo
4. Si se cancela con menos de 24h, notifica al fisioterapeuta
5. Las citas canceladas no aparecen en la agenda del día, pero quedan en historial

Prioridad: Media

Estimación: 3 puntos

Estado: Pendiente

HU-10: Recordatorios Automáticos

Historia de Usuario:

Como sistema, quiero enviar recordatorios automáticos a los pacientes 24 horas antes de su cita para reducir inasistencias.

Criterios de Aceptación:

1. El sistema ejecuta un job programado cada hora
2. Busca citas que ocurrirán en las próximas 24 horas
3. Para cada cita encontrada, envía email y/o SMS al paciente
4. El recordatorio incluye: fecha, hora, nombre del fisioterapeuta, dirección
5. Marca la cita como "recordatorio_enviado = true"
6. No envía recordatorios duplicados

Prioridad: Media

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

Notas: Requiere configuración de SMTP y/o API de SMS

HU-11: Registrar Evaluación Inicial

Historia de Usuario:

Como fisioterapeuta, quiero registrar la evaluación inicial de un paciente con datos estructurados para tener un diagnóstico claro y medible.

Criterios de Aceptación:

1. Formulario incluye: fecha, tipo de evaluación (inicial/seguimiento/final)
2. Motivo de consulta (textarea)
3. Escala de dolor (slider 0-10)
4. Ubicación del dolor (texto)
5. Rango de movimiento por articulación (JSON)
6. Fuerza muscular por grupo (JSON)
7. Tests funcionales aplicados (JSON)
8. Evaluación de postura y marcha
9. Diagnóstico fisioterapéutico (textarea obligatoria)
10. Objetivos de tratamiento
11. Pronóstico
12. Al guardar, se almacena en tabla assessments

Prioridad: Alta

Estimación: 8 puntos

Estado: Pendiente

HU-12: Ver Historial de Evaluaciones

Historia de Usuario:

Como fisioterapeuta, quiero ver todas las evaluaciones previas de un paciente para analizar su evolución.

Criterios de Aceptación:

1. Muestra lista cronológica de evaluaciones del paciente
2. Cada evaluación muestra: fecha, tipo, dolor (escala), diagnóstico

3. Permite abrir cada evaluación en detalle
4. Permite comparar evaluaciones (inicial vs seguimiento)
5. Muestra gráfico de evolución del dolor en el tiempo

Prioridad: Media

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

HU-13: Registrar Sesión de Terapia

Historia de Usuario:

Como fisioterapeuta, quiero registrar cada sesión de terapia con el paciente para documentar técnicas aplicadas y resultados.

Criterios de Aceptación:

1. Asocia la sesión a una cita existente (opcional)
2. Registra: fecha, duración, número de sesión
3. Permite seleccionar técnicas aplicadas de un catálogo
4. Registra dolor pre-sesión (escala 0-10)
5. Registra dolor post-sesión (escala 0-10)
6. Campo de evolución (textarea)
7. Respuesta al tratamiento (excelente/buena/regular/mala)
8. Observaciones adicionales
9. Recomendaciones para próxima sesión

Prioridad: Alta

Estimación: 8 puntos

Estado: Pendiente

HU-14: Crear Plan de Tratamiento

Historia de Usuario:

Como fisioterapeuta, quiero crear un plan de tratamiento personalizado para un paciente para establecer objetivos y seguimiento.

Criterios de Aceptación:

1. Asocia el plan a una evaluación específica
2. Registra: fecha inicio, fecha fin estimada
3. Objetivo general del tratamiento (textarea)
4. Frecuencia semanal recomendada
5. Duración estimada en semanas
6. Estado (activo/completado/suspendido)
7. Al guardar, permite asignar ejercicios

Prioridad: Alta

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

HU-15: Recomendación de Ejercicios con ML

Historia de Usuario:

Como fisioterapeuta, quiero recibir recomendaciones automáticas de ejercicios basadas en el diagnóstico del paciente para optimizar el plan de tratamiento con datos de casos similares.

Criterios de Aceptación:

1. Al crear un plan de tratamiento, aparece botón "Obtener recomendaciones ML"
2. El sistema envía al servicio Python: diagnóstico, edad, historial del paciente
3. El servicio ML analiza casos similares previos y sus resultados
4. Devuelve lista de 5-10 ejercicios recomendados con nivel de confianza (%)
5. Cada ejercicio muestra: nombre, descripción, confianza del modelo
6. El fisioterapeuta puede aceptar/rechazar cada sugerencia

7. Los ejercicios aceptados se agregan automáticamente al plan
8. El sistema registra qué recomendaciones fueron usadas (feedback para el modelo)

Prioridad: Alta (innovación del proyecto)

Estimación: 13 puntos

Estado: Pendiente

Notas: Requiere desarrollo del servicio Python + API REST

HU-16: Asignar Ejercicios Manualmente

Historia de Usuario:

Como fisioterapeuta, quiero asignar ejercicios manualmente al plan de tratamiento para tener control total del protocolo terapéutico.

Criterios de Aceptación:

1. Permite buscar ejercicios del catálogo
2. Para cada ejercicio asignado, especifica: series, repeticiones, duración
3. Frecuencia semanal (cuántas veces por semana)
4. Instrucciones específicas para el paciente
5. Orden de ejecución
6. Permite marcar ejercicios como activos/inactivos
7. Al guardar, el paciente puede ver sus ejercicios asignados

Prioridad: Alta

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

HU-17: Generar Factura por Sesión

Historia de Usuario:

Como recepcionista, quiero generar automáticamente una factura al finalizar cada sesión para agilizar el proceso de cobro.

Criterios de Aceptación:

1. Al marcar una sesión como completada, ofrece generar factura
2. La factura incluye: número único, fecha, paciente, servicios, subtotal, descuentos, total
3. Permite agregar múltiples conceptos (sesión + materiales)
4. Calcula automáticamente el total
5. Estado inicial: "pendiente"
6. Genera número de factura secuencial único

Prioridad: Alta

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

HU-18: Vender Paquete de Sesiones

Historia de Usuario:

Como recepcionista, quiero vender paquetes de sesiones con precio preferencial para incentivar que los pacientes continúen su tratamiento.

Criterios de Aceptación:

1. Permite crear paquete: nombre, cantidad de sesiones, precio total
2. El sistema calcula precio por sesión automáticamente
3. Asocia el paquete al paciente y a una factura
4. Al usar una sesión del paquete, el sistema descuenta automáticamente
5. Muestra contador: sesiones restantes
6. Cuando quedan 2 sesiones, notifica al paciente
7. Los paquetes pueden tener fecha de vencimiento

Prioridad: Media

Estimación: 8 puntos

Estado: Pendiente

HU-19: Registrar Pago

Historia de Usuario:

Como recepcionista, quiero registrar los pagos de los pacientes para llevar control financiero del centro.

Criterios de Aceptación:

1. Asocia el pago a una factura específica
2. Registra: fecha, monto, método de pago (efectivo/tarjeta/transferencia/QR)
3. Campo de referencia (número de transacción)
4. Al registrar pago completo, cambia estado de factura a "pagada"
5. Permite pagos parciales
6. Actualiza automáticamente reporte de caja del día

Prioridad: Alta

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

HU-20: Dashboard con Métricas (Admin)

Historia de Usuario:

Como administrador, quiero ver un dashboard con métricas clave del negocio en tiempo real para tomar decisiones informadas.

Criterios de Aceptación:

1. Muestra tarjetas con KPIs: pacientes activos, citas del día, ingresos del mes
2. Gráfico de ingresos por mes (últimos 6 meses)
3. Gráfico de citas por fisioterapeuta
4. Gráfico de sesiones por tipo de tratamiento
5. Top 5 diagnósticos más frecuentes
6. Permite filtrar por rango de fechas
7. Los datos se actualizan en tiempo real

Prioridad: Media

Estimación: 8 puntos

Estado: Pendiente

HU-21: Reporte de Productividad por Fisioterapeuta

Historia de Usuario:

Como administrador, quiero ver un reporte de productividad de cada fisioterapeuta para evaluar el desempeño del equipo.

Criterios de Aceptación:

1. Muestra tabla con: nombre fisioterapeuta, sesiones realizadas, pacientes atendidos, ingresos generados
2. Permite filtrar por período (mes/trimestre/año)
3. Muestra promedio de sesiones por día
4. Incluye tasa de cancelación de citas
5. Exportable a PDF y Excel

Prioridad: Baja

Estimación: 5 puntos

Estado: Pendiente

REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

RNF-01: Seguridad - Encriptación de Contraseñas

Tipo: Seguridad

Descripción: Todas las contraseñas de usuarios deben ser encriptadas usando bcrypt antes de almacenarse en la base de datos.

Criterios de Medición: El equipo de QA verificará mediante inspección directa de la base de datos que ninguna contraseña se almacene como texto plano.

Prioridad: Alta

Estado: Implementado (Laravel Hash facade)

RNF-02: Seguridad - Control de Acceso

Tipo: Seguridad

Descripción: El sistema debe validar permisos en cada petición HTTP para garantizar que los usuarios solo accedan a recursos autorizados para su rol.

Criterios de Medición:

- El 100% de las rutas protegidas deben validar permisos
- Pruebas de penetración no deben permitir acceso no autorizado
- Cada intento de acceso no autorizado debe registrarse en logs

Prioridad: Alta

Estado: Implementado (Middleware + Spatie Permission)

RNF-03: Rendimiento - Tiempo de Respuesta

Tipo: Rendimiento

Descripción: El sistema debe cargar páginas y procesar solicitudes en menos de 3 segundos bajo condiciones normales de uso.

Criterios de Medición:

- El 95% de las peticiones HTTP deben completarse en < 3 segundos
- Las consultas a la base de datos deben ejecutarse en < 1 segundo
- Medición con herramientas: Laravel Telescope, New Relic

Prioridad: Media

Estado: Pendiente (medir en producción)

RNF-04: Usabilidad - Interfaz Responsiva

Tipo: Usabilidad

Descripción: La interfaz debe ser completamente funcional en dispositivos móviles (smartphones y tablets) además de computadoras de escritorio.

Criterios de Medición:

- Pruebas en Chrome DevTools con diferentes resoluciones
- Validación en dispositivos reales: iPhone, iPad, Android
- Todos los formularios deben ser completables en pantallas de 320px de ancho

Prioridad: Alta

Estado: Implementado (Tailwind CSS responsive)

RNF-05: Disponibilidad - Uptime

Tipo: Disponibilidad

Descripción: El sistema debe estar disponible el 99% del tiempo durante horario laboral (8:00 - 20:00).

Criterios de Medición:

- Monitoreo con herramientas como UptimeRobot
- Downtime planificado solo en horarios no laborales
- Sistema de backups automáticos diarios

Prioridad: Alta

Estado: Pendiente (configurar en producción)

RNF-06: Escalabilidad - Concurrencia

Tipo: Escalabilidad

Descripción: El sistema debe soportar al menos 50 usuarios concurrentes sin degradación significativa del rendimiento.

Criterios de Medición:

- Pruebas de carga con Apache JMeter o Laravel Dusk
- Tiempo de respuesta no debe incrementarse más del 20% con 50 usuarios
- Base de datos debe soportar 100+ conexiones simultáneas

Prioridad: Media

Estado: Pendiente (pruebas de carga)

RNF-07: Mantenibilidad - Código Limpio

Tipo: Mantenibilidad

Descripción: El código debe seguir las convenciones de Laravel y principios SOLID para facilitar mantenimiento futuro.

Criterios de Medición:

- Code reviews regulares
- Análisis estático con PHPStan nivel 5+
- Cobertura de tests unitarios > 70%
- Documentación completa de APIs

Prioridad: Media

Estado: En progreso

RNF-08: Integridad de Datos - Backups

Tipo: Confiabilidad

Descripción: El sistema debe realizar backups automáticos diarios de la base de datos y almacenarlos en ubicación externa.

Criterios de Medición:

- Backups programados ejecutándose diariamente
- Pruebas de restauración exitosas mensualmente
- Almacenamiento en cloud (AWS S3 o similar) con retención de 30 días

Prioridad: Alta

Estado: Pendiente (configurar en producción)

RNF-09: ML - Precisión del Modelo

Tipo: Inteligencia Artificial

Descripción: El modelo de Machine Learning debe tener una precisión mínima del 75% en la recomendación de ejercicios.

Criterios de Medición:

- Evaluación con conjunto de prueba (test set) separado
- Métricas: Accuracy, Precision, Recall, F1-Score
- Validación cruzada con k-folds (k=5)
- Feedback de fisioterapeutas sobre utilidad de recomendaciones > 70%

Prioridad: Alta

Estado: Pendiente (entrenar modelo)

RNF-10: Auditoría - Trazabilidad

Tipo: Auditoría

Descripción: Todas las acciones críticas deben registrarse en un log de auditoría con información de quién, qué, cuándo.

Criterios de Medición:

- Eventos registrados: creación/edición/eliminación de pacientes, citas, sesiones, facturas
- Log incluye: usuario, acción, timestamp, datos anteriores y nuevos
- Logs almacenados por al menos 1 año
- Implementado con Spatie Activity Log

Prioridad: Media

Estado: Pendiente

PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA

El presente plan de pruebas define la estrategia, metodología y casos de prueba para validar el correcto funcionamiento del Sistema de Rehabilitación Física con Machine Learning desarrollado para el Centro Bienestar. Se contemplan pruebas unitarias, de integración, funcionales, de seguridad y de evaluación del modelo de inteligencia artificial, garantizando la calidad del software antes de su despliegue en producción.

Objetivos De Las Pruebas

1. Verificar que cada módulo del sistema cumple con los requisitos funcionales establecidos en las historias de usuario
2. Validar los mecanismos de seguridad implementados (autenticación, autorización RBAC, protección de datos)
3. Garantizar la integridad de los datos almacenados en la base de datos PostgreSQL
4. Evaluar el rendimiento y precisión del modelo de Machine Learning en la recomendación de ejercicios
5. Asegurar la correcta integración entre los diferentes componentes del sistema (frontend, backend, base de datos, servicio ML)
6. Detectar y documentar errores antes del despliegue en producción

El sistema será sometido a cinco categorías principales de pruebas:

Tipo de Prueba	Descripción	Herramienta	Cobertura Objetivo
Unitarias	Prueban funciones y métodos individuales de forma aislada	PHPUnit	70% del código
Integración	Prueban la interacción entre múltiples componentes	PHPUnit + Laravel Dusk	60% de las integraciones
Funcionales	Prueban casos de uso completos desde la perspectiva del usuario	Laravel Dusk + Livewire Testing	80% de las HU
Seguridad	Validan controles de acceso, encriptación y protección contra vulnerabilidades	Manual + PHPUnit	100% de los controles
Machine Learning	Evalúan precisión, recall y confiabilidad del modelo ML	Scikit-learn metrics (Python)	Accuracy ≥ 75%

Plan de Pruebas - Módulos del Sistema

El presente plan de pruebas resume los casos de prueba correspondientes a los módulos del sistema web. Cada caso está vinculado a su Historia de Usuario (HU) y a los Requerimientos No Funcionales (RNF) definidos en la ingeniería de requerimientos, verificando la funcionalidad, seguridad y rendimiento del sistema propuesto.

Casos de Prueba por Módulo

ID	Módulo	HU	Tipo	Descripción de la Prueba	Resultado Esperado	Estado
TP-001	Autenticación	HU-01	Unitaria	Login con credenciales válidas	Usuario autenticado, redirección a dashboard según rol	Aprobado
TP-002	Autenticación	HU-01	Unitaria	Login con credenciales inválidas	Mensaje de error 'Credenciales incorrectas', permanece en login	Aprobado
TP-003	Autenticación	HU-01	Unitaria	Cierre de sesión (Logout)	Sesión cerrada, redirección a página de login	Aprobado
TP-004	Autenticación	HU-01	Funcional	Recuperación de contraseña	Email enviado con token de reseteo válido	Pendiente
TP-005	RBAC	HU-02	Unitaria	Admin accede a todos los módulos	Acceso concedido a Pacientes, Citas, Usuarios, Reportes	Aprobado
TP-006	RBAC	HU-02	Unitaria	Recepcionista NO puede eliminar pacientes	Error 403 Forbidden, botón 'Eliminar' oculto	Aprobado
TP-007	RBAC	HU-02	Unitaria	Fisioterapeuta solo ve sus propias citas	Lista de citas filtrada por fisioterapeuta_id	Aprobado
TP-008	RBAC	HU-02	Unitaria	Paciente NO puede acceder a /patients	Error 403 Forbidden, menú 'Pacientes' no visible	Aprobado
TP-009	Pacientes	HU-03	Unitaria	Crear paciente con datos válidos	Paciente guardado en BD, mensaje 'Paciente registrado'	Aprobado
TP-010	Pacientes	HU-03	Unitaria	Crear paciente con CI duplicado	Error de validación: 'El CI ya existe en el sistema'	Aprobado

TP-011	Pacientes	HU-03	Unitaria	Crear paciente sin campos obligatorios	Errores: 'El campo CI es obligatorio', 'Nombres requeridos'	Aprobado
TP-012	Pacientes	HU-04	Unitaria	Buscar paciente por CI	Lista filtrada mostrando solo pacientes con CI coincidente	Aprobado
TP-013	Pacientes	HU-04	Unitaria	Buscar paciente por nombre	Lista filtrada en tiempo real (búsqueda case-insensitive)	Aprobado
TP-014	Pacientes	HU-05	Unitaria	Editar datos de paciente existente	Datos actualizados en BD, mensaje 'Paciente actualizado'	Aprobado
TP-015	Pacientes	HU-05	Unitaria	Eliminar paciente (usuario Admin)	Registro marcado como eliminado (soft delete), no visible	Aprobado
TP-016	Pacientes	HU-05	Unitaria	Eliminar paciente (Recepcionista)	Error 403 Forbidden, acción bloqueada por middleware	Aprobado
TP-017	Citas	HU-06	Integración	Agendar cita con horario disponible	Cita creada, recordatorio automático programado 24h antes	Pendiente
TP-026	Tratamientos (ML)	HU-15	Integración	Solicitar recomendación de ejercicios ML	API retorna lista de 5-10 ejercicios con % confianza	Pendiente
TP-032	Seguridad	RNF-01	Seguridad	Validar encriptación de contraseñas	Contraseñas almacenadas con bcrypt (no texto plano)	Aprobado
TP-038	Auditoría	RNF-10	Integración	Registro en Activity Log	Acción registrada con user_id, timestamp, datos previos/nuevos	Pendiente

ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema propuesto se modela mediante el Diagrama C4 de Nivel 2 (Contenedores), el cual describe los principales componentes del sistema web, sus interacciones y las tecnologías empleadas.

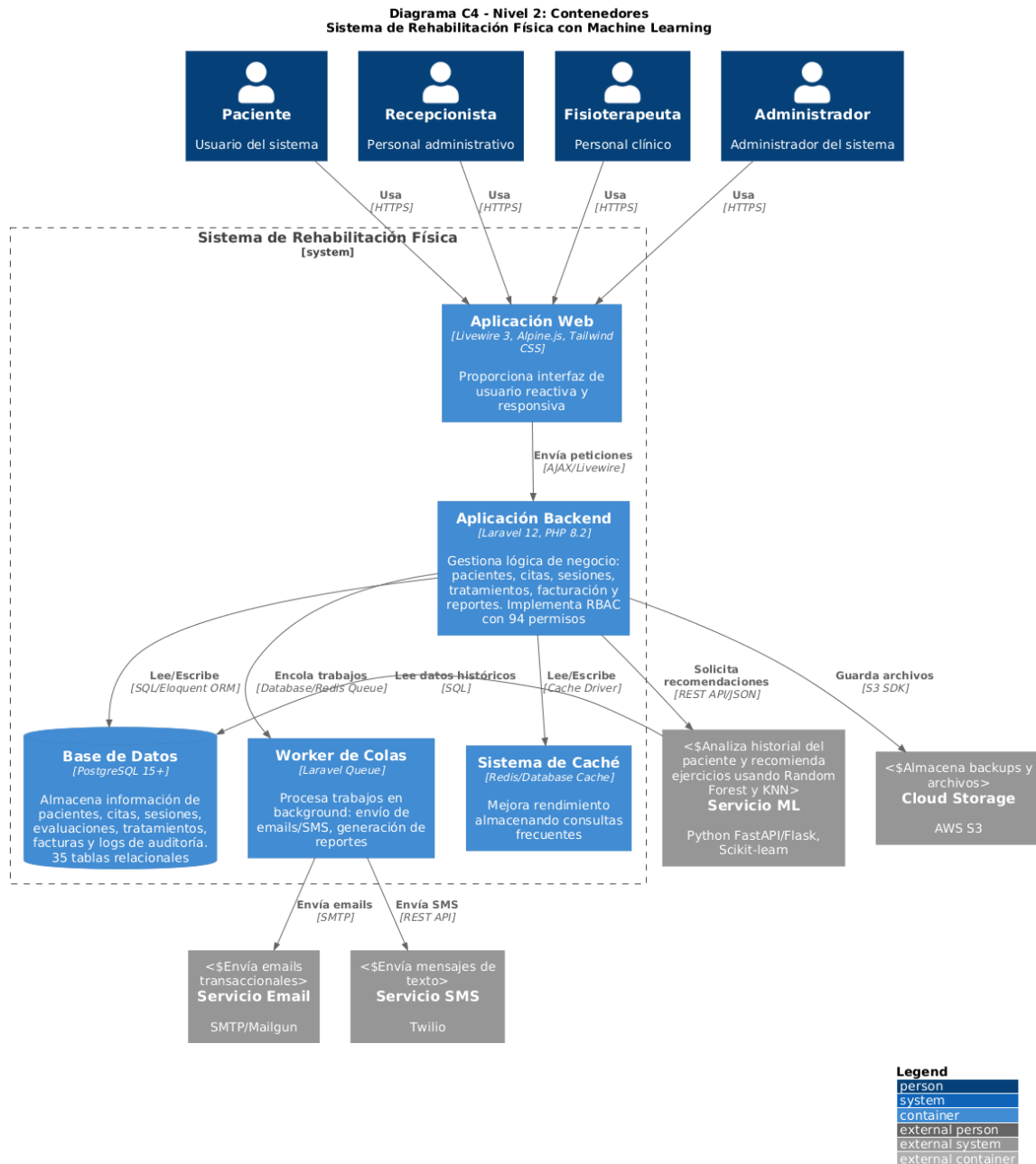


Figura 3. Arquitectura C4 – Nivel 2 (Contenedores del Sistema)

La arquitectura propuesta sigue un patrón de tres capas (presentación, lógica de negocio y datos) con integración de servicios externos para notificaciones mediante email y SMS, y un microservicio de inteligencia artificial para la recomendación personalizada de ejercicios terapéuticos.

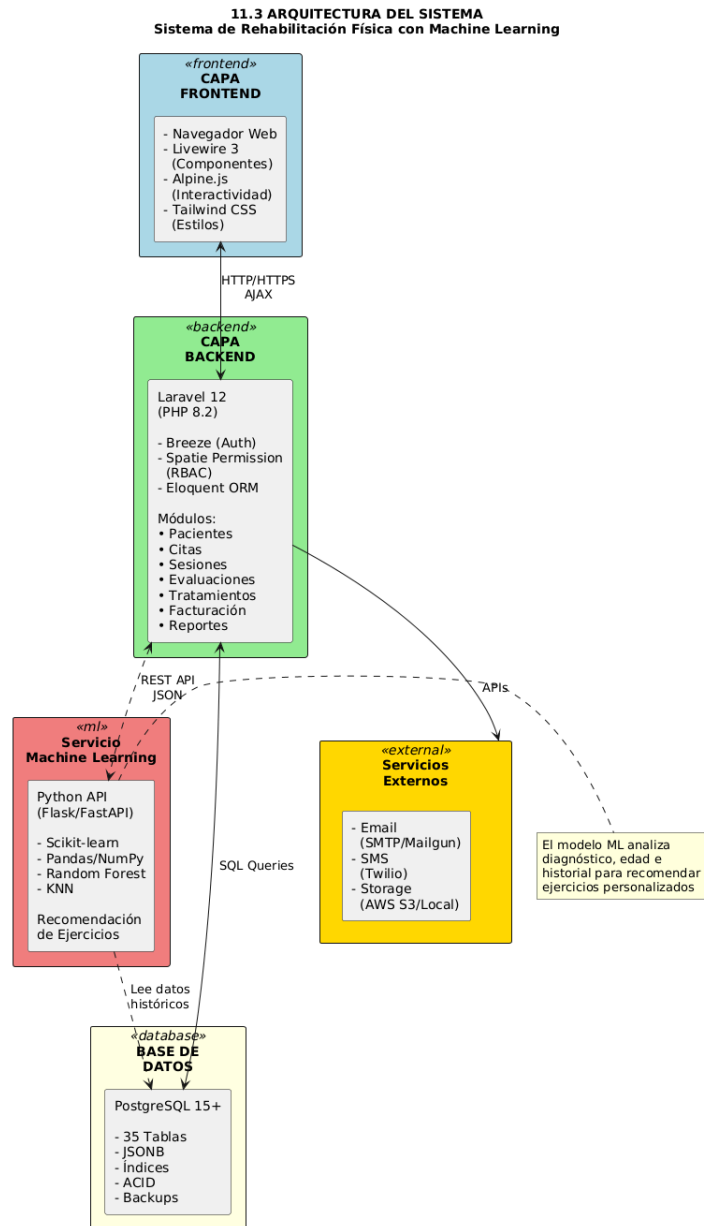


Figura 4: Arquitectura en tres capas del sistema

Fuente: Elaboración Propia

ARQUITECTURA DE SEGURIDAD

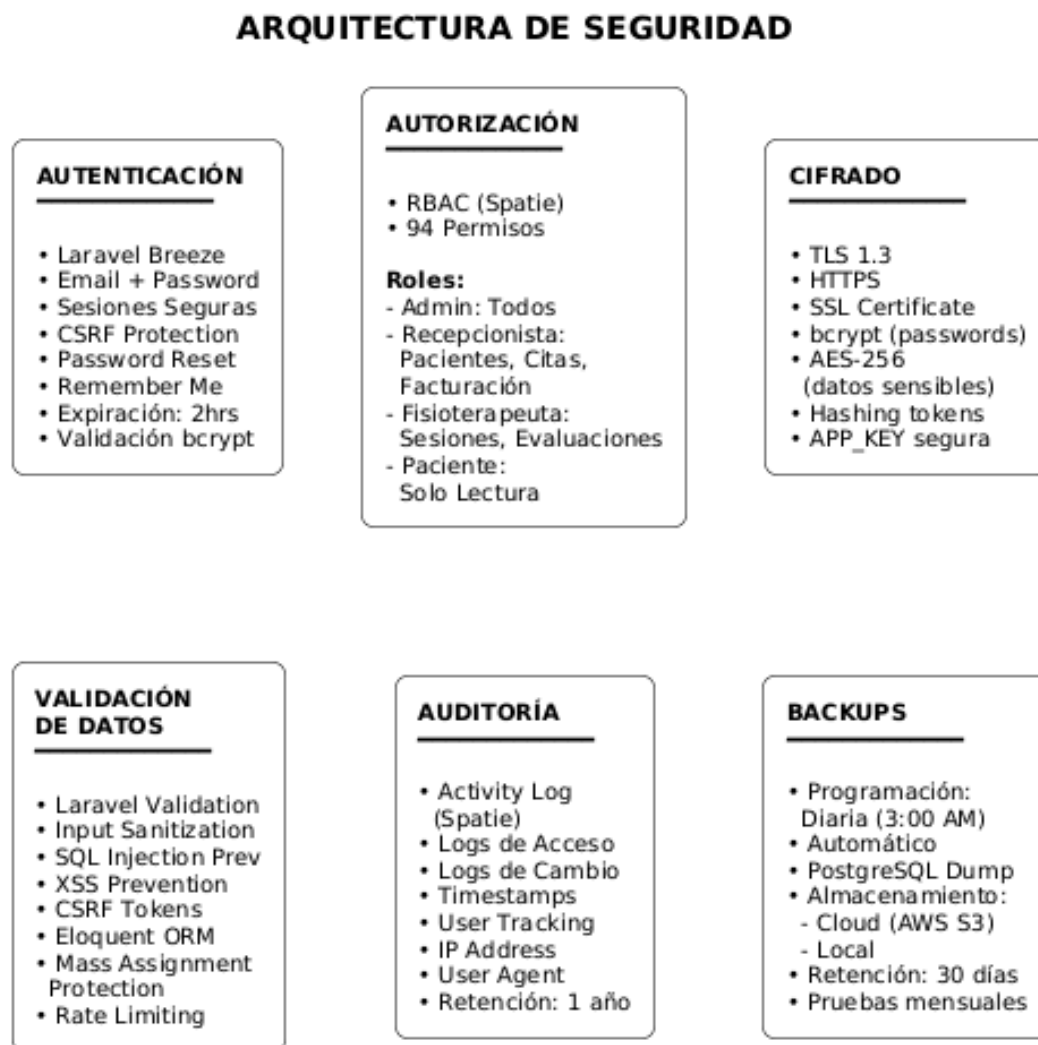


Figura 5: Arquitectura de seguridad del sistema

Modelo de base de datos



Figura: Modelo Entidad-Relación (DER) del Sistema

Diagrama lógico de la base de datos

El modelo de datos está diseñado en PostgreSQL 15+ siguiendo el paradigma relacional, que garantiza integridad referencial mediante llaves foráneas. Las entidades principales son: users, patients, appointments, clinical_sessions, assessments, treatment_plans, exercises, invoices, payments, y ml_recommendations. Se utiliza JSONB para almacenar datos semi-estructurados como técnicas aplicadas, features del modelo ML, y configuraciones. Los índices están optimizados para consultas frecuentes.

1.9. Referencias bibliográficas

- [1] M. Fernández and A. Rodríguez, *Aplicación de inteligencia artificial en la fisioterapia: Revisión de casos clínicos asistidos por algoritmos de machine learning*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana, 2021.
- [2] Organización Mundial de la Salud, *Rehabilitación 2030: Un llamado a la acción*. Ginebra, Suiza: OMS, 2017.
- [3] D. García López, “Implementación de un sistema web para el seguimiento clínico de pacientes con enfermedades musculoesqueléticas,” *Rev. Latinoam. Ing. Tecnol.*, vol. 19, no. 3, pp. 124–135, 2022.
- [4] T. F. Martínez and L. J. Rivera, “Sistemas de recomendación en salud: una revisión sobre aplicaciones de machine learning en rehabilitación física,” *Rev. Iberoam. Tecnol. Salud*, vol. 10, no. 2, pp. 33–45, 2021.
- [5] J. C. Carrasco, P. Álvarez, and R. Flores, “Desarrollo de una herramienta inteligente para la prescripción de ejercicios terapéuticos en centros de fisioterapia,” in *Proc. Congr. Int. Ing. Sist. Tecnol. Inf.*, Cochabamba, Bolivia, 2023.
- [6] Scikit-learn Developers, “Scikit-learn: Machine Learning in Python,” *scikit-learn.org*, 2023. [Online]. Available: <https://scikit-learn.org>. [Accessed: Sept. 16, 2025].

[7] M. Rodríguez Valencia, *Sistema basado en usabilidad para el proceso de administración de pedidos y control de productos*. Proyecto de Grado, Univ. Adventista de Bolivia, Cochabamba, Bolivia, 2013.

[8] Banco Interamericano de Desarrollo, *Transformación digital para la inclusión social y productiva en América Latina y el Caribe*. Washington, D.C., USA: BID, 2021.