



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**Sistema de información para el Laboratorio de patología UT LIME**

Juan Pablo Restrepo Mancilla

Informe de práctica presentado para optar al título de Bioingeniero.

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesores

Sara Ochoa Soto, Especialista (Esp) en Auditoría en Salud

Angelower Santana Velásquez, Magíster en Ingeniería

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Bioingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2025



# UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

---

**Cita**

Juan Pablo Restrepo Mancilla [1]

**Referencia**

[1] J. Restrepo Mancilla, “Sistema de información para el Laboratorio de patología UT LIME”, Trabajo de grado profesional, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2025.

Estilo IEEE (2020)



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano:** Julio César Saldarriaga

**Jefe departamento:** Jenny Kateryne Aristizabal Nieto

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

A mi abuelo y a mi mejor amigo, quienes ya no están, pero siguen acompañándome en cada paso.  
Sin su apoyo, su cariño, no estaría donde estoy hoy. Este logro también es de ellos.

### **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mi familia, por su apoyo incondicional y por ser siempre mi mayor fuente de fortaleza. Al equipo del LIME, por su apoyo constante, su disposición y el cariño con el que me acompañaron durante el desarrollo de este proyecto. Un agradecimiento en especial a Paula Valentina Pinzón, sin su ayuda y apoyo no habría sido posible. Muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| RESUMEN.....                                | 8  |
| ABSTRACT.....                               | 9  |
| I. INTRODUCCIÓN.....                        | 10 |
| II. OBJETIVOS.....                          | 14 |
| III. MARCO TEÓRICO.....                     | 15 |
| IV. METODOLOGÍA.....                        | 23 |
| V. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 31 |
| VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....     | 58 |
| REFERENCIAS.....                            | 60 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA I TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN | 42 |
| TABLA II ESTRUCTURA GENERAL DE LA BASE DE DATOS                             | 43 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1. Interfaz de inicio de sesión anterior.....                                                                                              | 32 |
| Fig. 2. Interfaz de ingreso de nuevo caso en el software anterior.....                                                                          | 34 |
| Fig. 3. Interfaz anterior para el seguimiento de casos actuales e históricos.....                                                               | 35 |
| Fig. 4. Ejemplo de orden de caso usada también para llevar en sí el código del caso y los resultados del mismo como único respaldo de esta..... | 37 |
| Fig. 5. Plantilla de Word utilizada para toda la consolidación de los resultados.....                                                           | 39 |
| Fig. 6. Reporte básico de casos por cada uno de los procedimientos.....                                                                         | 41 |
| Fig. 7. Vista principal del sistema desarrollado (la información mostrada no corresponde a pacientes reales).....                               | 45 |
| Fig. 8. Formulario de creación de nuevos pacientes.....                                                                                         | 46 |
| Fig. 9. Formulario de creación de nuevos casos.....                                                                                             | 47 |
| Fig. 10. Formulario utilizado para la descripción de los resultados.....                                                                        | 48 |
| Fig. 11 Listado de casos con búsqueda avanzada.....                                                                                             | 50 |
| Fig. 12. Panel para el seguimiento de la oportunidad de cumplimiento del laboratorio.....                                                       | 51 |
| Fig. 13 Ejemplificación del perfil de un patólogo con firma ingresada.....                                                                      | 52 |
| Fig. 16. Sistema desplegado para su uso usan RENDER como servicio.....                                                                          | 55 |
| Fig. 17. Documentación y manual de usuario desplegados.....                                                                                     | 56 |

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

|                  |                                                            |
|------------------|------------------------------------------------------------|
| - <b>API</b>     | Application Programming Interface                          |
| - <b>CIE-10</b>  | Clasificación Internacional de Enfermedades, 10ª revisión  |
| - <b>CIE-O</b>   | Clasificación Internacional de Enfermedades para Oncología |
| - <b>CORS</b>    | Cross-Origin Resource Sharing                              |
| - <b>ERIC</b>    | Education Resources Information Center                     |
| - <b>HTML</b>    | HyperText Markup Language                                  |
| - <b>HTTP</b>    | HyperText Transfer Protocol                                |
| - <b>HTTPS</b>   | HyperText Transfer Protocol Secure                         |
| - <b>JSON</b>    | JavaScript Object Notation                                 |
| - <b>JWT</b>     | JSON Web Token                                             |
| - <b>LIME</b>    | Laboratorio de medicina especializada                      |
| - <b>LIS</b>     | Laboratory Information System                              |
| - <b>MongoDB</b> | Base de datos NoSQL orientada a documentos                 |
| - <b>NoSQL</b>   | Not Only Structured Query Language                         |
| - <b>ORM</b>     | Object-Relational Mapping                                  |
| - <b>SGBD</b>    | Sistema de Gestión de Base de Datos                        |
| - <b>SQL</b>     | Structured Query Language                                  |
| - <b>SSL</b>     | Secure Sockets Layer                                       |
| - <b>TLS</b>     | Transport Layer Security                                   |
| - <b>UI</b>      | User Interface                                             |
| - <b>URL</b>     | Uniform Resource Locator                                   |
| - <b>UX</b>      | User Experience                                            |

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue diseñar e implementar un Sistema de Información de Laboratorio (LIS) para el Laboratorio de Patología de la UT LIME, con el propósito de optimizar la gestión de procesos, fortalecer la trazabilidad de muestras y garantizar la integridad y seguridad de los datos. Se aplicó una metodología ágil, iterativa e incremental, que abarcó el levantamiento de requerimientos, modelado, desarrollo, pruebas y validación con patólogos, técnicos y personal administrativo, en coherencia con el marco normativo, y las directrices del Ministerio de Salud sobre interoperabilidad y seguridad.

Como resultado se obtuvo la creación de una plataforma web funcional y centralizada, capaz de gestionar el ciclo completo de vida de las muestras: recepción, codificación, análisis, emisión de resultados e informes digitales con firma certificada. Esta digitalización eliminó duplicidades, redujo errores y mejoró la oportunidad diagnóstica. Asimismo, el sistema integró módulos de gestión de pacientes, casos, estadísticas y reportes automáticos, lo que permitió una visión global de la operación del laboratorio y una toma de decisiones basada en datos reales.

El LIS representa un avance tecnológico significativo al sustituir los procesos manuales por una solución escalable, accesible y segura, desplegada en la nube. En conclusión, el sistema cumplió con los objetivos propuestos, contribuyendo a la modernización y eficiencia del Laboratorio de Patología UT LIME y estableciendo una base sólida para futuras integraciones.

***Palabras clave* — Sistema de Información de Laboratorio, Emisión de Informes Digitales, Seguridad de la Información, Interfaz de Usuario (UI), Desarrollo de Software, Automatización de Laboratorios, Eficiencia Operativa.**

## ABSTRACT

This project designed and implemented a Laboratory Information System (LIS) for the Pathology Laboratory of UT LIME, with the purpose of optimizing process management, strengthening sample traceability, and ensuring data integrity and security. An iterative and incremental agile methodology was applied, encompassing requirements gathering, data modeling, system development, testing, and validation with pathologists, technicians, and administrative staff, in alignment with regulatory frameworks and the Ministry of Health's guidelines on interoperability and information security.

As a result, a functional and centralized web platform was developed, capable of managing the complete life cycle of samples: reception, coding, analysis, and the generation of certified digital reports. This digitalization eliminated data duplication, reduced operational errors, and improved diagnostic efficiency. Additionally, the system incorporated modules for patient management, case tracking, statistics, and automated reporting, allowing for a comprehensive view of laboratory operations and enabling data-driven decision-making.

The LIS represents a significant technological advancement by replacing manual processes with a scalable, accessible, and secure cloud-based solution. In conclusion, the system successfully met the proposed objectives, contributing to the modernization and efficiency of the UT LIME Pathology Laboratory and establishing a solid foundation for future integrations and continuous improvement.

**Keywords — Laboratory Information System, Digital Report Issuance, Information Security, User Interface, Software Development, Laboratory Automation, Operational Efficiency.**

## I. INTRODUCCIÓN

La transformación digital de los servicios de salud representa uno de los principales desafíos y oportunidades del sector sanitario actual. En el ámbito de los laboratorios clínicos y de patología, la adopción de Sistemas de Información de Laboratorio (LIS, por sus siglas en inglés) se ha consolidado como un factor determinante para garantizar la calidad diagnóstica, la seguridad del paciente y la eficiencia operativa. Estos sistemas permiten una gestión integral del ciclo de vida de las muestras, desde su recepción y procesamiento hasta la generación, certificación y archivo de resultados, al tiempo que aseguran la trazabilidad completa, la confidencialidad de los datos y el cumplimiento de marcos normativos cada vez más exigentes [1].

La UT LIME (Laboratorios Integrados de Medicina Especializada) es una Unión Temporal creada para realizar en forma conjunta la gestión y prestación de servicios de salud, que articula actividades de docencia, investigación y extensión. Dentro de esta estructura, el Laboratorio de Patología desempeña un rol fundamental en el diagnóstico de enfermedades mediante el análisis histológico y citológico de muestras biológicas, contribuyendo de manera significativa al proceso clínico de atención de pacientes y a la formación de profesionales de la salud. Con un volumen operativo que alcanza aproximadamente 1.000 muestras mensuales provenientes de diferentes entidades de salud .

El laboratorio requiere altos estándares de organización, precisión y trazabilidad en la gestión de información diagnóstica, sin embargo, al momento de iniciar este proyecto, el laboratorio carecía de un Sistema de Información que permitiera integrar y automatizar sus procesos críticos [2]. La gestión de la información se realizaba de forma manual mediante formularios físicos, registros en hojas de cálculo y documentos ofimáticos básicos, lo cual generaba múltiples problemáticas operativas: incremento significativo de la carga administrativa del personal, riesgos de duplicidad y pérdida de información, no conformidades por errores de digitación, retrasos en la entrega de resultados, dificultades en la consulta de datos históricos, y

limitaciones severas para implementar controles de calidad efectivos y tomar decisiones basadas en datos. Esta situación no sólo comprometía la eficiencia del servicio, sino que también representaba riesgos potenciales para la seguridad de los datos de los pacientes y la continuidad operativa del laboratorio.

Ante este contexto, el presente informe documenta el desarrollo e implementación completa de un Sistema de Información de Laboratorio diseñado específicamente para las necesidades del laboratorio de Patología adscrito a la UT LIME. Este proyecto tuvo como objetivo central diseñar, desarrollar, validar y desplegar una plataforma tecnológica robusta, escalable y segura, capaz de gestionar de manera integral todos los procesos del servicio de patología, desde la recepción de muestras hasta la emisión de informes diagnósticos certificados [3].

El proyecto se ejecutó siguiendo una metodología ágil basada en ciclos iterativos e incrementales, que permitió construir el sistema de forma progresiva mediante la validación constante con los usuarios reales del laboratorio [4]. El proceso abarcó desde el análisis inicial de requerimientos y el diseño de la arquitectura tecnológica, hasta el desarrollo de los módulos funcionales, pruebas de validación, capacitación diferenciada por perfiles de usuario y despliegue controlado en producción. Durante todo el ciclo de desarrollo se mantuvo una colaboración estrecha con patólogos, personal técnico y personal administrativo, asegurando que cada funcionalidad implementada respondiera efectivamente a las necesidades operativas reales y se integrara de manera natural en los flujos de trabajo existentes.

El sistema desarrollado integró funcionalidades esenciales para la operación del laboratorio: un módulo de ingreso y recepción de muestras que permite el registro detallado de información del paciente y la generación automática de identificadores únicos de trazabilidad; un módulo de gestión de casos actuales que facilita el seguimiento en tiempo real del estado de cada muestra a través de las diferentes etapas del proceso diagnóstico; un módulo de consulta de casos históricos con capacidades de búsqueda avanzada por múltiples criterios; y un módulo de emisión

de informes diagnósticos en formato digital certificado con estructura estandarizada. La implementación técnica se realizó utilizando tecnologías web modernas que garantizan compatibilidad multiplataforma, accesibilidad desde cualquier dispositivo con navegador web y capacidad de integración futura con otros sistemas institucionales .

Todo el desarrollo del proyecto se realizó en estricto cumplimiento del marco normativo colombiano aplicable al sector salud, atendiendo los lineamientos establecidos en la Ley 1438 de 2011 sobre fortalecimiento del Sistema General de Seguridad Social en Salud, la Resolución 1995 de 1999 sobre manejo de historias clínicas, y especialmente la Resolución 3100 de 2019 del Ministerio de Salud que define los requisitos específicos sobre sistemas de información, gestión documental, trazabilidad e integridad de resultados en laboratorios clínicos y de patología. Asimismo, se incorporaron los principios de la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales, implementando mecanismos robustos de autenticación, autorización basada en roles, registro de auditoría completo y cifrado de información sensible. El diseño del sistema también consideró estándares internacionales como ISO 15189 para laboratorios clínicos y principios de seguridad informática alineados con ISO 27001 [5, 6].

Los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios. Se logró implementar un sistema funcional, estable y validado por los usuarios que centralizó y digitalizó completamente la gestión de información del laboratorio. El LIS desarrollado automatizó procesos críticos que previamente se realizaban de forma manual, reduciendo significativamente la duplicidad de registros, los errores de transcripción y los tiempos de respuesta en la entrega de resultados diagnósticos. La trazabilidad completa de muestras desde su ingreso hasta la emisión del informe final mejoró sustancialmente la calidad del servicio y redujo los riesgos asociados a pérdidas de información o confusión de muestras. La capacidad de consulta rápida de casos históricos facilitó estudios comparativos y mejoró la capacidad diagnóstica del equipo médico, mientras que la generación automatizada de informes en formato digital certificado modernizó la presentación de resultados y facilitó su distribución a las entidades solicitantes.

Desde una perspectiva estratégica, este proyecto es una senda clara de modernización tecnológica sostenible, escalable y segura. El sistema implementado no solo resolvió las problemáticas operativas inmediatas, sino que también estableció una base tecnológica sólida para futuras ampliaciones funcionales e integraciones con otros sistemas institucionales, tales como el sistema de información hospitalaria, plataformas de historia clínica electrónica, sistemas de facturación o repositorios institucionales de investigación. La arquitectura modular y las buenas prácticas de desarrollo aplicadas garantizan que el sistema pueda evolucionar conforme a las necesidades cambiantes del laboratorio sin requerir rediseños estructurales.

El presente informe documenta de manera detallada el trabajo realizado durante esta práctica académica. Se describen los fundamentos teóricos que sustentan los sistemas de información para laboratorios de patología, la metodología empleada para el desarrollo del proyecto, los requerimientos funcionales y no funcionales identificados, las decisiones de diseño e implementación técnica adoptadas, los resultados obtenidos y su análisis, así como las conclusiones derivadas de la experiencia y las recomendaciones para la evolución futura del sistema.

## II. OBJETIVOS

### *A. Objetivo general*

Desarrollar un sistema de información para el laboratorio de patología de la Unión temporal LIME accesible y escalable.

### *B. Objetivos específicos*

- Identificar las necesidades en sistemas de información que tiene actualmente el laboratorio de patología por medio de levantamiento de requisitos de software.
- Diseñar una metodología de trabajo y solución de los requisitos de software identificados.
- Desarrollar un aplicativo que supla las necesidades actuales que tiene el laboratorio de patología.
- Desplegar y validar el sistema de información desarrollado para su uso.

### III. MARCO TEÓRICO

Los Sistemas de Información de Laboratorio (LIS) constituyen plataformas tecnológicas especializadas diseñadas para gestionar integralmente el ciclo diagnóstico en laboratorios de patología. Estos sistemas han evolucionado significativamente desde simples registros digitales hasta convertirse en herramientas complejas que integran gestión de datos, automatización de flujos de trabajo, análisis en tiempo real y cumplimiento normativo [7]. Un LIS moderno abarca el proceso completo desde la recepción de la muestra biológica, pasando por todas las etapas de procesamiento histotécnico (fijación, inclusión, corte, tinción) y análisis microscópico, hasta la emisión, certificación y archivo del informe diagnóstico final. Esta gestión se sustenta en una arquitectura centralizada mediante una base de datos conectada a un servidor central, que articula módulos técnicos (registro de muestras, seguimiento de procesos, emisión de resultados) con módulos administrativos (control de calidad, gestión de recursos, cumplimiento normativo, reportes gerenciales).

En este contexto, es indispensable que los sistemas modernos incorporen capacidades avanzadas de análisis mediante dashboards interactivos que presentan indicadores operacionales en tiempo real: tiempos de procesamiento por tipo de muestra, volúmenes de trabajo por especialista, índices de rechazo o requerimiento de estudios complementarios, y registros de incidencias o no conformidades. Esta capacidad de medición continua facilita la implementación de ciclos de mejora continua basados en metodologías como Lean o Six Sigma, y proporciona información objetiva para decisiones estratégicas sobre asignación de recursos, capacitación de personal o inversión en equipamiento [8].

Debido a esto, los LIS han dejado de ser herramientas opcionales de apoyo administrativo para convertirse en el eje operativo central que integra los procesos clínicos, técnicos, de calidad y de investigación, permitiendo que laboratorios modernos ofrezcan diagnósticos precisos, oportunos y respaldados por trazabilidad completa, cumpliendo con estándares cada vez más exigentes de calidad y seguridad del paciente.

### *A. Análisis Comparativo de Soluciones LIS Comerciales*

Para contextualizar adecuadamente las decisiones de diseño e implementación de sistemas de información para laboratorios de patología, resulta pertinente analizar las características de las principales plataformas LIS comerciales disponibles en el mercado global, que representan el estado del arte en esta tecnología:

**SpeedsPath** es una solución integral para patología anatómica que automatiza el flujo completo de trabajo, desde recepción de muestras hasta generación de informes y facturación. Integra escáneres digitales para digitalización de láminas histológicas, módulos de inmunohistoquímica y biología molecular, y soporte para inteligencia artificial en detección de patrones y cuantificación de biomarcadores. Su arquitectura cloud (SaaS) permite acceso desde cualquier dispositivo sin infraestructura local, con cumplimiento de estándares [9].

**LabWare LIMS** es una solución de gestión de información de laboratorio reconocida mundialmente por su versatilidad y alta configurabilidad. Aunque no es exclusivamente para patología, su capacidad de personalización le permite adaptarse a flujos de trabajo específicos de laboratorios de patología. La plataforma permite integrar instrumentación de laboratorio mediante conexión bidireccional directa o APIs, facilitando la captura automática de datos desde equipos de procesamiento histológico, lectores de placas de inmunohistoquímica, escáneres digitales y sistemas de imágenes. Su arquitectura flexible soporta múltiples modelos de despliegue: en la nube pública, en servidores locales (on-premise), o configuraciones híbridas, adaptándose a las políticas de seguridad y soberanía de datos de cada institución [10].

**LabLynx Pathology LIMS** es una solución específicamente diseñada para laboratorios de patología diagnóstica que combina robustez operativa con enfoque en cumplimiento normativo. Su núcleo funcional incluye seguimiento exhaustivo de muestras mediante códigos de barras que se imprimen automáticamente en el momento del registro, control completo de la cadena de custodia con registros de cada transferencia o manipulación, generación automatizada

de informes clínicos utilizando plantillas estructuradas con campos obligatorios y opcionales, y dashboards operacionales configurables que presentan métricas en tiempo real sobre productividad, tiempos de respuesta, carga de trabajo por patólogo y casos pendientes. Su arquitectura escalable lo hace apropiado para laboratorios de alto volumen que requieren disponibilidad continua y transparencia total en sus registros para inspecciones regulatorias o procesos de acreditación [11].

Estas tres plataformas representan soluciones consolidadas que ejemplifican las capacidades avanzadas que caracterizan a los LIS de patología más utilizados a nivel global. Sin embargo, desde la perspectiva de laboratorios académicos o instituciones con restricciones presupuestales, presentan limitaciones significativas. En primer lugar, el costo de adquisición de licencias y los modelos de suscripción mensual o anual representan inversiones considerables. Segundo, aunque se promocionan como configurables, la adaptación de estas plataformas a flujos de trabajo específicos suele requerir servicios de consultoría especializada costosos y prolongados. Tercero, muchas de estas soluciones están optimizadas para laboratorios comerciales de alto volumen con modelos de negocio enfocados en facturación y rentabilidad, mientras que los laboratorios académicos tienen necesidades adicionales relacionadas con docencia, investigación y formación de residentes que no siempre están contempladas.

Finalmente, las restricciones de soberanía de datos y la preferencia por soluciones implementadas en infraestructura local pueden ser incompatibles con arquitecturas exclusivamente cloud de algunos proveedores. Estos factores refuerzan la relevancia de desarrollar o adaptar sistemas personalizados que respondan específicamente a necesidades, capacidades técnicas y restricciones institucionales particulares.

### *B. Marco Normativo para Sistemas de Información en Salud*

El desarrollo e implementación de sistemas de información en el sector salud debe estar rigurosamente alineado con un marco normativo complejo y exigente que busca garantizar la

calidad técnica de los servicios, la protección de datos sensibles de los pacientes y la interoperabilidad entre sistemas. En el contexto colombiano, este marco se construye a partir de múltiples instrumentos legales y regulatorios que establecen obligaciones específicas para los prestadores de servicios de salud y sus plataformas tecnológicas.

**La Resolución 3100 de 2019 del Ministerio de Salud y Protección Social** es la norma que regula los procedimientos y condiciones para la inscripción de prestadores y la habilitación de servicios de salud. Establece los requisitos mínimos que deben cumplir los laboratorios clínicos y de patología, incluyendo componentes relacionados con los sistemas de información. Entre estos se destacan la gestión digital de los procesos asistenciales, la conservación y confidencialidad de los registros clínicos, la trazabilidad completa de muestras y procedimientos, los controles para prevenir alteraciones no autorizadas de resultados y la capacidad de generar reportes para auditorías y control de calidad. Los laboratorios de patología deben garantizar que sus sistemas produzcan informes diagnósticos estructurados y certificados, con registros históricos accesibles durante los plazos legales y con información trazable para fines clínicos o epidemiológicos cuando sea requerida [6].

**La Ley 1581 de 2012, reglamentada por el Decreto 1377 de 2013** y normas complementarias, establece disposiciones sobre la protección de datos personales, imponiendo obligaciones estrictas en el tratamiento de la información clínica, considerada dato sensible con protección reforzada. Los sistemas de información en salud deben adoptar políticas y controles técnicos que aseguren la obtención del consentimiento informado, la autenticación de usuarios, el control de acceso basado en roles (RBAC), y la trazabilidad de todas las acciones mediante registros de auditoría inmutables [12].

Este marco normativo multidimensional que combina regulaciones nacionales específicas del sector salud con principios de protección de datos y estándares internacionales de calidad establece parámetros de diseño fundamentales para sistemas de información de laboratorio,

asegurando no solo la funcionalidad operativa sino también el cumplimiento legal que habilita a los laboratorios para operar y eventualmente buscar procesos de acreditación.

### *C. Arquitectura Tecnológica de Sistemas de Información de Laboratorio*

El desarrollo de un Sistema de Información de Laboratorio moderno requiere una arquitectura tecnológica sólida, fundamentada en principios arquitectónicos que garanticen escalabilidad (capacidad de crecer sin degradación de rendimiento), modularidad (componentes independientes y reutilizables), mantenibilidad (facilidad para realizar cambios y correcciones), y seguridad por diseño (protección incorporada desde las etapas iniciales de desarrollo). La arquitectura multicapa constituye el paradigma predominante para este tipo de sistemas, integrando componentes tecnológicos especializados que actúan en sinergia para gestionar el flujo completo de información desde la recepción de muestras hasta la entrega de informes diagnósticos.

Como primera sección, **la capa de presentación** constituye el punto de contacto directo entre los usuarios y el sistema, por lo que su diseño resulta crítico para la adopción y eficiencia operativa. Las tecnologías web modernas como frameworks JavaScript (React, Vue.js, Angular) permiten desarrollar interfaces dinámicas, responsivas (adaptables a diferentes tamaños de pantalla) y basadas en componentes reutilizables que se actualizan eficientemente cuando los datos cambian, proporcionando una experiencia fluida similar a aplicaciones de escritorio nativas [13].

Por otro lado, **la capa de lógica de negocio**, el backend constituye el núcleo funcional del sistema, donde se implementan las reglas de negocio específicas del dominio de la patología anatómica. Esta capa intermedia orquesta las interacciones entre la interfaz de usuario y la base de datos, ejecutando validaciones, transformaciones de datos, control de flujos de trabajo y aplicación de políticas de seguridad. Tecnologías como Node.js con Express o Python con Django permiten desarrollar aplicaciones escalables capaces de manejar eficientemente múltiples

solicitudes concurrentes característica crítica en un laboratorio donde varios usuarios pueden estar registrando, consultando o modificando información simultáneamente [14].

La arquitectura del backend típicamente se estructura siguiendo principios de separación de responsabilidades, organizando el código en capas funcionales: controladores que reciben y responden solicitudes HTTP, servicios que contienen la lógica de negocio compleja, repositorios que abstraen el acceso a datos, y middlewares que implementan funcionalidades transversales como autenticación, validación de entrada y manejo de errores. Esta organización modular facilita el mantenimiento, las pruebas unitarias y la evolución futura del sistema.

**Capa de Datos**, debe manejar la complejidad de información heterogénea generada en un laboratorio de patología: datos estructurados altamente normalizados (identificación de pacientes, numeración de casos, fechas, códigos diagnósticos, resultados numéricos de técnicas cuantitativas) y datos no estructurados o semi-estructurados (imágenes histológicas de alta resolución, informes diagnósticos narrativos, documentos adjuntos como órdenes médicas escaneadas, fotografías macroscópicas).

Para cumplir con esto, sistemas de gestión de bases de datos relacionales como PostgreSQL o MySQL son apropiados para datos estructurados, garantizando integridad referencial mediante esquemas normalizados que definen entidades (Pacientes, Muestras, Casos, Bloques, Láminas, Diagnósticos, Usuarios) con sus relaciones y restricciones. Estos sistemas ofrecen características avanzadas como tipos de datos complejos, índices especializados para búsquedas de texto completo, extensibilidad mediante funciones personalizadas, y cumplimiento estricto de ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento, Durabilidad) que garantiza la integridad transaccional.

Por su parte, MongoDB ofrece una alternativa óptima para el manejo de datos no estructurados o de estructura variable, gracias a su modelo documental basado en BSON (Binary JSON). Esta base de datos NoSQL permite almacenar en un mismo repositorio información

heterogénea como informes narrativos, resultados semiestructurados, archivos de metadatos y vínculos a imágenes histológicas de gran tamaño. Su flexibilidad esquemática facilita la integración con sistemas de adquisición digital y plataformas de análisis basadas en inteligencia artificial, al tiempo que conserva mecanismos de indexación eficientes, replicación para alta disponibilidad y consistencia eventual mediante transacciones multi-documento. En un enfoque híbrido, MongoDB puede coexistir con una base relacional, centralizando los datos clínicos estructurados y complementando con almacenamiento ágil y escalable para la información multimedia y descriptiva propia del laboratorio de patología [15].

La **infraestructura tecnológica** determina aspectos críticos como disponibilidad, rendimiento, escalabilidad y costos operativos. Los entornos de cloud computing ofrecidos por proveedores como Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform y Microsoft Azure proporcionan servicios gestionados que simplifican significativamente la operación: bases de datos relacionales como servicio (RDS) que incluyen respaldos automáticos, replicación y parches de seguridad; redes privadas virtuales (VPN) que permiten conectar infraestructura local con recursos cloud de forma segura; servicios de identidad y acceso (IAM) para control granular de permisos; y certificaciones de cumplimiento con múltiples estándares internacionales de seguridad (ISO 27001, SOC 2, HIPAA) que facilitan auditorías [16].

En este mismo contexto, el desarrollo profesional de software requiere herramientas y prácticas que garanticen calidad, trazabilidad y colaboración efectiva. Los sistemas de control de versiones como Git permiten rastrear cambios en el código fuente, identificar quién hizo qué modificación y cuándo, y revertir cambios problemáticos si es necesario [17]. Plataformas colaborativas como GitHub proporcionan no sólo almacenamiento de código fuente, sino un ecosistema completo de desarrollo: gestión de issues (tickets) para seguimiento de errores y solicitudes de funcionalidades, pull requests para revisión de código antes de integrar cambios, wiki para documentación técnica, y releases para gestión de versiones publicadas.

La protección de la información clínica sensible requiere una estrategia integral que combine autenticación segura, control de accesos, cifrado y monitoreo continuo. La autenticación debe validar la identidad de los usuarios mediante credenciales robustas y, preferiblemente, autenticación multifactor (MFA). El control de acceso basado en roles (RBAC) asigna permisos según las funciones específicas de cada usuario, limitando operaciones a su ámbito de responsabilidad. El cifrado protege los datos tanto en tránsito, mediante protocolos TLS/SSL, como en reposo, aplicando técnicas seguras de almacenamiento como el uso de hashes criptográficos (bcrypt o Argon2) para contraseñas. Los registros de auditoría documentan todas las acciones relevantes usuario, hora, dirección IP y tipo de operación, lo que permite rastrear incidentes y garantizar trazabilidad. Finalmente, las herramientas SIEM (Security Information and Event Management) integran y analizan los logs para detectar comportamientos anómalos o intentos de acceso no autorizado, generando alertas preventivas ante posibles amenazas [18, 19].

La arquitectura orientada a servicios (SOA) organiza el sistema como un conjunto de servicios independientes que se comunican mediante interfaces bien definidas, típicamente APIs RESTful (Representational State Transfer). Este enfoque permite que cada componente pueda evolucionar, probarse y desplegarse de forma independiente, facilitando mantenimiento y extensibilidad. Las APIs exponen funcionalidades del sistema de manera controlada y segura, permitiendo futuras integraciones con sistemas externos como sistemas de información hospitalaria (HIS), plataformas de historia clínica electrónica (EHR), sistemas de facturación o repositorios institucionales de investigación [20].

Esta integración armónica de componentes tecnológicos, guiada por principios arquitectónicos sólidos, no solo permite automatizar procesos operativos críticos del laboratorio reduciendo significativamente carga administrativa manual y errores humanos, sino que habilita capacidades nuevas: análisis avanzado de datos mediante estadísticas en tiempo real, consultas complejas multi-criterio sobre información histórica para investigación clínica, trazabilidad exhaustiva para auditorías de calidad, y preparación para futuras integraciones institucionales mediante APIs estandarizadas que pueden exponerse de forma controlada y segura.

## IV. METODOLOGÍA

El desarrollo del Sistema de Información de Laboratorio (LIS) WEB-PathSys para el Laboratorio de Patología de la UT LIME se fundamentó en una metodología ágil de tipo iterativa e incremental, específicamente adaptada para entornos clínicos y de investigación médica [21]. Esta aproximación metodológica permitió avanzar en ciclos cortos de diseño, desarrollo y validación continua con los usuarios finales, facilitando la incorporación progresiva de funcionalidades complejas mientras se ajustaba cada módulo según las necesidades reales del entorno clínico y administrativo.

### **Fase 1. Análisis exhaustivo de requerimientos y levantamiento de información**

La metodología adoptada se caracterizó por su enfoque centrado en el usuario, la trazabilidad completa de los procesos, la documentación exhaustiva en cada etapa, y la retroalimentación directa y constante de los profesionales del laboratorio. Este marco de trabajo garantizó no solo la calidad técnica del producto final, sino también su aceptación y adopción efectiva por parte de los usuarios en un entorno crítico como el laboratorio de patología.

El proceso metodológico inició con una fase de análisis profundo y sistemático orientado a comprender integralmente el funcionamiento operativo del Laboratorio de Patología. Esta etapa se estructuró en múltiples actividades complementarias que permitieron obtener una visión del entorno de trabajo.

#### *1.1 Observación y análisis de flujos de trabajo*

Se implementó un programa de visitas periódicas durante cinco meses, con sesiones de observación destinadas a capturar la variabilidad operativa. Durante estas visitas se

documentaron los flujos de trabajo existentes y se identificaron los puntos críticos que afectaban la eficiencia en la gestión de muestras y la elaboración de informes.

El proceso de observación permite mapear el ciclo completo de vida de una muestra, desde su recepción inicial hasta la emisión del diagnóstico final, incluyendo: el proceso de registro y etiquetado, los procedimientos de preparación histológica, los protocolos de tinción y análisis microscópico, la elaboración de informes diagnósticos, y los mecanismos de archivo y consulta de casos históricos.

### *1.2 Investigación cualitativa*

Se diseñó e implementó un programa de entrevistas semiestructuradas con todos los actores involucrados en el proceso, incluyendo patólogos, residentes de patología, personal administrativo, y personal de facturación. Cada entrevista tuvo una duración promedio de 60 minutos y se estructuró en torno a ejes temáticos específicos según el rol del entrevistado. Las entrevistas se complementaron con sesiones de *focus groups* que permitieron identificar necesidades transversales y puntos de consenso entre diferentes roles. Este diálogo estructurado reveló problemas sistémicos como la duplicidad de registros, la dificultad para consultar resultados anteriores, la falta de trazabilidad entre la muestra y el informe final, y la ausencia de métricas de rendimiento y calidad.

### *1.3 Análisis de documentación y procesos existentes*

Se realizó una auditoría exhaustiva de la documentación existente, incluyendo protocolos operativos, formatos de registro, sistemas de codificación utilizados, y procedimientos de control de calidad. Esta revisión permite identificar las mejores prácticas ya establecidas que debían preservarse en el nuevo sistema.

## **Fase 2. Proceso de selección del stack tecnológico**

Antes de iniciar el desarrollo, se realizó una fase dedicada a definir cómo elegir las tecnologías más adecuadas para la arquitectura del sistema que se deseaba construir. El objetivo fue asegurar que cada herramienta respondiera a las necesidades clínicas, operativas y de crecimiento del proyecto.

### *2.1 Identificación de la arquitectura objetivo*

El primer paso consistió en definir el tipo de arquitectura que se implementaría: un sistema modular, escalable, basado en servicios y accesible a través de una aplicación web. Esto permitió establecer qué componentes tecnológicos serían necesarios: un backend para gestionar la lógica de negocio, un frontend para la interfaz de usuario, una base de datos para almacenar información clínica y herramientas de despliegue y documentación.

### *2.2 Definición de criterios de selección*

Una vez establecida la arquitectura objetivo, se definieron los criterios para escoger las tecnologías. Los principales fueron:

- Capacidad en el manejo de grandes volúmenes de datos.
- Interoperabilidad con otros sistemas institucionales.
- Modularidad para permitir una estructura de componentes independientes y escalables.
- Uso generalizado entre desarrolladores y amplia disponibilidad de programadores capacitados.
- Flexibilidad para adaptarse a nuevas funcionalidades y necesidades futuras.

Esta evaluación permitió identificar qué tecnologías se ajustaban mejor a las exigencias del laboratorio y a la arquitectura deseada.

### *2.3 Validación mediante pruebas pequeñas*

Antes de tomar una decisión, se realizaron pequeñas pruebas o prototipos para verificar:

- El rendimiento de cada tecnología en procesos típicos del laboratorio.
- La facilidad para implementar la lógica de negocio.
- La calidad de las herramientas de seguridad y control.

Estas pruebas permitieron confirmar qué alternativas ofrecían un mejor comportamiento en la práctica.

### *2.5 Selección final*

Finalmente, con los resultados de la evaluación y las pruebas, se seleccionan las tecnologías más adecuadas para construir un sistema alineado con la arquitectura planteada. La selección se basó en evidencia técnica y en su capacidad de ofrecer soporte sólido al sistema en el largo plazo.

## **Fase 3. Desarrollo ágil e Implementación iterativa**

Una vez conocidas las necesidades del sistema se inició la etapa de desarrollo ágil, caracterizada por la implementación iterativa e incremental de funcionalidades. Esta fase se estructuró siguiendo principios de desarrollo ágil adaptados específicamente para el contexto de sistemas de información clínicos.

### *3.1 Configuración del entorno de desarrollo colaborativo*

Se estableció un entorno de desarrollo robusto y controlado utilizando GitHub como plataforma central de colaboración. La configuración incluyó:

- Repositorio principal con estructura modular clara.
- Branching strategy basado en GitFlow para gestión de versiones.
- Continuous Integration con GitHub Actions para automatización de pruebas.
- Documentación del proyecto usando Docsaurus.

### 3.2 Metodología de sprints y desarrollo iterativo

El proceso de implementación se organizó en sprints de 1 ó 2 semanas, cada uno dedicado a un conjunto específico de funcionalidades relacionadas. La estructura de cada sprint incluyó:

Definición de objetivos, estimación de tareas, y asignación de responsabilidades  
Implementación de funcionalidades con *pair programming* cuando era necesario. Pruebas unitarias, de integración, y validación con usuarios. Demostración de funcionalidades completadas a *stakeholders*  
*Sprint Retrospective*: Análisis de mejoras para el siguiente sprint

### 3.3 Desarrollo del backend - API RESTful

El desarrollo del backend se orientó a la creación de una API RESTful robusta, escalable y bien documentada, concebida como la columna vertebral del sistema de información. Este componente se diseñó bajo principios de arquitectura limpia y modular, garantizando la separación de responsabilidades y facilitando su mantenimiento y futura expansión. En esta fase, se estructuraron los módulos principales del sistema autenticación, gestión de pacientes, casos, informes, estadísticas y soporte, cada uno con su propio conjunto de modelos, controladores y rutas, lo que permite una comunicación clara entre los distintos servicios.

Se definieron mecanismos de validación de datos clínicos, control de errores centralizado y registro detallado de eventos para asegurar la integridad, trazabilidad y confiabilidad de la información procesada. Además, se planificó la documentación automática de los endpoints, conforme al estándar OpenAPI, para garantizar la interoperabilidad con otros sistemas institucionales.

Uno de los aspectos clave fue la implementación de mecanismos de validación y control de calidad de datos, garantizando que toda la información clínica ingresada al sistema cumpla con los formatos, restricciones y relaciones definidos durante el levantamiento de requerimientos.

Esta validación se realiza tanto a nivel de entrada de datos como en la comunicación entre servicios, minimizando errores de digitación o inconsistencias en los registros.

La documentación automática de la API fue concebida como parte fundamental del proceso de desarrollo. Cada endpoint fue definido con descripciones claras de sus parámetros, respuestas y posibles errores, siguiendo estándares internacionales (como OpenAPI). Esta documentación facilita la comprensión del funcionamiento del sistema tanto para desarrolladores futuros como para equipos técnicos de la institución que deseen integrar nuevos servicios o automatizar flujos de trabajo.

Finalmente, el backend fue diseñado con una capa de seguridad integral, incluyendo autenticación, autorización y validación de permisos según los roles definidos en el sistema. Este modelo de control de acceso garantiza que cada usuario solo pueda realizar las acciones que le corresponden según su función dentro del laboratorio, reforzando la protección de datos personales y clínicos.

### *3.4 Desarrollo del frontend - interfaz de usuario*

El desarrollo del frontend se enfocó en crear una interfaz intuitiva y responsiva que facilitara el trabajo diario de los profesionales del laboratorio. Para lograr este objetivo, se implementó una arquitectura robusta basada en componentes reutilizables desarrollados con Vue.js siguiendo los principios de *atomic design*, lo que permitió crear una librería coherente y mantenible de elementos de interfaz que se pueden combinar para formar interfaces complejas. La gestión del estado de la aplicación se manejó mediante la implementación de stores Pinia, proporcionando un manejo eficiente del estado global que permite sincronizar datos entre diferentes componentes y vistas de manera reactiva.

El sistema de navegación se diseñó con un routing inteligente que incluye guards de autenticación y autorización basada en roles, asegurando que cada usuario acceda únicamente a

las funcionalidades correspondientes a su nivel de permisos. Esta implementación proporciona una experiencia de usuario segura y personalizada según el rol del profesional en el laboratorio.

La interfaz se desarrolló con un diseño completamente responsivo que se adapta óptimamente a diferentes dispositivos, incluyendo desktop, tablet y móvil. Esta adaptabilidad permite que los profesionales del laboratorio puedan acceder al sistema desde cualquier dispositivo sin comprometer la funcionalidad o la experiencia de usuario.

#### **Fase 4. Fase de testing y capacitación**

Se ejecutó un programa sistemático de pruebas que validó todas las funcionalidades principales del sistema, incluyendo registro de pacientes, gestión de casos, generación de informes y administración de usuarios. Las pruebas de integración verificaron la comunicación entre frontend y backend, mientras que las evaluaciones de rendimiento midieron la respuesta del sistema bajo múltiples usuarios concurrentes.

##### *4.1 Validación de procesos y flujos de trabajo*

Los profesionales del laboratorio ejecutaron sus tareas habituales utilizando el sistema: patólogos realizaron revisión de casos y firma digital de informes, residentes manejaron ingreso de casos y seguimiento de asignaciones, técnicos gestionaron registro de muestras y actualización de estados, y personal administrativo ejecutó registro de pacientes y generación de reportes estadísticos.

##### *4.2 Recolección y análisis de feedback*

Se implementó un sistema desestructurado que incluyó preguntas de satisfacción para profundizar en la experiencia de usuario, recolección automática de métricas de uso como tiempos de completación y patrones de navegación, y un sistema formal de tickets para documentar bugs y solicitudes de mejora.

### *4.3 Iteración y refinamiento*

Se ejecutó un ciclo de mejora continua que incluyó la priorización de observaciones según impacto, frecuencia y esfuerzo de implementación, desarrollo e implementación de ajustes críticos en interfaz y rendimiento, re-testing con los usuarios que reportaron problemas originales, y detallada de todas las modificaciones realizadas y su impacto en la funcionalidad del sistema.

## **Fase 5. Despliegue y puesta en producción**

El entorno de producción se estableció en servidores en la nube mediante contenedorización con Docker, garantizando despliegues consistentes, escalabilidad y aislamiento de entornos. Se configuraron servicios de monitoreo en tiempo real que permiten supervisar el rendimiento general del sistema, detectar cuellos de botella y registrar métricas de uso. Los protocolos de seguridad implementados incluyen el uso de certificados SSL para comunicaciones cifradas, configuración de firewalls de nivel de aplicación y políticas estrictas de control de acceso basadas en roles.

### *5.1 Implementación gradual y rollout controlado*

La implementación siguió un enfoque gradual para reducir riesgos y garantizar la adopción progresiva por parte de los usuarios. Se inició con una fase piloto dirigida a patólogos y técnicos experimentados, quienes validaron la estabilidad del sistema y reportaron incidencias. Posteriormente, se amplió el despliegue al resto del personal, manteniendo temporalmente el sistema heredado como respaldo. Una vez verificada la operación estable y la satisfacción del usuario, se migró por completo a la nueva plataforma.

### *5.2 Evaluación post-Implementación y mejora continua*

Se establecen métricas para monitorear adopción de usuarios y rendimiento del sistema. Un mecanismo permanente de retroalimentación captura sugerencias y mejoras a través de

múltiples canales. Las actualizaciones mensuales incorporan la retroalimentación del usuario, mientras que la documentación detallada registra las lecciones aprendidas para futuras implementaciones.

### *5.3 Pruebas de seguridad y cumplimiento normativo*

Antes del despliegue final, se realizaron pruebas de seguridad orientadas a validar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos almacenados. Estas pruebas incluyeron simulaciones de ataques comunes (como inyección, escalamiento de privilegios y exposición de datos), validando la correcta implementación de los mecanismos de autenticación y autorización.

Además, se llevó a cabo una verificación de cumplimiento normativo de acuerdo con los lineamientos de la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales y la Resolución 1995 de 1999 en lo referente al manejo de historias clínicas electrónicas [5, 6].

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### **1. Identificación de las necesidades y levantamiento de requerimientos**

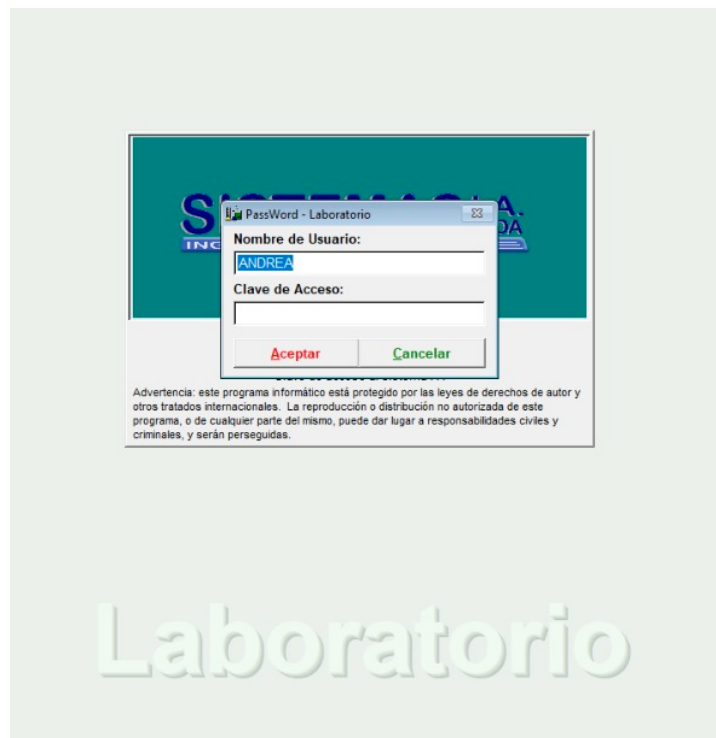
El proceso de levantamiento de requerimientos permitió identificar un conjunto de problemáticas estructurales que afectaban la eficiencia operativa, la trazabilidad y la seguridad de la información en el Laboratorio de Patología. Toda la información recopilada se consolidó en un documento de especificación de requerimientos funcionales y no funcionales, estructurado según estándares internacionales de ingeniería de software. Se definieron 47 requerimientos funcionales principales y 19 requerimientos no funcionales, cada uno con criterios de aceptación específicos y métricas de validación. Estas problemáticas se documentaron a partir del análisis de los flujos de trabajo observados, entrevistas con el personal, revisión de documentos físicos y exploración del sistema de información previo, el cual es un software de escritorio de uso interno, desarrollado aproximadamente en 2003.

Cada hallazgo fue contrastado con evidencia visual (capturas del sistema, formularios en papel y registros administrativos) y con base en esto se creó el documento de Requerimientos

funcionales y no funcionales del nuevo Sistema de Información de Laboratorio. A Continuación se presentan algunos de los hallazgos más críticos encontrados en el proceso.

#### *A. Limitaciones en la gestión de acceso y autenticación*

El sistema heredado carecía de un mecanismo robusto para el control de acceso de usuarios. El ingreso se realizaba mediante credenciales locales, sin validación en red ni restricciones de permisos según el rol del usuario (Figura 1). Tampoco se disponía de bitácoras que registraran la actividad individual ni de mecanismos de auditoría que permitieran rastrear acciones críticas, como la modificación de datos, la eliminación de registros o la generación de informes.



*Fig. 1. Interfaz de inicio de sesión anterior.*

Durante el análisis se evidenció que cualquier usuario con acceso físico al equipo podía ingresar al sistema y ejecutar operaciones sensibles sin que estas quedaran asociadas a su identidad digital. Esta situación representaba un riesgo significativo para la integridad de la

información clínica y administrativa, especialmente en un entorno donde la trazabilidad es un requisito fundamental para garantizar la validez de los resultados diagnósticos.

### *B. Falencias en el registro y trazabilidad de muestras*

Uno de los hallazgos más relevantes fue la falta de coherencia entre los registros físicos y digitales de las muestras, así como la ausencia de mecanismos que garantizaran la integridad y consistencia de la información a lo largo del flujo de trabajo. En el sistema anterior, la información de ingreso se consignaba parcialmente en la plataforma (Figura 2) y parcialmente en formularios en papel, lo que generaba una alta probabilidad de duplicidad de datos, errores de transcripción y dificultades para vincular una muestra con su diagnóstico final. Esta fragmentación provocaba discrepancias entre la base de datos digital y los registros manuales, afectando la trazabilidad y la confiabilidad de los resultados.

Durante las observaciones realizadas se constató que el flujo de trabajo no garantizaba una continuidad informativa desde la recepción de la muestra hasta la emisión del informe final. Las muestras eran etiquetadas de manera manual y, en ocasiones, la numeración o los códigos de identificación no coincidían con los registrados en el sistema. Este proceso dependía en gran medida de la atención del personal y carecía de validaciones automáticas que impidieran la introducción de datos erróneos o duplicados. No existía ningún tipo de restricción frente a errores comunes, como la omisión de campos obligatorios, la repetición de códigos de muestra o la alteración de información crítica una vez ingresada al sistema.

*Fig. 2. Interfaz de ingreso de nuevo caso en el software anterior.*

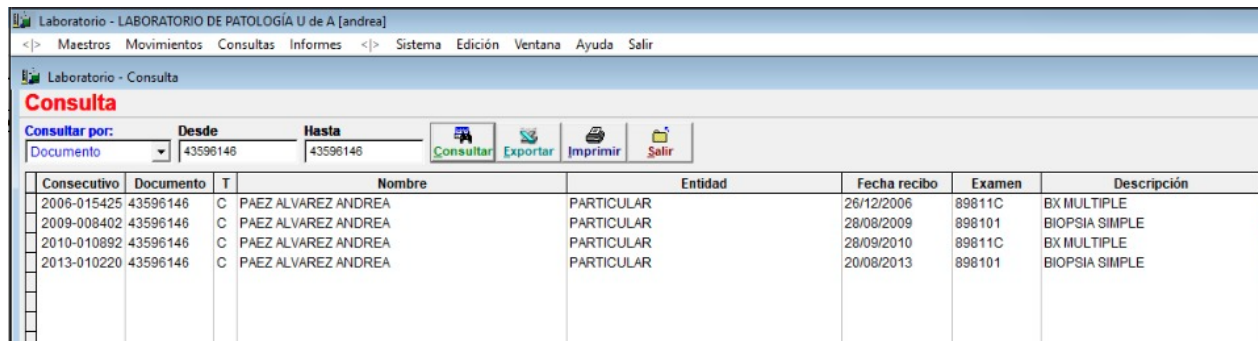
Adicionalmente, se identificó que el sistema permitía modificar o eliminar datos de las muestras incluso después de haber sido registradas, sin dejar evidencia del cambio ni mantener versiones anteriores. Esta carencia de control de edición aumentaba el riesgo de pérdida de información o de alteraciones involuntarias que pasaban inadvertidas, afectando la trazabilidad del proceso. A ello se sumaba un bajo nivel de retroalimentación por parte de la interfaz: ante errores de ingreso o inconsistencias, el sistema no emitía alertas ni mensajes claros, lo que dificultaba la detección temprana de fallos por parte de los usuarios.

Como consecuencia, los errores de digitación y la falta de control de cambios generaban demoras, reprocesos y pérdida de tiempo en la verificación manual de registros, especialmente en los días de alta carga de trabajo. Estas deficiencias no sólo comprometían la eficiencia operativa del laboratorio, sino también la calidad diagnóstica y la posibilidad de responder adecuadamente a auditorías de control o procesos de acreditación.

A partir de este diagnóstico, se formuló el requerimiento de gestión integral y controlada de muestras, el cual establece un flujo digital continuo que cubre el ciclo de vida completo del espécimen: desde su ingreso y codificación, hasta el procesamiento, diagnóstico y archivo final. Limitaciones en la consulta y búsqueda de casos históricos

Otra de las problemáticas más significativas identificadas durante el diagnóstico fue la limitada capacidad del sistema para ofrecer información detallada y actualizada sobre los casos

procesados. Si bien la plataforma contaba con un módulo de búsqueda relativamente flexible (Figura 3), capaz de localizar registros a partir de diferentes criterios (como nombre del paciente, número de muestra o fecha de ingreso), los resultados obtenidos eran insuficientes para apoyar el seguimiento o análisis de los casos.



The screenshot shows a web application window titled 'Laboratorio - LABORATORIO DE PATOLOGÍA U de A [andrea]'. The menu bar includes '<> Maestros Movimientos Consultas Informes <|> Sistema Edición Ventana Ayuda Salir'. The main header is 'Laboratorio - Consulta' with a red 'Consulta' button. Below this is a search filter section with 'Consultar por:' set to 'Documento', 'Desde' 43596146, and 'Hasta' 43596146. There are icons for 'Consultar', 'Exportar', 'Imprimir', and 'Salir'. The main content is a table with the following data:

| Consecutivo | Documento | T | Nombre              | Entidad    | Fecha recibo | Examen | Descripción    |
|-------------|-----------|---|---------------------|------------|--------------|--------|----------------|
| 2006-015425 | 43596146  | C | PAEZ ALVAREZ ANDREA | PARTICULAR | 26/12/2006   | 89811C | BX MULTIPLE    |
| 2009-008402 | 43596146  | C | PAEZ ALVAREZ ANDREA | PARTICULAR | 28/08/2009   | 898101 | BIOPSIA SIMPLE |
| 2010-010892 | 43596146  | C | PAEZ ALVAREZ ANDREA | PARTICULAR | 28/09/2010   | 89811C | BX MULTIPLE    |
| 2013-010220 | 43596146  | C | PAEZ ALVAREZ ANDREA | PARTICULAR | 20/08/2013   | 898101 | BIOPSIA SIMPLE |

*Fig. 3. Interfaz anterior para el seguimiento de casos actuales e históricos.*

Las mayores dificultades se presentaban al intentar consultar el estado actual de una muestra o su avance dentro del proceso diagnóstico. El sistema únicamente almacenaba información básica de identificación como el nombre del paciente, el número de caso y la fecha de recepción, sin incluir datos relevantes sobre los resultados intermedios, observaciones del personal técnico ni la etapa en la que se encontraba el espécimen. En consecuencia, los usuarios no podían determinar con precisión si una muestra estaba en procesamiento, pendiente de análisis, en revisión médica o lista para la emisión del informe final.

Esta falta de visibilidad generaba confusión operativa y retrasos, especialmente cuando se requería verificar el progreso de un caso ante consultas internas, auditorías o solicitudes de seguimiento clínico. Los profesionales debían recurrir a registros físicos o a la comunicación directa con otros miembros del equipo para reconstruir el estado de un caso, lo que aumentaba el riesgo de errores, pérdida de tiempo y respuestas incongruentes entre áreas.

Aunque la herramienta de búsqueda ofrecía cierta amplitud en los filtros de consulta, el resultado final era limitado: la interfaz mostraba únicamente datos generales y no brindaba una vista consolidada del historial o las acciones realizadas sobre el caso. En otras palabras, el sistema permitía encontrar casi cualquier registro, pero sin ofrecer información significativa

sobre su contenido o contexto, lo que reducía significativamente su utilidad práctica dentro del flujo de trabajo.

A partir de esta problemática, se estableció la necesidad de desarrollar un módulo avanzado de seguimiento de casos, capaz de integrar tanto la información administrativa como la técnica y diagnóstica en una misma interfaz.

### *C. Dependencia de registros físicos y procesos administrativos manuales.*

Durante la revisión documental y las entrevistas realizadas con el personal administrativo y técnico del laboratorio, se identificó una dependencia crítica del registro en papel para la gestión y el seguimiento de los casos (Figura 4). No solo los procesos administrativos como la recepción de solicitudes, la facturación y la entrega de informes se realizaban en formato físico, sino que también los resultados de los exámenes y las etapas intermedias del proceso diagnóstico eran consignados manualmente en hojas de papel.

Generalmente, esta hoja correspondía a la misma orden de trabajo que acompañaba la muestra desde su ingreso al laboratorio. A medida que el caso avanzaba por las distintas fases: recepción, macroscopia, inclusión, corte, coloración, diagnóstico y archivo, la misma hoja era actualizada por cada área responsable, sirviendo como único medio de trazabilidad. Este procedimiento, aunque funcional en apariencia, resultaba altamente vulnerable, el documento debía desplazarse físicamente entre diferentes secciones del laboratorio, exponiéndose a deterioro, extravío o confusión con otras órdenes en proceso.

Número: F. Nacimiento: 05.01.1985 ORDEN CLÍNICA  
 Sexo: Masculino Edad: 40 Años / Página 1 de 1

UNIDAD PATOLÓGICA DE LA UDEA

Fecha registro: 16.10.2025 Hora Registro: 03:18:59 PM Prioridad: No Urgente

| PRESTACIONES                        |                                                             |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Código                              | Descripción                                                 |
|                                     | ESTUDIO DE COLORACIÓN BÁSICA EN ESPECÍMEN DE RECONOCIMIENTO |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Paciente en ayunas                                          |
|                                     | Consentimiento del Paciente Necesario                       |

| DIAGNÓSTICOS |                       |
|--------------|-----------------------|
| S365         | TRAUMATISMO DEL COLON |

| OBSERVACIÓN          |  |
|----------------------|--|
| Epiplón, peritonitis |  |

Fecha firma: 16.10.2025 Hora firma: 03:18:59 PM  
 Nombre del médico: Registro médico:

Patología  
Epiplón

"Epiplón"  
 Múltiples fragmentos, de aspecto adiposo y hemorrágico color amarillo y pardo; el mayor de 6,8 x 4cm x 1,7cm. Al corte similares características  
 SPPR 1-2: 2F cada uno  
 &

ESTE ES UN REGISTRO REALIZADO EN FORMA ELECTRÓNICA CUYA FIRMA ESTA AL FINAL DE CADA DOCUMENTO

Fig. 4. Ejemplo de orden de caso usada también para llevar en sí el código del caso y los resultados del mismo como único respaldo de esta.

La trazabilidad de la información era, por tanto, deficiente y frágil, ya que la pérdida o daño de una sola hoja (Figura 5) implicaba la desaparición total del registro del caso. Además, al tratarse de un sistema manual, no existían mecanismos que garantizaran la consistencia de la información o la detección de errores en el registro. Cualquier corrección o cambio quedaba sujeto a la legibilidad del documento y al criterio individual del personal, sin un control de versiones ni una verificación automática que asegurara la integridad de los datos.

Esta metodología también dificultaba la comunicación entre las áreas. En momentos de alta carga de trabajo, las hojas con resultados debían ser trasladadas manualmente o retenidas temporalmente, provocando demoras en la continuidad del proceso y, en algunos casos, pérdida de información parcial. Adicionalmente, la revisión de casos antiguos requería buscar físicamente las hojas archivadas, lo cual representaba un consumo considerable de tiempo y un riesgo constante de extravío, especialmente ante auditorías o solicitudes de reanálisis.

Como consecuencia de estas limitaciones, se estableció la necesidad de diseñar e implementar un módulo digital de registro y seguimiento del proceso diagnóstico, que permitiera capturar toda la información de manera centralizada y estructurada.

#### *D. Expedición manual de informes en plantillas básicas de Word*

Otra de las problemáticas críticas identificadas durante el levantamiento de requerimientos fue la expedición manual de los informes anatomopatológicos, un proceso que, en el sistema anterior, se realizaba mediante plantillas de Microsoft Word. Cada informe debía ser elaborado individualmente por el personal encargado de la transcripción, copiando y pegando la información desde diferentes fuentes: formularios físicos, notas escritas o registros parciales del sistema. Este procedimiento resultaba altamente propenso a errores de digitación, omisiones de datos y discrepancias entre el diagnóstico final y la información registrada en las etapas previas del proceso.

|                                          |                                 |                  |                    |
|------------------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------|
| <b>LIME</b>                              | <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> | <b>AlmaMater</b> | Código: F-025-LIME |
| INFORME DE RESULTADOS ANATOMOPATOLÓGICOS |                                 |                  | Versión: 05        |

|                                                                                      |                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Departamento de Patología</b>                                                     | <b>Informe No M-23</b>                                                                                                  |
| Hospital San Vicente Fundación<br>Calle 64 Carrera 51D, Bloque 13<br>Tel. 6042192400 | Fecha de Recibido: Haga clic aquí para escribir una fecha.<br>Fecha de Informe: Haga clic aquí para escribir una fecha. |

☐ Documento de Identidad N°:

☐ Paciente:

☐ Edad: Sexo: Elija un elemento. Teléfono:

☐ Institución: Elija un elemento. Servicio: Recibo N°:

☐ Médico Remitente:

**MUESTRA:**

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

☐

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

☐

**MÉTODO UTILIZADO:** Elija un elemento.

**DIAGNÓSTICO:**

☐

**Médico Patólogo:** \_\_\_\_\_

Digitado por: \_\_\_\_\_

Los informes de resultados, los planes y bloques de estudios anatomopatológicos se archivan por 15 años.

Página 1 de 1

*Fig. 5. Plantilla de Word utilizada para toda la consolidación de los resultados.*

Además, el formato de Word (Figura 5) no ofrecía mecanismos de control ni validación sobre la información contenida. Era común que se generaran versiones múltiples de un mismo documento, dificultando la identificación del informe final validado. Los informes se almacenaban localmente en equipos individuales, sin respaldo centralizado ni medidas de seguridad, lo que incrementaba el riesgo de pérdida o modificación no autorizada.

El proceso de expedición también dependía de la intervención manual para incorporar datos administrativos y técnicos, como el número de caso, la fecha de emisión, la identificación del paciente o el tipo de muestra analizada. La inserción de estos campos debía realizarse uno a uno, lo que implicaba un consumo considerable de tiempo y aumentaba la posibilidad de inconsistencias. En la práctica, la generación de informes podía retrasarse significativamente, especialmente en momentos de alta demanda o ante la necesidad de correcciones de última hora.

Por otra parte, la inclusión de la firma del patólogo representaba un desafío adicional. En el sistema previo, esta debía insertarse de manera manual al final del documento o, en muchos casos, se realizaba la impresión del informe para proceder con la firma física y su posterior escaneo. Este flujo no solo ralentizaba la entrega de resultados, sino que también comprometía la

autenticidad y seguridad del documento final, al no contar con un mecanismo digital de validación de identidad o trazabilidad del firmante.

Ante estas limitaciones, se formuló el requerimiento de un módulo de generación automática de informes, con el objetivo de integrar este proceso directamente dentro del Sistema de Información de Laboratorio WEB-PathSys.

#### *E. Estadística y contabilidad de casos.*

Durante el proceso de análisis funcional también se identificaron deficiencias importantes en los mecanismos de control estadístico y contable de los casos. El sistema anterior contaba con una versión muy básica de registro, limitada prácticamente al almacenamiento de la información de ingreso de las muestras y algunos datos administrativos generales. Sin embargo, carecía de herramientas que permitieran llevar un seguimiento detallado del estado de los casos, sus tiempos de procesamiento, el tipo de estudio realizado o la carga de trabajo por profesional.

Esta limitación representaba un obstáculo significativo para la gestión operativa del laboratorio. En la práctica, no existía un módulo que mostrara de manera consolidada cuántos casos se encontraban en cada etapa del proceso, cuántos estaban en análisis, pendientes de informe, entregados o en corrección. Para obtener esta información, el personal debía recurrir a la revisión manual de registros en papel o a la búsqueda individual de casos en el sistema, lo que implicaba una pérdida considerable de tiempo y aumentaba la posibilidad de inconsistencias en los reportes internos.

Mes: 09 (Septiembre) Año: 2025 Página 1

| Código                 | Exámen                                              | Hosp.       | Amb.       | Total       |
|------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|------------|-------------|
| 898101                 | BIOPSIA SIMPLE                                      | 250         | 1          | 251         |
| 898201                 | QX SIN DISECCION (APENDICE, VESICULA, BAZO, MIOMA - | 167         | 0          | 167         |
| 898241                 | QX CON DISECCION (UTERO, CONO, MAMA, RIÑON, ETC)    | 16          | 0          | 16          |
| 898002                 | LIQUIDOS                                            | 44          | 0          | 44          |
| 898003                 | ASPIRACION                                          | 6           | 0          | 6           |
| 898018                 | ESTUDIO DE COLORACION INMUNOHISTOQUIMICA DE         | 121         | 11         | 132         |
| 898808                 | ESTUDIO ANATOMOPATOLOGICO EN BIOPSIA POR TINCION    | 116         | 16         | 132         |
| 898807                 | ESTUDIO ANATOMOPATOLOGICO DE MARCACION              | 305         | 120        | 425         |
| 898809                 | COLORACIÓN DE INMUNOFLUORESCENCIA                   | 83          | 0          | 83          |
| 898805                 | REVISIÓN DE PLACAS POR ESPECIALISTA EN PATOLOGÍA    | 2           | 0          | 2           |
| 898017                 | ESTUDIO DE COLORACIÓN BÁSICA EN CITOLOGÍA DE        | 44          | 0          | 44          |
| 898807*                | ESTUDIO ANATOMOPATOLOGICO DE MARCACION              | 2           | 0          | 2           |
| <b>Total:</b>          |                                                     | <b>1156</b> | <b>148</b> | <b>1304</b> |
| <b>Total general :</b> |                                                     | <b>1156</b> | <b>148</b> | <b>1304</b> |

*Fig. 6. Reporte básico de casos por cada uno de los procedimientos.*

Asimismo, el sistema anterior no permitía generar reportes estadísticos automáticos completos, solo parciales (Figura 6), lo que dificultaba la elaboración de informes de productividad, control de calidad o trazabilidad. Los datos se recopilaban de forma manual en hojas de cálculo externas, elaboradas periódicamente por el personal administrativo. Este proceso manual generaba retrasos y una alta dependencia de la interpretación individual de la información, lo que afectaba la precisión y confiabilidad de los indicadores.

En el ámbito contable, el problema era aún más evidente. El sistema no integraba los datos relacionados con la facturación o el control de costos por estudio, lo que obligaba a mantener un registro paralelo en herramientas externas o en documentos físicos. Esto no solo duplicaba esfuerzos, sino que aumentaba la posibilidad de errores y la falta de coherencia entre las cifras reportadas por el laboratorio y las bases de datos institucionales de la Universidad.

Ante estas limitaciones, se definió el requerimiento de desarrollo de un módulo integral de estadística y contabilidad, capaz de ofrecer al laboratorio una visión completa y en tiempo real de su actividad.

## 2. Diseño Arquitectónico y Tecnológico del Sistema

Con los requerimientos claramente definidos y validados, se procedió a la fase de diseño arquitectónico, centrada en traducir las necesidades específicas del laboratorio en una

arquitectura tecnológica robusta, escalable y adaptable. El objetivo principal fue concebir un sistema capaz de optimizar significativamente los flujos de trabajo sin alterar la lógica operativa fundamental del laboratorio.

Se adoptó una arquitectura de microservicios con separación clara entre frontend y backend, implementando el patrón arquitectónico de tres capas (presentación, lógica de negocio, y persistencia de datos). Esta decisión arquitectónica se fundamentó en principios de escalabilidad, mantenibilidad y flexibilidad para futuras expansiones.

La selección del **stack tecnológico** se realizó mediante un proceso de evaluación que consideró factores como sostenibilidad a largo plazo, compatibilidad con el entorno institucional, disponibilidad de soporte técnico, curva de aprendizaje, y costos de licenciamiento. En la tabla I se relacionan las tecnologías usadas.

TABLA I  
TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

| Categoría       | Subtemas                         | Definiciones                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Frontend</b> | Vue.js 3 con TypeScript          | El frontend se desarrolló como en un framework progresivo de JavaScript que permite construir interfaces reactivas y modulares. Se complementó con TypeScript para garantizar un código más limpio, seguro y escalable, lo que facilita la detección temprana de errores y el mantenimiento del sistema. |
|                 | Diseño de interfaz e interacción | Se emplearon herramientas como Figma para el diseño de los wireframes y prototipos visuales, priorizando la accesibilidad, la usabilidad y la coherencia gráfica con el entorno clínico del laboratorio.                                                                                                 |
| <b>Backend</b>  | API RESTful con FastAPI (Python) | El backend se implementó en FastAPI, un framework moderno de Python que facilita la creación de servicios web asíncronos y de alto rendimiento. Este componente gestiona la lógica del sistema.                                                                                                          |
|                 | Autenticación y seguridad (JWT)  | Para el control de acceso se integró un sistema de autenticación mediante JSON Web Tokens (JWT), que permite manejar roles de usuario (administrador del sistema, patólogo, técnico y personal administrativo).                                                                                          |
| <b>Database</b> | MongoDB NoSQL                    | Se utilizó MongoDB Atlas, una base de datos NoSQL orientada a documentos, seleccionada por su flexibilidad para almacenar                                                                                                                                                                                |

|                                   |                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | datos estructurados y no estructurados, como información de pacientes, muestras e informes.                                                 |
| Gestión y respaldo de información | Se configuraron copias de seguridad automáticas y medidas de seguridad y cifrado, garantizando la integridad y disponibilidad de los datos. |

El diseño de la base de datos se construyó siguiendo un enfoque orientado a documentos que permitiera manejar la variabilidad inherente de los datos clínicos. En la tabla II se relacionan las colecciones principales que se definieron para este desarrollo.

TABLA II  
ESTRUCTURA GENERAL DE LA BASE DE DATOS

| Colección           | Función                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pacientes</b>    | Contiene la información personal y clínica de los pacientes atendidos en el laboratorio. Permite registrar, consultar y actualizar los datos básicos, asegurando la trazabilidad de cada paciente en los procesos de diagnóstico y emisión de resultados.  |
| <b>Casos</b>        | Almacena los casos patológicos registrados en el sistema, cada uno vinculado a un paciente y a una institución de salud. Representa el núcleo operativo del sistema, donde se asocian las muestras, pruebas realizadas, diagnósticos y resultados finales. |
| <b>Patólogos</b>    | Contiene la información profesional de los patólogos registrados, incluyendo sus datos de contacto, especialidad y firma digital. Facilita la asignación de casos, la validación de resultados y la trazabilidad de las aprobaciones.                      |
| <b>Pruebas</b>      | Contiene el catálogo de pruebas diagnósticas disponibles en el laboratorio, incluyendo su tipo, técnica y parámetros de ejecución. Garantiza la estandarización de los procedimientos y su correcta asignación a los casos.                                |
| <b>Enfermedades</b> | Incluye el listado de enfermedades y patologías reconocidas en el laboratorio, asociadas a las pruebas y diagnósticos. Permite clasificar los resultados y realizar análisis estadísticos de frecuencia o prevalencia de patologías.                       |
| <b>Entidades</b>    | Registra las instituciones de salud (hospitales, clínicas o centros médicos) que remiten muestras al laboratorio. Facilita la trazabilidad de los casos según su origen y permite la generación de reportes estadísticos por entidad remitente.            |

Cada colección se diseñó con esquemas flexibles que permitieran adaptarse a diferentes tipos de casos patológicos, manteniendo la integridad referencial mediante el uso de ObjectIds y validaciones a nivel de aplicación.

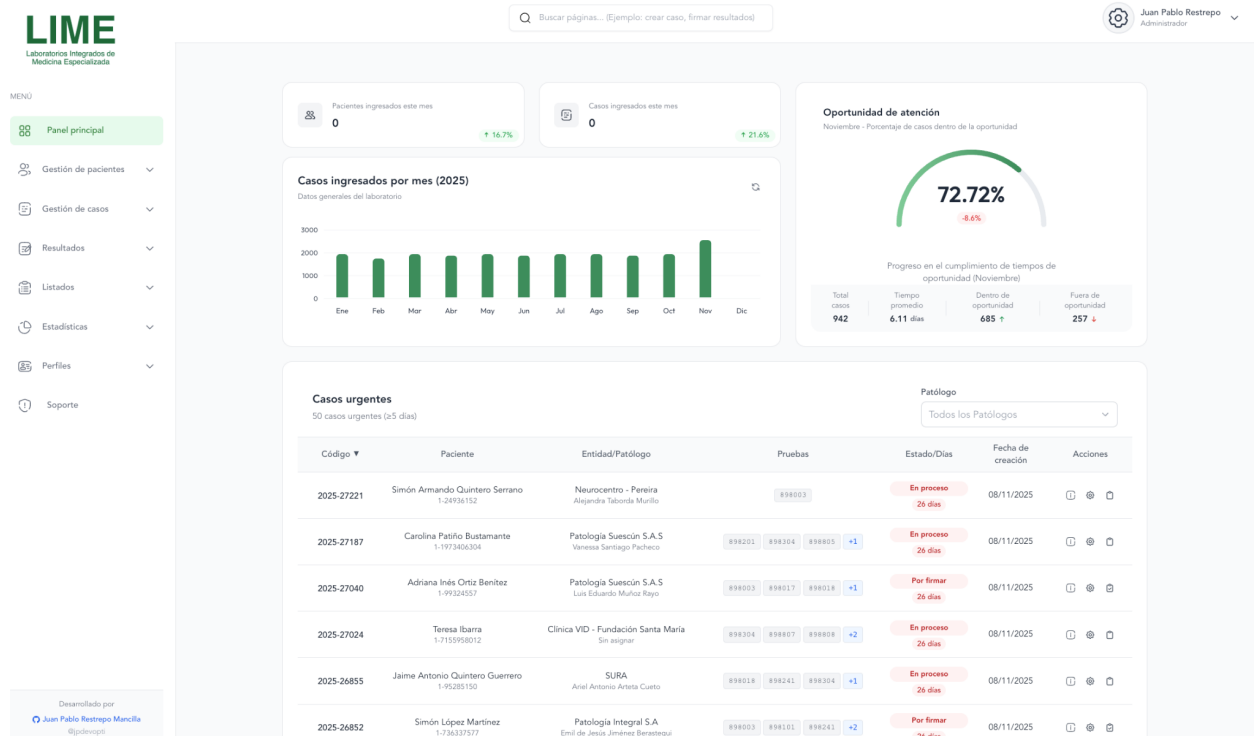
### 3. Descripción del sistema desarrollado por módulos

La interfaz gráfica desarrollada para el Sistema de Información del Laboratorio de Patología UT LIME constituye el componente principal de interacción entre el usuario y la plataforma. Su diseño se centró en la usabilidad, claridad visual y eficiencia operativa, buscando que cada proceso del laboratorio desde el ingreso de muestras hasta la emisión de informes pudiera realizarse de manera ágil, intuitiva y con un mínimo margen de error.

El enfoque de diseño adoptado priorizó la experiencia del usuario (UX), garantizando un flujo de navegación coherente con la rutina del laboratorio. Cada módulo fue estructurado para ofrecer un acceso directo a la información relevante y reducir la dependencia de registros manuales o consultas externas. Asimismo, se incorporaron validaciones visuales, notificaciones de retroalimentación y controles de acceso basados en roles, asegurando un manejo más confiable y seguro de los datos clínicos. A Continuación se muestran las secciones más relevantes del sistema y como mejoran el proceso del laboratorio.

#### *A. Panel principal (Dashboard)*

El panel principal del sistema fue concebido como el eje central de la interacción del usuario con la plataforma, orientado a la visualización inmediata del estado operativo del laboratorio. Este módulo concentra la información más relevante del flujo de trabajo diario, ofreciendo indicadores en tiempo real sobre los casos en proceso, los informes pendientes de revisión, y los tiempos de respuesta diagnóstica.



*Fig. 7. Vista principal del sistema desarrollado (la información mostrada no corresponde a pacientes reales).*

Su diseño responde a la necesidad de optimizar la gestión de la oportunidad diagnóstica, una de las principales debilidades identificadas en el sistema anterior. En este nuevo entorno (Figura 7), el dashboard proporciona una vista resumida y jerarquizada de la carga de trabajo, informando a cada usuario ya sea de la información general del laboratorio o al patólogo de su rendimiento actual, incluyendo su nivel de oportunidad, casos urgentes, flujo de casos asignados, etc.

### *B. Gestión de pacientes*

El módulo de Gestión de pacientes fue diseñado como uno de los pilares del sistema, dado que constituye el punto de partida para todos los procesos clínicos y administrativos del laboratorio. Su propósito principal es permitir un registro estructurado, preciso y centralizado de la información de los pacientes, garantizando la integridad y trazabilidad de los datos desde el momento de la recepción de la muestra.

Como se ilustra en la figura 8, se implementó un formulario digital dinámico que valida en tiempo real los campos ingresados, restringe modificaciones no autorizadas y evita la duplicidad de datos. Esto asegura consistencia en los registros y reduce significativamente los errores administrativos.

The screenshot displays the 'Registro de Nuevo Paciente' (New Patient Registration) form within the LIME system. The interface includes a sidebar with navigation options: Panel principal, Gestión de pacientes (with sub-options 'Crear paciente' and 'Editar paciente'), Gestión de casos, Resultados, Listados, Estadísticas, Perfiles, and Soporte. The main form area is titled 'Registro de Nuevo Paciente' and contains the following sections:

- Información de Identificación:** Includes 'Tipo de identificación' (set to 'Cédula de Ciudadanía') and 'Número de identificación' (1000203314).
- Información Personal:** Includes 'Primer Nombre' (Juan), 'Segundo Nombre' (Pablo), 'Primer Apellido' (Restrepo), 'Segundo Apellido' (Mancilla), 'Fecha de Nacimiento' (09/04/2000), and 'Género' (Masculino).
- Información de Atención:** Includes 'Entidad de Salud' (SURA) and 'Tipo de Atención' (Ambulatorio).
- Información de Ubicación:** Includes 'Municipio' (MEDELLIN) and 'Dirección' (Calle 47 No. 53 - 108).

At the bottom of the form, there is a section for 'Observaciones del paciente'.

Fig. 8. Formulario de creación de nuevos pacientes.

La interfaz de este módulo prioriza la usabilidad y claridad visual, incorporando una disposición limpia de campos esenciales (identificación, datos de contacto, entidad de origen, tipo de muestra, entre otros) y botones de acción directa para crear, editar o consultar pacientes. Asimismo, los registros se vinculan automáticamente con los casos asociados, de modo que cada paciente puede ser rastreado dentro del sistema en todas las etapas del proceso diagnóstico.

### C. Gestión de casos

El módulo de Gestión de casos representa el núcleo funcional del sistema, ya que articula todos los procesos asociados al ciclo de vida de una muestra, desde su ingreso al laboratorio hasta la emisión del informe diagnóstico. Este componente fue diseñado con el objetivo de garantizar una trazabilidad y un control eficiente de cada caso clínico, superando las limitaciones detectadas en

el sistema anterior. En esta nueva versión, el proceso de creación de casos se realiza mediante un formulario digital estructurado que integra automáticamente los datos del paciente y asocia la muestra correspondiente al momento de su registro. Además, el sistema permite definir la procedencia, el tipo de estudio, brindando una descripción detallada y normalizada de cada caso, esto se puede ver en la figura 9.

The screenshot displays the 'LIME' (Laboratorios Integrados de Medicina Especializada) system interface for creating a new case. The interface is organized into a sidebar menu on the left and a main content area. The sidebar includes options like 'Panel principal', 'Gestión de pacientes', 'Gestión de casos', 'Crear caso' (highlighted), 'Asignación de patólogos', 'Casos por aprobar', 'Resultados', 'Listados', 'Estadísticas', 'Perfiles', and 'Soporte'. The main content area is titled 'Información del Caso' and contains several form sections. The 'Información del Caso' section includes fields for 'Entidad del Paciente' (Hospital Alma Máter de Antioquia), 'Tipo de Atención' (Ambulatorio), 'Fecha de Ingreso' (04/12/2025), 'Prioridad del Caso' (Seleccione la prioridad), 'Médico Solicitante' (Ejemplo: Alberto Perez), 'Servicio' (Ejemplo: Medicina Interna), and 'Número de Muestras' (1). The 'Información del Paciente' section shows 'Nombre del Paciente' (Juan Restrepo Pablo Mancilla), 'Documento' (1-1000263232), 'Edad' (25 años), 'Género' (Masculino), 'Atención' (Ambulatorio), and 'Entidad de Salud' (Hospital Alma Máter de Antioquia). The 'Información de Submuestras' section includes 'Submuestra #1', 'Región del Cuerpo' (Buscar región del cuerpo...), 'Pruebas a realizar' (+ Agregar Prueba), 'Prueba #1' (Buscar y seleccionar prueba 1...), and 'Cantidad' (1). At the bottom, there is a text area for 'Observaciones del caso' and a 'Guardar Caso' button.

Fig. 9. Formulario de creación de nuevos casos

Una de las mejoras más significativas fue la incorporación de un sistema de asignación de patólogos. Este mecanismo permite distribuir los casos de manera equitativa entre los especialistas, visualizar el estado actual de cada uno y controlar los tiempos de respuesta.

El módulo también incluye una sección de casos pendientes por aprobación, donde el personal administrativo puede revisar, verificar y aprobar casos solicitados por los patólogos para su aprobación. Este proceso digital sustituye el flujo manual basado en documentos físicos y reduce notablemente los tiempos de validación.

En conjunto, la Gestión de casos proporciona una visión integral y actualizada del estado de cada muestra en el laboratorio, mejora la coordinación entre los diferentes actores del proceso y establece las bases para la trazabilidad total y la generación automática de informes, garantizando calidad, precisión y eficiencia en la atención diagnóstica.

#### D. Gestión de resultados

El módulo de Resultados constituye una de las innovaciones más relevantes del sistema, al transformar por completo el proceso de transcripción, validación y emisión de informes diagnósticos. Con el nuevo sistema, la generación de informes se realiza de manera totalmente digital e integrada, a partir de los datos previamente registrados en los módulos de pacientes y casos. El patólogo dispone de una interfaz estructurada donde puede transcribir observaciones microscópicas, diagnósticos y conclusiones, los cuales se almacenan automáticamente en la base de datos vinculados al número de caso correspondiente.

The screenshot shows the 'Firmar Resultados' (Sign Results) module in the LIME system. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Panel principal', 'Gestión de pacientes', 'Gestión de casos', 'Resultados', 'Transcribir resultados', 'Listados', 'Estadísticas', 'Perfiles', and 'Soporte'. The main content area is titled 'Firmar Resultados' and shows 'Caso: 2025-27251 - Julieth'. It contains a search bar for 'Buscar caso' with the value '2025-27251' and a 'Limpiar' button. Below this are tabs for 'Métodos', 'Corte Macro', 'Corte Micro', and 'Diagnóstico'. The 'Métodos' tab is active, showing 'Métodos Utilizados' with a '+ Agregar' button and a dropdown for 'Método 1' with the text 'Seleccionar método...'. The 'Diagnóstico' section has a 'Diagnóstico CIE-10' field with a search button and a checkbox for 'Incluir diagnóstico de cáncer (CICB)'. A note asks if more tests are needed to complete the diagnosis. At the bottom, there are buttons for 'Limpiar', 'Imprimir PDF', and 'Guardar progreso'. The right sidebar contains 'Información del paciente' with fields for 'Documento', 'Edad', 'Sexo', 'Tipo de atención', 'Entidad', and 'Observaciones'. Below this is a table of 'Casos anteriores' with columns for 'CÓDIGO', 'ESTADO', and 'FECHA CREACIÓN'. The 'Detalles del caso' section shows 'Caso: 2025-27251', 'Estado: Por Firmar', 'Creación: 18/11/2025, 2:40:29 p.m.', 'Actualización: 18/11/2025, 7:41:04 p.m.', 'Entidad: Hospital General', 'Médico solicitante: Dr. Miguel Pérez', 'Patólogo asignado: Julieth', and 'Muestras y pruebas'.

| CÓDIGO     | ESTADO     | FECHA CREACIÓN |
|------------|------------|----------------|
| 2025-2581  | En proceso | 17/11/2025     |
| 2025-23028 | Completado | 9/10/2025      |
| 2025-19023 | Completado | 9/9/2025       |
| 2025-12275 | Completado | 23/8/2025      |
| 2025-10795 | Completado | 21/8/2025      |
| 2025-10249 | Completado | 23/5/2025      |
| 2025-08449 | Completado | 23/5/2025      |
| 2025-06385 | Completado | 21/1/2025      |

Fig. 10. Formulario utilizado para la descripción de los resultados.

Otra mejora importante es la generación automática del informe final en formato PDF, que integra todos los datos relevantes sobre la identificación del paciente, procedencia, tipo de

muestra, resultados y firma digital en un documento estandarizado y listo para impresión o envío digital. Este proceso no solo mejora la presentación de los informes, sino que reduce la dependencia del procesamiento manual y elimina la necesidad de plantillas externas.

En conjunto, el módulo de Resultados redefine la forma en que se gestionan los informes diagnósticos en el laboratorio, consolidando un proceso más ágil, seguro y coherente con los estándares modernos de documentación clínica.

#### *E. Listado de casos y pacientes con búsqueda avanzada*

El módulo de Listados de Pacientes y Casos fue diseñado para ofrecer una visión clara, organizada y accesible de la información registrada en el sistema, respondiendo a una de las limitaciones más críticas del software anterior: la falta de herramientas efectivas para la consulta y seguimiento de casos. Con el nuevo sistema, este módulo cumple una función central dentro del flujo operativo al consolidar en una sola vista toda la información relevante de los pacientes y sus casos asociados. Los listados permiten buscar, filtrar y visualizar registros de manera dinámica mediante criterios como fecha, entidad, patólogo responsable, tipo de prueba o estado del caso. Esta capacidad de filtrado preciso agiliza la gestión y elimina la necesidad de revisar manualmente extensas bases de datos o documentos físicos. Esto se puede observar en la figura 11, teniendo sistemas de filtrado, alertas y botones para obtener de forma automática toda la información necesaria del paciente.

Inicio > Casos Actuales

### Listado de Casos

Filtre los casos actuales por caso, paciente, patólogo, rango de fechas de creación, entidad, estado y pruebas.

Buscar por nombre, documento de identidad o caso:  Fecha desde:  Fecha hasta:

Patólogo:  Entidad:  Pruebas:  Estado:

| <input type="checkbox"/> | Código Caso ▼ | Paciente                                       | Entidad / Patólogo                                  | Pruebas                                | Estado     | Creación/Firma           | Prioridad/Días         | Acciones                                                                     |
|--------------------------|---------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|------------|--------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | 2025-27258    | Juan Pérez, María Mercedes<br>1-234567890      | Hospital Pedro Pablo de Heredia<br>No asignado      | 898301                                 | Por firmar | 18/11/2025<br>Pendiente  | Normal<br>12 días      | <input type="button" value="Detalle"/> <input type="button" value="Editar"/> |
| <input type="checkbox"/> | 2025-27257    | Juan Rodríguez, María Domínguez<br>1-987654321 | Hospital Pedro Pablo de Heredia<br>No asignado      | 898302, 898802, 898805, 898304         | En proceso | 18/11/2025<br>Pendiente  | Prioritario<br>12 días | <input type="button" value="Detalle"/> <input type="button" value="Editar"/> |
| <input type="checkbox"/> | 2025-27252    | María José Gómez<br>1-123456789                | Hospital Pedro Pablo de Heredia<br>Jorge Luis Gómez | 898014, 898808, 898302                 | Completado | 18/11/2025<br>18/11/2025 | Normal<br>0 días       | <input type="button" value="Detalle"/>                                       |
| <input type="checkbox"/> | 2025-27251    | Carlos Pineda<br>1-987654321                   | Hospital General de Medellín<br>Carlos G. Gómez     | 898102                                 | Por firmar | 18/11/2025<br>Pendiente  | Normal<br>12 días      | <input type="button" value="Detalle"/> <input type="button" value="Editar"/> |
| <input type="checkbox"/> | 2025-27219    | Diego de Pablo Alvarado<br>1-123456789         | Hospital General de Medellín<br>Juan Alvarado       | 898101, 898813, 898805, 898807, 898212 | En proceso | 18/11/2025<br>Pendiente  | Prioritario<br>12 días | <input type="button" value="Detalle"/> <input type="button" value="Editar"/> |
| <input type="checkbox"/> | 2025-27218    | Carlos Rodríguez Vega<br>1-987654321           | Hospital Pedro Pablo de Heredia<br>No asignado      | 898304, 898805                         | Por firmar | 18/11/2025<br>Pendiente  | Normal<br>12 días      | <input type="button" value="Detalle"/> <input type="button" value="Editar"/> |

*Fig. 11 Listado de casos con búsqueda avanzada.*

Cada registro dentro del listado incluye información clave como la identificación del paciente, la procedencia, la prueba solicitada, el estado actual del caso y la fecha de su última actualización. Además, la interfaz permite acceder directamente al detalle del caso o editar información autorizada sin necesidad de navegar entre múltiples pantallas, lo que optimiza el flujo de trabajo diario.

Asimismo, el módulo de listados está estrechamente integrado con las demás secciones del sistema, permitiendo vincular los registros con los módulos de resultados, estadísticas y pacientes. De esta forma, se garantiza la trazabilidad completa de la información y se facilita la supervisión global de la carga de trabajo del laboratorio.

#### *F. Estadística, contabilidad y reportes de rendimiento*

Con la implementación del nuevo sistema se ofrece una plataforma centralizada y automatizada para el análisis de datos en tiempo real. Este módulo recopila de manera continua la información generada en los distintos procesos del laboratorio desde el ingreso de casos hasta la

emisión de informes y la presenta en reportes gráficos y tabulares de fácil interpretación. Ver figura 12.

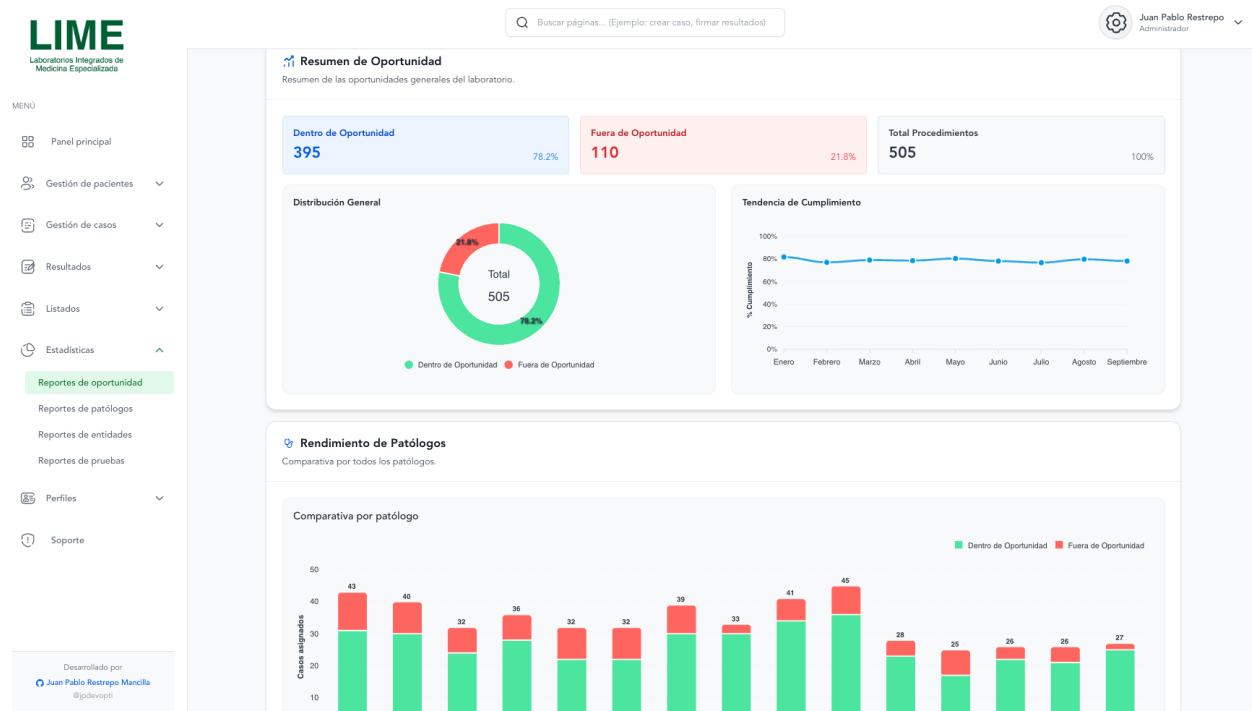


Fig. 12. Panel para el seguimiento de la oportunidad de cumplimiento del laboratorio.

Entre sus principales funcionalidades se incluyen la generación de reportes de oportunidad, que permiten medir los tiempos de respuesta; informes por patólogo, que muestran la distribución de casos asignados y concluidos; y estadísticas por tipo de prueba, entidad remitente o diagnóstico, las cuales resultan fundamentales tanto para la gestión interna como para los procesos de auditoría y evaluación académica.

El módulo también incluye un sistema de filtros dinámicos que permite ajustar los reportes según rangos de fechas, áreas de estudio o estado del caso, ofreciendo una visión detallada del rendimiento y permitiendo la identificación temprana de cuellos de botella o desviaciones operativas. Una característica clave de este módulo es su interfaz visual interactiva, que presenta los datos en gráficos de barras, líneas y sectores, facilitando la interpretación por parte de usuarios no especializados en análisis de datos. Además, los reportes pueden exportarse

en formatos digitales para su presentación en informes de gestión o reuniones de seguimiento institucional.

### *G. Gestión de perfiles y usuarios*

El módulo de Perfiles garantiza una administración clara, segura y jerarquizada de los usuarios que interactúan con la plataforma. Por tanto, el módulo fue diseñado para resolver estas deficiencias mediante un modelo de control de acceso basado en roles (RBAC, Role-Based Access Control), lo que permite asignar permisos específicos según las funciones y responsabilidades de cada usuario. De este modo, los perfiles de patólogo (Figura 13), residente, auxiliar, administrador, etc. El personal de soporte cuenta con vistas y acciones ajustadas a su rol dentro del flujo de trabajo.

The screenshot displays the LIME (Laboratorios Integrados de Medicina Especializada) web interface. On the left is a sidebar menu with options: Panel principal, Gestión de pacientes, Gestión de casos, Resultados, Listados, Estadísticas, Perfiles, and Soporte. The main content area shows the profile of 'Vanessa', a 'Patólogo'. The profile includes a header with a name card and an 'Editar perfil' button. Below this are three sections: 'Información Personal' with fields for 'Nombre Completo' (Vanessa), 'Correo Electrónico', 'Rol' (Patólogo), and 'Estado' (Activo); 'Información Específica - Patólogo' with fields for 'Iniciales' (VSP) and 'Registro Médico'; and 'Firma Digital' with a prompt to upload a signature image and a 'Subir Firma Digital' button. A note at the bottom specifies accepted formats: PNG, JPG, SVG, with a maximum size of 1MB.

*Fig. 13 Ejemplificación del perfil de un patólogo con firma ingresada.*

El módulo de Perfiles permite la creación, edición y desactivación de usuarios (Figura 14), así como la configuración de sus credenciales de acceso y los datos asociados a su identidad profesional. Cada acción queda registrada en una bitácora interna que facilita la trazabilidad de las operaciones realizadas dentro del sistema, un aspecto crucial para mantener la integridad de los datos en entornos clínicos. Además, el administrador del sistema puede actualizar los permisos o reasignar funciones sin necesidad de intervención técnica, lo que brinda flexibilidad y autonomía a la gestión institucional.

Una característica destacada de este módulo es la integración con los procesos de autenticación y auditoría, lo que asegura la coherencia entre la identidad del usuario y las acciones realizadas. Por ejemplo, los informes diagnósticos o aprobaciones de casos quedan asociados automáticamente al profesional responsable, garantizando transparencia y responsabilidad individual en todas las etapas del proceso.

**LIME**  
Laboratorio Integrado de Medicina Especializada

Buscar páginas... (Ejemplo: crear caso, firmar resultado)

Juan Pablo Restrepo  
Administrador

Inicio > Gestión de Usuarios

**Creación de usuarios**  
Selecciona una pestaña para crear un usuario.

Auxiliar administrativo Facturación Patólogo Residente Entidad Pruebas

**Formulario de Auxiliar**

Nombre completo Ejemplo: Ana María González Código del auxiliar Ejemplo: 1234567890

Email ana.gonzalez@udea.edu.co Contraseña \*\*\*\*\*

Confirmar contraseña \*\*\*\*\*

Observaciones  
Notas adicionales sobre el auxiliar (opcional)

Activo

Limpiar Guardar Auxiliar

**Edición de usuarios**  
Selecciona una pestaña, busca y edita el perfil.

Auxiliar administrativo Facturación Patólogo Residente Entidad Pruebas

**Buscar Auxiliar Administrativo**

prueba

Limpiar Buscar

**Resultados**

| NOMBRE             | TIPO     | CÓDIGO  | ESTADO |
|--------------------|----------|---------|--------|
| Auxiliar de prueba | Auxiliar | 1234567 | Activo |

**Editar Auxiliar administrativo**  
Modifica los datos del auxiliar

Código del auxiliar 1234567 Nombre completo Auxiliar de prueba

Email aux.prueba@udea.edu.co Nueva contraseña (opcional) \*\*\*\*\*

Confirmar contraseña \*\*\*\*\*

Observaciones

Activo

Reiniciar Actualizar Auxiliar

Fig. 14. Sistema para la creación y edición de perfiles.

## H. Soporte y tickets

El módulo de Soporte se diseñó con el propósito de ofrecer un canal para la gestión de incidencias, solicitudes y requerimientos internos dentro del laboratorio. Durante la etapa de diagnóstico se identificó que, en el sistema anterior, la comunicación sobre errores o necesidades técnicas se realizaba de manera informal por llamadas, correos o mensajes personales.

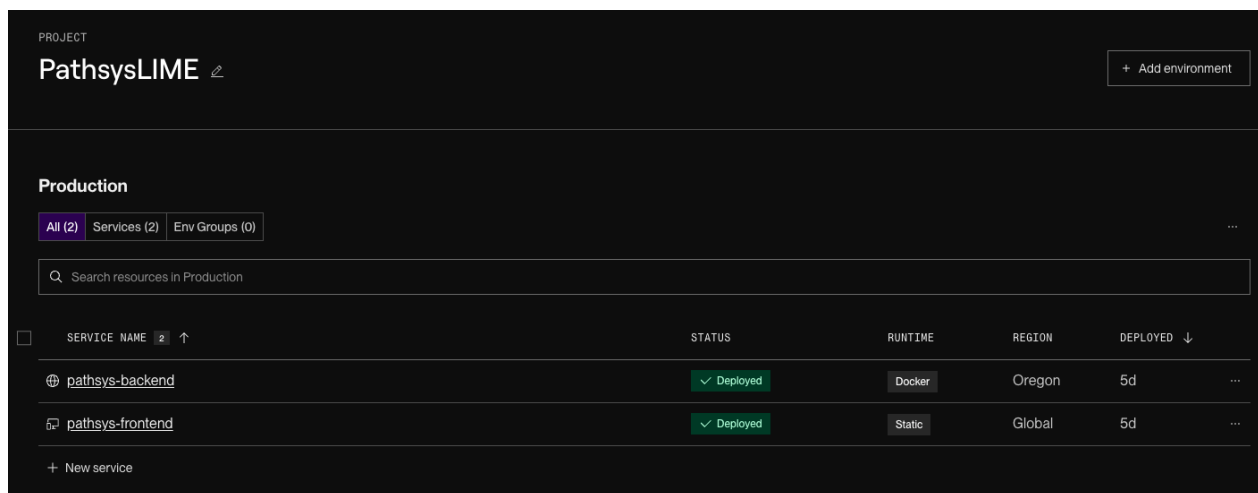
El nuevo módulo introduce un sistema de tickets (Figura 15), mediante el cual los usuarios pueden registrar solicitudes directamente desde la plataforma, describiendo el tipo de problema, su nivel de urgencia y adjuntando evidencias o capturas cuando sea necesario. Cada ticket queda asociado al usuario que lo generó y queda visible para todos los usuarios dónde se clasifica según su tipo de incidencia (técnica, funcional o de mejora).

Fig. 15. Sistema para la creación y edición de Tickets de soporte.

A partir de ese momento, el sistema permite hacer seguimiento en tiempo real al estado de cada solicitud (pendiente, en revisión, resuelta o cerrada), brindando transparencia tanto al usuario como al personal encargado de la atención. Esta trazabilidad favorece la comunicación interna y permite medir los tiempos de respuesta y la eficacia del soporte técnico, información valiosa para los procesos de mejora continua del sistema.

#### 4. Despliegue, documentación y uso del sistema

Una vez completada la fase de desarrollo e integración de los módulos principales, se procedió con el despliegue del sistema de información hacia un entorno de producción estable. El sistema fue implementado en la plataforma Render (Figura 16), elegida por su capacidad para ofrecer una infraestructura escalable, segura y de fácil administración, permitiendo un alojamiento continuo del backend y frontend bajo un esquema de despliegue automatizado. Esta elección garantizó un funcionamiento estable, con disponibilidad permanente y soporte para futuras actualizaciones sin interrupciones del servicio.



*Fig. 16. Sistema desplegado para su uso usan RENDER como servicio.*

Durante esta etapa, se elaboró una documentación técnica completa del sistema utilizando la herramienta Docusaurus, que permite generar un portal web interactivo para la consulta estructurada de la información técnica (Figura 17). En este espacio se documentaron las arquitecturas del sistema, la estructura de las API, las dependencias utilizadas y las pautas para la instalación y mantenimiento, asegurando que el conocimiento técnico quede disponible para futuras fases de mejora o para nuevos desarrolladores que se integren al proyecto.

De manera complementaria, se creó un manual de usuario en formato audiovisual, conformado por una serie de videos explicativos que describen paso a paso el uso de las funcionalidades del sistema. Este recurso, alojado en la misma documentación, busca facilitar el aprendizaje autónomo de los usuarios, permitiendo que cada integrante del laboratorio pueda familiarizarse con las herramientas según su rol y ritmo de trabajo.

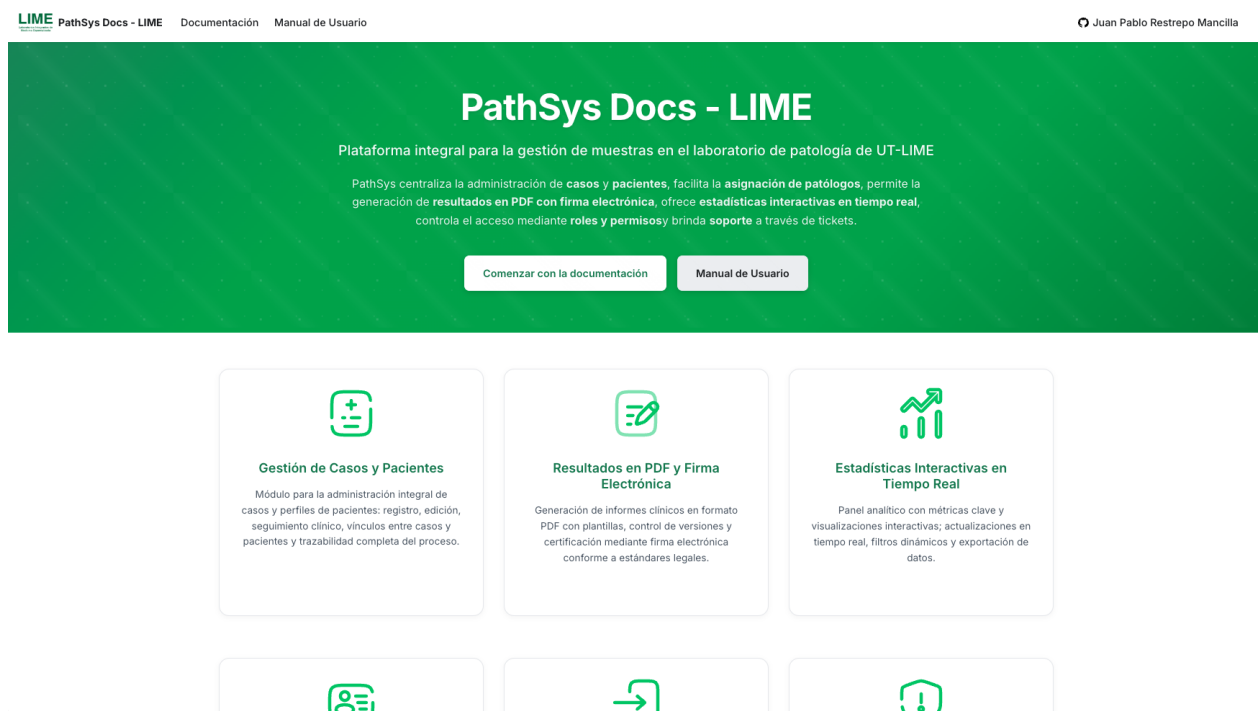


Fig. 17. Documentación y manual de usuario desplegados.

Finalmente, se realizaron capacitaciones presenciales y virtuales dirigidas a los patólogos y al personal administrativo, enfocadas en el uso general del sistema y en las particularidades de

los módulos de gestión de casos y emisión de informes. Aunque estas sesiones se desarrollaron de forma no estructurada a través de reuniones informales y acompañamiento directo durante la implementación, resultaron fundamentales para garantizar una transición efectiva desde el sistema anterior hacia el nuevo entorno digital, obteniendo un feedback sumamente positivo.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo e implementación del Sistema de Información para el Laboratorio de Patología UT LIME demostró la relevancia crítica de contar con un sistema optimizado en entornos donde la precisión, la trazabilidad y la integridad de los datos son determinantes para la toma de decisiones clínicas. En un laboratorio de patología, cada muestra representa un resultado que incide directamente en la salud y, en muchos casos, en la vida de las personas. Por ello, disponer de una herramienta tecnológica capaz de garantizar el control y la continuidad informativa en cada etapa del proceso desde la recepción de la muestra hasta la emisión del informe diagnóstico resulta esencial para la calidad y confiabilidad del servicio.

Antes del desarrollo del sistema, el laboratorio enfrentaba limitaciones asociadas al uso de registros físicos, duplicidad de datos y dificultades en la consulta o seguimiento de los casos. Estas problemáticas afectaban no solo la eficiencia operativa, sino también la trazabilidad diagnóstica y la capacidad de respuesta ante auditorías o requerimientos institucionales. El nuevo sistema permitió superar estas deficiencias mediante la digitalización integral del flujo de trabajo, la asignación de identificadores únicos, la validación automática de datos y la integración de módulos especializados que fortalecen el control de las muestras, la gestión de resultados y la emisión automatizada de informes.

La arquitectura web modular y el diseño centrado en el usuario facilitaron la transición tecnológica y mejoraron la experiencia del personal médico y administrativo. La incorporación de dashboards, listados dinámicos y herramientas estadísticas amplió la capacidad analítica del laboratorio, permitiendo monitorear indicadores clave de desempeño, oportunidad diagnóstica y productividad. Estas características no solo optimizan el funcionamiento diario, sino que sientan las bases para la mejora continua y la toma de decisiones basadas en datos reales.

En conjunto, los resultados del proyecto evidencian una modernización sustancial de la gestión institucional, el fortalecimiento de la trazabilidad y la transparencia en los procesos, así como una reducción significativa de los errores humanos asociados a la manipulación manual de la información. El sistema se consolida, así, como una herramienta esencial para la gestión

eficiente y segura de los casos clínicos, cumpliendo plenamente con el objetivo de diseñar una metodología de trabajo y una solución de software integral que responda a las necesidades actuales y futuras del Laboratorio de Patología UT LIME.

De cara al futuro, se recomienda ampliar las funcionalidades del sistema con el desarrollo de nuevos módulos que complementen y potencien su alcance actual. En particular:

- **Módulo de facturación:** que permita vincular directamente los procesos clínicos con la gestión económica, asegurando la trazabilidad administrativa y reduciendo la duplicidad de tareas entre áreas.
- **Módulo de trazabilidad avanzada:** con herramientas que documenten en detalle cada acción realizada sobre una muestra, facilitando auditorías internas y garantizando una trazabilidad completa del ciclo diagnóstico.
- **Integración de herramientas de inteligencia artificial:** orientadas al apoyo diagnóstico, la clasificación automatizada de muestras y la detección temprana de patrones histopatológicos, contribuyendo al fortalecimiento del componente académico y científico del laboratorio.
- **Interoperabilidad con otras plataformas hospitalarias:** que permita el intercambio de información con sistemas de historia clínica electrónica y plataformas institucionales, promoviendo la integración total del proceso asistencial.

Además, se sugiere formalizar un plan de capacitación continua para el personal, que garantice el uso adecuado de las nuevas herramientas y consolide una cultura tecnológica dentro del laboratorio. La implementación de protocolos de respaldo automático y actualización de datos también será fundamental para asegurar la persistencia y seguridad de la información en el tiempo.

## REFERENCIAS

- [1] C. Bruce *et al.*, “Transforming diagnostics: The implementation of digital pathology in clinical laboratories,” *Histopathology*, Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.1111/his.15178>.
- [2] D. G. Pinto, A. Bychkov, N. Tsuyama, J. Fukuoka, and C. Eloy, “Real-World Implementation of Digital Pathology: Results From an Intercontinental Survey,” *Laboratory Investigation*, vol. 103, no. 12, p. 100261, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.labinv.2023.100261>.
- [3] J. P. Harrison and G. M. McDowell, “The role of laboratory information systems in healthcare quality improvement,” *International Journal of Health Care Quality Assurance*, vol. 21, no. 7, pp. 679–691, Oct. 2008, doi: <https://doi.org/10.1108/09526860810910159>.
- [4] W. H. Henricks, “Laboratory Information Systems,” *Surgical Pathology Clinics*, vol. 8, no. 2, pp. 101–108, Jun. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.path.2015.02.016>.
- [5] “Ley 1438 de 2011 - EVA - Función Pública,” [www.funcionpublica.gov.co](http://www.funcionpublica.gov.co). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=41355>
- [6] M. De Salud, “Resolución número 1995 de 1999,” 1995. Available: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/RESOLUCI%C3%93N%201995%20DE%201999.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/RESOLUCI%C3%93N%201995%20DE%201999.pdf)
- [7] J. L. Sepulveda and D. S. Young, “The Ideal Laboratory Information System,” *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, vol. 137, no. 8, pp. 1129–1140, Aug. 2013, doi: <https://doi.org/10.5858/arpa.2012-0362-ra>.
- [8] J. F. H. Arendt, A. T. Hansen, S. A. Ladefoged, H. T. Sørensen, L. Pedersen, and K. Adelborg, “Existing Data Sources in Clinical Epidemiology: Laboratory Information System Databases in Denmark,” *Clinical Epidemiology*, vol. 12, pp. 469–475, May 2020, doi: <https://doi.org/10.2147/CLEP.S245060>.
- [9] “Anatomic Pathology LIS, Advanced Surgical Lab Software | SpeedsPath,” *Speedspath.com*, 2025. <https://www.speedspath.com/> (accessed Oct. 24, 2025).
- [10] L. Inc, “Automate Your Laboratory with the Global Leader for LIMS and ELN,” *www.labware.com*. <https://www.labware.com/>
- [11] “ELab LIMS | Flexible, Scalable Lab Management Software,” *LabLynx - Advanced LIMS and ELN Solutions for Smarter Laboratory Management*, Apr. 19, 2024. <https://www.lablynx.com/lims> (accessed Oct. 24, 2025).
- [12] “Decreto 1377 de 2013 - Gestor Normativo - Función Pública,” [www.funcionpublica.gov.co](http://www.funcionpublica.gov.co). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53646>
- [13] “Vista de Análisis de Frameworks Frontend para Aplicar UX/IU en el Desarrollo Web: Una Revisión Sistemática | Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar,” *Ciencialatina.org*, 2025. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/11290/16545>
- [14] H. F. Herdiyatomoko, “BACK-END SYSTEM DESIGN BASED ON REST API,” *Jurnal Teknik Informatika dan Komputer (Tekinkom)*, vol. 5, no. 1, p. 123, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.37600/tekinkom.v5i1.401>.
- [15] Y. Li and S. Manoharan, “A Performance Comparison of SQL and NoSQL Databases,” *2013 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and*

- Signal Processing (PACRIM)*, Aug. 2013, doi: <https://doi.org/10.1109/pacrim.2013.6625441>.
- [16] P. Borra, “An overview of cloud computing and leading cloud service providers,” *SSRN Electronic Journal*, vol. 15, no. 3, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4914169>.
- [17] D. Spinellis, “Git,” *IEEE Software*, vol. 29, no. 3, pp. 100–101, May 2012, doi: <https://doi.org/10.1109/ms.2012.61>.
- [18] L. Saeed and G. Abdallah, “Security with JWT,” *Pro Cloud-Native Java EE Apps*, pp. 457–477, 2025, doi: [https://doi.org/10.1007/979-8-8688-1396-2\\_11](https://doi.org/10.1007/979-8-8688-1396-2_11).
- [19] D. Wagner, B. Schneier, and C. Systems, “Analysis of the SSL 3.0 Protocol Analysis of the SSL 3.0 Protocol,” 1996. Available: [https://www.usenix.org/legacy/publications/library/proceedings/ec96/full\\_papers/wagner/wagner.pdf](https://www.usenix.org/legacy/publications/library/proceedings/ec96/full_papers/wagner/wagner.pdf)
- [20] K. B. Laskey and K. Laskey, “Service oriented architecture,” *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, vol. 1, no. 1, pp. 101–105, Jul. 2009, doi: <https://doi.org/10.1002/wics.8>.
- [21] M. Desai *et al.*, “Implementation of Agile in healthcare: methodology for a multisite home hospital accelerator,” *BMJ open quality*, vol. 13, no. 2, pp. e002764–e002764, May 2024, doi: <https://doi.org/10.1136/bmj-2024-002764>.