Development of a Comprehensive Laboratory Management System, Equipment Traceability, QR Codes, and Research Project Monitoring Using Google Apps Script

Fernando Ortez[1,2], David Pavon[1,2], Fernando Zorto[1,2]
[1]Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, fortez@unah.hn, dpavon@unah.hn, fzorto@unah.edu
[2]Instituto de Investigaciones de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas (IICAT-UNAH), Honduras

A university research institute in applied sciences and technology lacked standardized mechanisms for documenting research projects, affecting the traceability of equipment, supplies, and generated knowledge. This paper presents the design and implementation of a serverless laboratory management system built with Google Apps Script and Google Sheets. The system integrates QR-based inventory traceability, pull-based work orders, immutable electronic logbooks, and document management, articulated through a chain-of-custody principle. A pilot test was conducted with institute members, evaluating their perception through qualitative surveys. Results showed strong user acceptance and significant improvements in documentation ease and traceability compared to the prior manual method. Technical limitations were identified regarding dependence on internet connectivity and automatic time logging. The study concludes that a serverless architecture is a viable, cost-effective, and scalable option for academic institutions with limited resources.

Keywords— laboratory management, serverless architecture, traceability, QR codes, Google Apps Script

Sistema Integral de Gestión y Trazabilidad para Laboratorios de Investigación con Google Apps Script

Fernando Ortez[1,2], David Pavon[1,2], Fernando Zorto[1,2]
[1]Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, fortez@unah.hn, dpavon@unah.hn, fzorto@unah.edu
[2]Instituto de Investigaciones de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas (IICAT-UNAH), Honduras

Resumen– ***Un instituto universitario de investigación en ciencias aplicadas y tecnológicas carecía de mecanismos estandarizados para documentar sus proyectos, afectando la trazabilidad de equipos, insumos y conocimiento generado. Se presenta el diseño e implementación de un sistema integral de gestión de laboratorio bajo arquitectura serverless, desarrollado con Google Apps Script y Google Sheets. El sistema integra trazabilidad por código QR, órdenes de trabajo bajo un modelo pull, bitácoras electrónicas inmutables y gestión documental, articulados mediante un principio de cadena de custodia. Se ejecutó una prueba piloto con los miembros del instituto, evaluando su percepción mediante encuestas cualitativas. Los resultados evidenciaron una alta aceptación del sistema y mejoras significativas en la facilidad de documentación y trazabilidad frente al método manual previo. Se identificaron limitaciones técnicas asociadas a la dependencia de conectividad a internet y al registro automático de tiempos. Se concluye que la arquitectura serverless constituye una alternativa viable, económica y escalable para instituciones académicas con recursos limitados.***

Palabras clave— gestión de laboratorio, arquitectura serverless, trazabilidad, códigos QR, Google Apps Script.

I. Introducción

En los laboratorios de investigación e innovación de instituciones de educación superior y del sector industrial, el desarrollo de proyectos científicos y tecnológicos es un elemento fundamental para la generación de conocimiento y el avance de la sociedad [1]. A escala internacional, la reproducibilidad de la investigación es una preocupación creciente: un análisis de estudios previos estimó que la prevalencia acumulada de investigación preclínica irreproducible supera el 50%, con un costo aproximado de 28 000 millones de dólares anuales solo en Estados Unidos, e identificó entre las categorías de causas los protocolos de laboratorio y el análisis y reporte de datos [2]. Asimismo, los principios FAIR promueven que los datos de investigación sean localizables, accesibles, interoperables y reutilizables [3]. En este contexto, la gestión de inventarios, equipos e insumos resulta igualmente indispensable para garantizar la continuidad de las investigaciones, la disponibilidad de recursos y la trazabilidad de los procesos desarrollados, asegurando el manejo correcto del laboratorio [4]. En América Latina, un análisis editorial sobre laboratorios de investigación en Colombia evidencia que una proporción considerable de los procesos, procedimientos y conocimientos generados en estos centros no se preserva adecuadamente, lo que dificulta su recuperación, seguimiento y reutilización en investigaciones posteriores [5].

Aunque dicho análisis se enfoca principalmente en la conservación de la información generada durante las actividades de investigación, esta problemática también puede observarse en otros centros de investigación de la región. En particular, en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), la ausencia de procedimientos estandarizados para el registro y seguimiento de la información asociada a los proyectos de investigación puede dificultar la continuidad de los mismos, así como la inadecuada gestión de los procesos, equipos y materiales utilizados durante su ejecución puede retrasar las investigaciones [6]. La falta de mecanismos sistemáticos para documentar las actividades realizadas y mantener un registro continuo de los recursos empleados limita la trazabilidad de los proyectos y reduce la posibilidad de reutilizar el conocimiento generado en futuras investigaciones.

En el Instituto de Investigaciones de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas (IICAT) de la UNAH se identificó que numerosos proyectos de investigación desarrollados por estudiantes que finalizaban su periodo académico tenían una documentación inadecuada de los procedimientos realizados, del uso de equipos y materiales, así como de los resultados obtenidos. Como consecuencia, gran parte de la información recopilada durante los períodos académicos no podía reutilizarse ni servir como base para la continuidad de las investigaciones, afectando la trazabilidad de los proyectos y la gestión eficiente de los recursos del laboratorio. Por ello, la identificación y la estandarización de los procesos dentro de un laboratorio constituyen un paso fundamental, que se aborda en esta investigación [7].

La gestión de inventarios es una de las responsabilidades más relevantes en el manejo estratégico de una organización, pues involucra una inversión de capital considerable e influye en todas sus funciones operativas [4]. Todo inventario, desde los suministros básicos hasta los equipos más complejos, constituye un activo y parte del patrimonio de la institución, y su administración deficiente puede traducirse en pérdidas económicas y en interrupciones de las actividades [4]. Ante este desafío, surge la necesidad de aplicar estrategias de innovación y transformación digital, y la implementación de herramientas tecnológicas representa una alternativa para mejorar la trazabilidad y la gestión de la información. Los códigos QR, por ejemplo, permiten controlar el inventario con una lectura rápida desde los dispositivos móviles de los miembros [8]; la digitalización del registro de documentación mediante dispositivos electrónicos permite almacenar y compartir la información de forma inmediata en la nube [9], con la

posibilidad de monitorear en tiempo real las actividades que realizan los investigadores; y un *dashboard* para visualizar el inventario facilita el uso correcto de los materiales y la maquinaria utilizados [10]. Por ello, la solución implementada, un sistema de gestión de inventario integrado con el registro de documentación, se apoyó en una arquitectura *serverless* basada en Google Apps Script y Google Sheets, que elimina los costos de servidores dedicados al aprovechar los dispositivos móviles de los investigadores. El sistema funciona completamente en la nube y permite interactuar directamente con herramientas como Gmail, Google Sheets, Google Drive, Calendar, Google Docs y el Admin SDK, entre otras [11].

La digitalización integró al sistema conceptos clave para el trabajo dentro del laboratorio que, antes de la implementación automatizada, se ejecutaban de manera manual: las órdenes de trabajo, fundamentales para mantener claridad sobre las actividades a realizar y los materiales a utilizar [6]; la solicitud de componentes; y las bitácoras. Estas últimas resultan fundamentales en el ámbito de la investigación para garantizar la continuidad efectiva de los proyectos y el monitoreo constante de las actividades realizadas en el laboratorio [12].

El objetivo de este trabajo es presentar el diseño, la implementación y la validación piloto de un sistema integral de gestión y trazabilidad para laboratorios de investigación, construido sobre una arquitectura *serverless* de costo operativo nulo. Su contribución no radica en una herramienta aislada, sino en la integración, sobre una misma plataforma de bajo costo, de elementos que habitualmente se abordan por separado: la trazabilidad de inventario mediante códigos QR bajo el esquema BYOD, las órdenes de trabajo con lógica *pull* y agrupación logística por *kitting*, las bitácoras electrónicas inmutables con control de ediciones y una cadena de custodia que vincula cada componente con su ubicación y su responsable. Esta integración, replicable con herramientas de uso común, responde a una necesidad del desarrollo regional: ofrecer a universidades y laboratorios con presupuestos limitados una alternativa accesible para estandarizar sus procesos de investigación y preservar el conocimiento que generan, sin depender de licencias ni de infraestructura propia.

II. Marco Teórico

El desarrollo de un sistema de gestión para laboratorio integra varias disciplinas, como la optimización de procesos, la administración de recursos y la implementación estratégica de nuevas tecnologías, y permite transformar métodos de trabajo empíricos en modelos estandarizados y eficientes, asegurando el control, la calidad y la continuidad de los proyectos científicos. A continuación, se exponen los fundamentos teóricos que respaldan la arquitectura del sistema propuesto.

A. Gestión de Operaciones y Órdenes de Trabajo

En la ingeniería de métodos y la administración de operaciones, la estandarización de procesos comienza con su identificación y con la correcta planificación de las tareas [7]. En este marco, las órdenes de trabajo son de gran utilidad en la planificación y en la ejecución de actividades, al asignar responsables y materiales necesarios [6]. Además, las Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL), definidas por la OCDE y divulgadas por la OMS, son reglas reconocidas para asegurar la calidad, la integridad y la confiabilidad de los datos de los estudios [13], lo que respalda el uso de la orden de trabajo como documento que enlaza la planificación de un experimento con los recursos que consume. En el sistema propuesto, la orden de trabajo cumple precisamente esa función: formaliza el requerimiento de materiales de cada experimento y activa su despacho.

B. Estrategias de Agrupamiento Físico (Kitting)

Una vez establecidas las órdenes de trabajo (OT), se requiere una técnica utilizada en la logística moderna denominada *kitting*, que consiste en recolectar, agrupar y suministrar componentes individuales como una única unidad logística o "kit" antes de enviarlos al área de ensamblaje o experimentación [14]. Esta técnica permite una presentación de piezas eficiente en espacio que favorece la flexibilidad, la calidad y la eficiencia en las estaciones de trabajo, aunque la preparación de los kits consume horas-hombre [15]. Este concepto industrial, trasladado a un ambiente científico, se traduce en el método de creación de cajas de experimento o de transporte, que facilita la trazabilidad y asegura que los elementos retornen al inventario de manera consolidada tras finalizar la OT [14]. En el sistema propuesto, estas cajas son las unidades de custodia que permiten transferir en bloque la ubicación y el responsable de todos sus componentes.

C. Trazabilidad de Inventarios Mediante Códigos QR

En la industria se requiere una trazabilidad segura y rápida de los datos para evitar la pérdida de información. Para ello se utilizan tecnologías como la Identificación por Radiofrecuencia (RFID), que es un estándar industrial, aunque su alto costo de implementación representa una barrera en entornos académicos [16]. La alternativa más cercana a las necesidades del laboratorio fue la tecnología *Quick Response* (QR), creada en 1994 por la compañía japonesa Denso Wave, que ofrece alta capacidad de almacenamiento de información y facilidad de impresión a muy bajo costo [8]. La adopción del escaneo QR integrado en navegadores web bajo la política BYOD (*Bring Your Own Device*) permite que los teléfonos inteligentes de los usuarios funcionen como lectores ópticos, democratizando la auditoría de equipos e insumos sin requerir hardware periférico especializado [17].

D. Control de Calidad y Bitácoras de Investigación

En un entorno de I+D, la documentación se convierte en un punto clave de la investigación y, en última instancia, en un indicador de éxito. Las bitácoras son instrumentos legales y científicos utilizados para registrar procedimientos, tiempos de ejecución, anomalías y resultados de forma cronológica [5]. La transición de una plantilla de bitácora a registros digitales favorece la preservación de la información a largo plazo, y los cuadernos electrónicos de laboratorio han sido analizados precisamente como alternativa al registro en papel [18]. Por su parte, los principios de BPL de la OCDE, reproducidos en el manual de la OMS, establecen que todo cambio en los datos

originales debe hacerse sin ocultar el registro previo e indicando el motivo, la fecha y la persona que lo realiza [13], principio que sustenta el diseño de bitácoras inmutables con solicitud de edición adoptado en este trabajo. Al integrar mecanismos de medición automatizada (como cronómetros digitales) para cuantificar las horas de trabajo y la recolección de evidencia multimedia, y al organizar el trabajo por actividad, las bitácoras electrónicas evitan la alteración retrospectiva de datos, facilitan la transferencia de conocimiento entre generaciones de investigadores y aseguran la reproducibilidad o continuidad de los experimentos [19].

E. Arquitectura Serverless y Google Apps Script

Para dar solución a los procesos identificados (orden de trabajo, bitácora, solicitud de componentes y escaneo QR) se plantea una arquitectura *serverless* (sin servidor físico propio), un modelo de computación en la nube en el que el proveedor gestiona dinámicamente la asignación de recursos y libera a los desarrolladores del mantenimiento de servidores físicos o virtuales, con la posibilidad de no incurrir en altos costos [20]. Jonas et al. describen este modelo como una simplificación de la programación en la nube que oculta la administración de servidores y cobra según el uso [21]. Este proyecto adopta el entorno de Google Apps Script (GAS), apoyado en Google Sheets como base de datos relacional, lo que permite ejecutar la lógica de negocio mediante peticiones asíncronas e integrarla de forma nativa con el ecosistema de Google Workspace [11]. Este enfoque ofrece alta disponibilidad y un costo operativo nulo, aunque sujeto a las cuotas de ejecución del entorno [22], lo que lo convierte en una infraestructura accesible y escalable, dentro de esos límites, para la gestión tecnológica en instituciones de educación superior [11].

F. Soluciones Existentes y Posicionamiento de la Propuesta

La gestión digital de laboratorios cuenta con soluciones que cubren parcialmente las necesidades descritas. Los cuadernos electrónicos de laboratorio sustituyen o complementan el registro en papel [18], y existen plataformas de código abierto para la gestión de datos de investigación, como openBIS, orientadas a organizar los datos y metadatos de los experimentos [23]; este tipo de plataformas suele requerir infraestructura propia y personal técnico para su instalación y mantenimiento, requisito difícil de cumplir en laboratorios con recursos limitados. Por otra parte, los trabajos revisados abordan de forma independiente los elementos que integra esta propuesta: el control de inventarios con códigos QR [8], [17], el desarrollo de sistemas de control de inventario [10], la digitalización de documentos con dispositivos móviles [9] y el uso de Google Workspace y Apps Script como plataforma de gestión institucional [11].

Frente a estas alternativas, el aporte del sistema propuesto se sitúa en tres aspectos: (i) opera sin servidores propios ni licencias, lo que reduce la barrera de adopción en instituciones con recursos limitados; (ii) incorpora la cadena de custodia por lotes mediante cajas de transporte y de experimento, de modo que el cambio de custodia de un contenedor actualiza en cascada a todos sus componentes; y (iii) combina un modelo *pull* de despacho con bitácoras inmutables, lo que vincula la planificación del experimento, el consumo de recursos y el registro del conocimiento generado. Esta combinación se orienta al desarrollo regional, al permitir que universidades y laboratorios de contextos con presupuestos limitados adopten prácticas estandarizadas de gestión sin una inversión inicial en infraestructura.

III. METODOLOGÍA

El desarrollo del sistema con Google Apps Script surgió de la idea de automatizar el inventario de un instituto de investigación. Sin embargo, el instituto ya había estandarizado algunos procesos estratégicos, como las órdenes de trabajo y las bitácoras, cuyos documentos se elaboraban con ayuda de plantillas en Word o en Google Docs; se observó que el registro de la documentación era complicado y que, en algunos casos, los archivos llegaban a extraviarse. Por ello, se planteó integrar estos procesos al sistema para lograr su trazabilidad, dado que contribuyen de manera importante al avance y desarrollo del instituto.

El diagnóstico se basó en la observación directa de los procesos que el instituto ya había estandarizado (órdenes de trabajo y bitácoras elaboradas con plantillas) y de los problemas detectados en ellos: el registro complicado de la documentación y el extravío de archivos. En este diagnóstico participaron la coordinación del instituto, investigadores y estudiantes, la mayoría en proyectos relacionados con investigación. Con base en ello, el criterio para seleccionar la información que sirvió de base al diseño fue incluir los procesos y registros necesarios para garantizar la trazabilidad de equipos, insumos y conocimiento generado, y la continuidad de los proyectos. El desarrollo fue iterativo, incorporando la retroalimentación de los usuarios durante la fase beta (Sección III-J).

A. Diseño y Estructura del Sistema

A partir del análisis se definió una estructura de tres etapas para que la información tenga un flujo sencillo y constante (Fig. 1). La primera etapa consiste en una interfaz visualmente amigable, en forma de aplicación web accesible para cualquier miembro mediante un navegador, que integra las funciones de las cámaras de sus dispositivos para el escaneo de los códigos QR. La segunda etapa es la integración de los servicios de Google, con Google Apps Script como el cerebro que procesa toda la información del sistema. Por último, la tercera etapa corresponde al almacenamiento, que utiliza Google Sheets como base relacional y Google Drive como repositorio de evidencia (imágenes, videos y documentos).

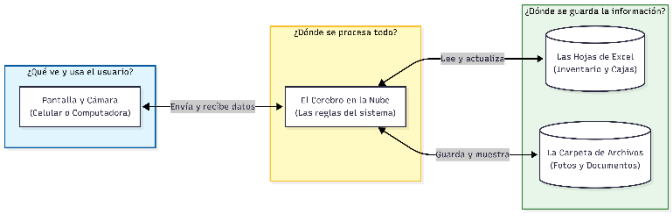


Fig. 1 Estructura utilizando Google Apps Script

B. *Flujo de Información y Cadena de Custodia*

El núcleo operativo de la aplicación web se fundamenta en el concepto de cadena de custodia. Cada movimiento físico de un componente requiere el registro de un conjunto permanente de datos: componente, ubicación física exacta y responsable legal (Fig. 2). Para gestionar operaciones complejas, el proceso se definió estrictamente bajo un modelo operativo de producción por lotes, ya que se manejan grupos de componentes o insumos para cada tipo de proyecto o investigación. Bajo este enfoque, se implementó un sistema de *kitting* para aprovechar de manera eficiente el espacio utilizado, que permite agrupar los componentes individuales en entidades lógicas y físicas superiores denominadas Cajas de Transporte (CT) o Cajas de Experimento (CE). Es posible definir otros tipos de cajas, como las Cajas de Almacenamiento (CA), pero la existencia de las CT y CE es la que fundamenta la agrupación de los componentes por proyecto. Al transferir la custodia de uno de estos contenedores, el sistema actualiza en cascada la ubicación y el responsable de todos los elementos en su interior, agilizando los tiempos logísticos.



Fig. 2 Flujo de información para la transferencia de custodia

C. *Diseño de la Base de Datos*

Para la arquitectura de datos del sistema se utilizó Google Sheets, donde se crearon hojas que gestionan la información del inventario, las órdenes de trabajo y las bitácoras. La relación entre las hojas se establece mediante el ID único del componente, el código de la orden de trabajo (cuando corresponde) y el código de bitácora, lo que facilita la vinculación de la información y evita su duplicidad. Esta estructura permite centralizar la información, facilitar las consultas desde la aplicación móvil y el *dashboard* web, así como mantener un historial completo de las operaciones efectuadas sobre cada recurso del laboratorio. De igual manera, Google Drive es fundamental para el funcionamiento del sistema, pues se utilizan carpetas para guardar y gestionar datos como los manuales, las imágenes del inventario, los reportes de las bitácoras y los reportes de las órdenes de trabajo aprobadas.

D. *Gestión de Usuarios*

Dado que el IICAT maneja equipos de alto valor y datos de investigación sensibles, se implementó un esquema de autenticación nativo que aprovecha el ecosistema de Google Workspace, en el cual el acceso se restringe según el tipo de usuario. Los usuarios se segmentan en dos jerarquías principales: los Administradores, con privilegios para gestionar el catálogo general, aprobar o rechazar OT, ejecutar el *kitting* y auditar bitácoras; y los Investigadores/Estudiantes, con acceso restringido a las interfaces operativas de consulta, solicitud y registro. Este aislamiento de privilegios previene la alteración no autorizada de las bases de datos relacionales.

E. *Módulos del Sistema*

Sobre la arquitectura de tres capas y el principio de cadena de custodia descritos previamente, el sistema se organiza en cinco módulos que cubren el ciclo completo de gestión del laboratorio (Fig. 3). El módulo de Inventario registra los componentes bajo una lógica adaptada a las necesidades del laboratorio, con dos tipos de naturaleza de inventario (Único y Consumible), y administra categorías, subcategorías, disponibilidad, stock, unidades, ubicaciones y responsable. El módulo de Movimientos Rápidos se diseñó bajo la lógica de un Sistema de Supermercado (*Pull System*), en el cual la transferencia de componentes se realiza únicamente en función de las necesidades y solicitudes generadas por los usuarios. Este enfoque, fundamentado en los principios de la manufactura esbelta (*Lean Manufacturing*) [24], permite mantener un flujo controlado de materiales y evitar movimientos innecesarios. Asimismo, el módulo incorpora la lectura masiva de códigos QR en ráfaga para agilizar las transferencias y una funcionalidad de *kitting* que facilita el armado y desarmado de Cajas de Experimento [14]. El módulo de Órdenes de Trabajo y Despacho digitaliza la planificación científica, desde la formulación del experimento hasta la entrega física de los materiales. El módulo de Control de Bitácoras permite el seguimiento de cada proyecto mediante registros de tiempo y evidencia. Finalmente, el módulo de Manuales o Documentación centraliza los manuales técnicos del laboratorio. Cabe mencionar que se encuentra en desarrollo un módulo adicional, el de Notificaciones, cuya función será enviar avisos a determinados usuarios sobre solicitudes, noticias o cambios en el sistema.

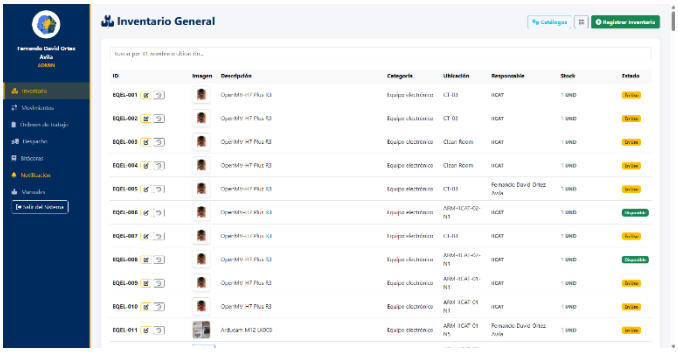


Fig. 3 Panel principal del sistema, mostrando los cinco módulos funcionales

F. *Estandarización de Órdenes de Trabajo (OT)*

El módulo de Órdenes de Trabajo digitaliza la planificación del diseño experimental y sigue el proceso que se muestra en la Fig. 4. El flujo inicia cuando el investigador estructura su método de trabajo definiendo el título del experimento o proyecto, los objetivos generales y específicos, la metodología y los resultados esperados. Una vez elaborada la OT, el investigador formula su requerimiento de componentes (lista de materiales a utilizar) y selecciona los materiales a través de una interfaz de carrito de compras. A diferencia de un sistema *push* tradicional, donde el material se distribuye sin una señal de demanda explícita, el movimiento de materiales en este

sistema se activa mediante un mecanismo tipo *pull*: la OT actúa como una señal de demanda real, análoga a una tarjeta Kanban que autoriza la extracción de componentes desde el inventario hacia la estación de trabajo del investigador [25]. Una vez aprobada la OT, se procede al despacho, ya sea de piezas sueltas o mediante el proceso de *kitting* con escaneo de código QR o con un proceso de lista de verificación manual [14], transfiriendo oficialmente la responsabilidad legal al investigador.

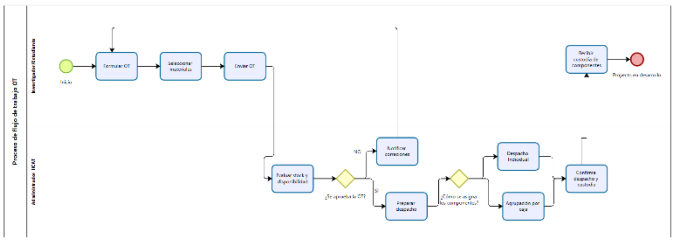


Fig. 4 Proceso de flujo de trabajo de las OT

G. *Control Mediante Bitácoras*

Para asegurar la preservación del conocimiento y contrarrestar la pérdida de información, se desarrolló un módulo de bitácoras que sigue el proceso mostrado en la Fig. 5. El investigador activa un cronómetro web integrado al iniciar sus actividades en el laboratorio, lo que permite cuantificar las horas invertidas en el experimento o proyecto. El sistema despliega un apartado para detallar la metodología aplicada y recolectar evidencia multimedia. Una vez guardado, el registro adopta un estado de inmutabilidad (solo lectura). Cualquier modificación retrospectiva para la corrección de errores exige la emisión de una "Solicitud de Edición", la cual bloquea el registro hasta que sea auditada y autorizada por la administración, garantizando así la integridad y fiabilidad de los datos científicos a largo plazo.

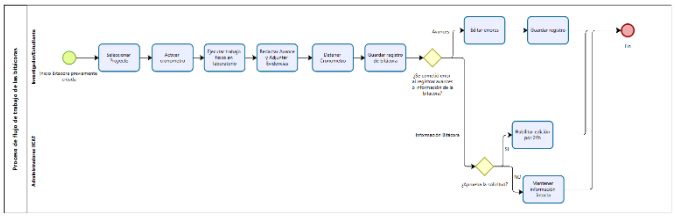


Fig. 5 Proceso de flujo de trabajo de las bitácoras

H. *Interfaz del Módulo de Movimientos*

En este módulo se ejecutan los movimientos de componentes (Fig. 6), con la posibilidad de no generar una OT, ya que en muchas ocasiones se presentan actividades imprevistas cuyos movimientos, a pesar de ello, es necesario registrar. Además de registrar movimientos, el módulo permite armar y desarmar Cajas de Transporte o de Experimento (CT/CE) según los proyectos, para tener una mejor visualización de los componentes que se utilizan en cada uno. Por ello, el sistema contempla una vía de excepción que permite ejecutar transferencias rápidas sin una OT asociada, de forma similar a los retiros de emergencia contemplados en la práctica de sistemas Kanban reales, sin comprometer el registro de custodia de los componentes.

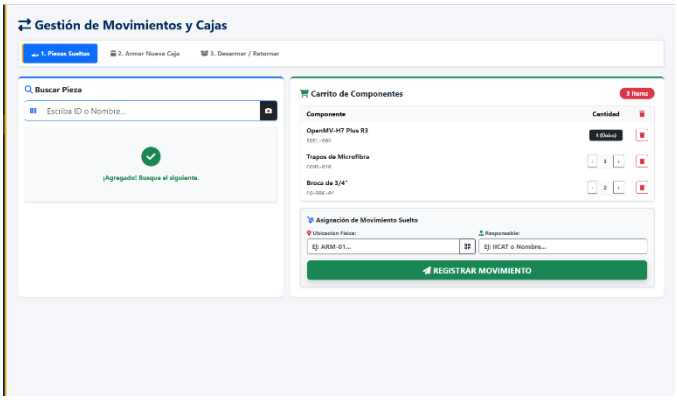


Fig. 6 Módulo de movimientos y cajas

I. *Módulo de Manuales*

Para localizar la documentación de los equipos utilizados en el laboratorio y mantenerla centralizada, en lugar de dispersa en carpetas locales, se implementó un módulo de gestión documental que actúa como repositorio institucional de manuales técnicos en formato PDF. Este módulo integra un visor que permite la consulta directa sin necesidad de descargar los archivos y, por último, una sección dedicada a un foro de discusión compartido con todos los usuarios del sistema, para la retroalimentación sobre cualquier error, duda u observación acerca de un documento específico.

J. *Fase Beta y Prueba Piloto*

Para comprobar la efectividad del sistema y la mejora de los procesos de registro de información dentro del instituto (en este caso, el IICAT), se planteó una fase beta de prueba y se puso el sistema en uso activo por parte de los miembros del instituto, con el fin de observar y analizar cómo interactúa con la carga de trabajo de cada usuario. La validación siguió un enfoque mixto, con dos componentes complementarios. El primero fue una observación cualitativa continua: durante la fase beta se registraron los errores en la ejecución de funciones y se realizó una retroalimentación semanal de puntos clave para mejorar, evaluando aspectos como el nivel de organización en la planificación científica de cada miembro, la cantidad de información sobre el avance de los proyectos disponible para los administradores, la trazabilidad de los componentes del inventario y la consistencia del registro histórico de las órdenes realizadas.

El segundo componente fue una encuesta estructurada, aplicada mediante Google Forms, orientada a valorar si los cambios introducidos en los procesos del laboratorio contribuyen a resolver la problemática identificada. Se recibieron 16 respuestas; una correspondió a un miembro que declaró no utilizar el sistema actualmente, por lo que se excluyó, y el análisis se basó en las 15 respuestas de usuarios activos. El instrumento incluyó afirmaciones en escala Likert de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo) agrupadas en cuatro ámbitos de la problemática: (i)

documentación y registro (facilidad para documentar actividades frente al método previo e idoneidad de las bitácoras para registrar avances); (ii) pérdida de información (seguridad de que los datos de los proyectos no se perderán); (iii) continuidad del conocimiento (utilidad de los manuales digitales e influencia de las bitácoras en la práctica investigativa); y (iv) gestión de recursos y trazabilidad (facilidad para solicitar materiales mediante una OT e importancia de conocer quién tiene cada componente). Además, se incluyeron una afirmación global sobre si el sistema mejora la gestión de los procesos frente al método anterior, la intención de continuar usándolo en lugar de las plantillas, la facilidad de operación de la interfaz, la frecuencia de uso y una pregunta de selección múltiple sobre los problemas experimentados. Las respuestas se procesaron mediante estadística descriptiva: la media de cada afirmación y el porcentaje de respuestas favorables (valores 4 y 5). La prueba piloto se ejecutó durante un periodo de un mes, iniciando a finales del mes de mayo del 2026, y la encuesta se respondió del 13 al 15 de julio de 2026.

K. Alcance y Limitaciones del Sistema

El sistema desarrollado abarca la gestión integral de inventario, la trazabilidad de custodia, la planificación y despacho de órdenes de trabajo, el registro de bitácoras y la gestión documental del IICAT, operando en su totalidad dentro del ecosistema de Google Workspace. Su alcance se limitó a los usuarios, proyectos y componentes activos del instituto durante el periodo de desarrollo e implementación piloto. Se tienen previstos otros desarrollos, como un control de costos que se integraría de igual forma al sistema; sin embargo, algunos temas permanecen sin resolver por el momento, ya que las necesidades actuales del laboratorio no los solicitan y quedan fuera del alcance del sistema. Entre ellos están los procesos de adquisición y compra de nuevos componentes y su integración con los sistemas administrativos o financieros institucionales de la universidad, los cuales continúan gestionándose de forma externa; el sistema únicamente refleja el inventario una vez que los componentes ingresan físicamente al laboratorio. Asimismo, el sistema no contempla el mantenimiento predictivo, correctivo ni preventivo, ni la calibración periódica de equipos; esta última sí forma parte de las necesidades del laboratorio, pero aún no se ha definido la estructura del proceso con el que se ejecutarán las operaciones de mantenimiento de los equipos.

En cuanto a las limitaciones técnicas, la dependencia de Google Apps Script implica la sujeción a las cuotas de ejecución del entorno, como el límite de tiempo de ejecución por script y el número de llamadas diarias a los servicios de Google [22], lo cual condiciona la escalabilidad del sistema ante un crecimiento significativo del volumen de usuarios o de transacciones concurrentes. No obstante, esta condición no representó un problema durante la prueba piloto, aspecto que se retoma en la Sección V. Por último, la validación se limitó a una prueba piloto en un único instituto, con 15 usuarios activos y sin un grupo de control ni una medición cuantitativa previa del método manual, por lo que los resultados deben interpretarse como evidencia de la percepción de los usuarios y de la viabilidad del sistema, y no como una medición causal de su impacto.

IV. RESULTADOS

En la etapa de prueba se lanzó el sistema a los 22 miembros del instituto de investigación, de los cuales 15 lo usaron activamente, lo que representa el 68.2% de todos los miembros. Esta cifra se considera consistente para el periodo de prueba, ya que la ausencia de los demás miembros no se debe a que no quieran adoptar el sistema; por el contrario, los miembros que no han sido usuarios activos ejecutan actividades no relacionadas con las de los demás usuarios, como es el caso de los administradores, cuyo rol es supervisar los avances de los demás. De acuerdo con el enfoque mixto descrito en la Sección III-J, los resultados que se presentan a continuación provienen de dos fuentes: los resultados cuantitativos de la encuesta estructurada de percepción en escala Likert aplicada a los 15 usuarios activos (subsección A) y los hallazgos cualitativos obtenidos mediante observación directa y retroalimentación semanal de los propios usuarios (subsección B).

A. Efecto de los Cambios en los Procesos según los Usuarios

Para valorar si los cambios introducidos en los procesos permitieron atender la problemática identificada, se aplicó la encuesta estructurada descrita en la Sección III-J. De las 16 respuestas recibidas, 15 correspondieron a usuarios activos, que son las analizadas: 9 usan el sistema de 2 a 3 veces por semana, 5 una vez por semana y 1 rara vez. Las afirmaciones se calificaron en una escala en la que 1 = Totalmente en desacuerdo, 3 = Neutral y 5 = Totalmente de acuerdo, y la Fig. 7 resume el porcentaje de usuarios con respuesta favorable (4 o 5) en cada una.

En el ámbito de la documentación y el registro, los 15 usuarios (100%) coincidieron en que documentar sus actividades es ahora más fácil que antes de usar el sistema (4.73/5.0) y en que las bitácoras electrónicas son adecuadas para registrar los avances de cada proyecto (4.80/5.0), lo que atiende directamente la falta de estandarización y el registro complicado que se observaban con las plantillas. En cuanto a la pérdida de información, los 15 usuarios (100%) manifestaron seguridad de que los datos de sus proyectos no se perderán al registrarse en el sistema (4.67/5.0), frente al extravío de archivos que ocurría con el método anterior. Respecto de la continuidad del conocimiento, 13 de 15 usuarios (86.7%) consideraron que contar con manuales digitales ayuda a la continuidad de los proyectos (4.47/5.0) y 12 de 15 (80%) que las bitácoras han influido en su acercamiento a la práctica investigativa (4.47/5.0). En la gestión de recursos, 13 de 15 usuarios (86.7%) valoraron la importancia de conocer quién tiene cada componente (4.47/5.0), mientras que la facilidad para solicitar materiales

mediante una OT fue el indicador con menor valoración: 11 de 15 usuarios favorables (73.3%, 4.00/5.0) y 4 neutrales. A nivel global, 13 de 15 usuarios (86.7%) afirmaron que el sistema mejora la forma en que se gestionan los procesos del laboratorio frente al método anterior (4.40/5.0), 14 de 15 (93.3%) preferirían continuar con el sistema en lugar de volver a las plantillas (4.67/5.0) y los 15 consideraron fácil de operar la interfaz (4.73/5.0). No se registraron respuestas en desacuerdo en ninguna de las afirmaciones, salvo la de un usuario que utiliza el sistema rara vez y no preferiría continuar con él.

En conjunto, estos resultados indican que, desde la percepción de quienes lo usan, los cambios introducidos en los procesos (documentación digital estandarizada, bitácoras inmutables, órdenes de trabajo, manuales centralizados y trazabilidad de custodia) permitieron atender la problemática planteada, principalmente en la documentación, la preservación de la información y la continuidad de los proyectos, con oportunidades de mejora en la solicitud de materiales mediante OT. Dado el tamaño de la muestra (n = 15) y la ausencia de un grupo de control, estos resultados reflejan la percepción de los usuarios y no constituyen una medición causal del impacto del sistema.

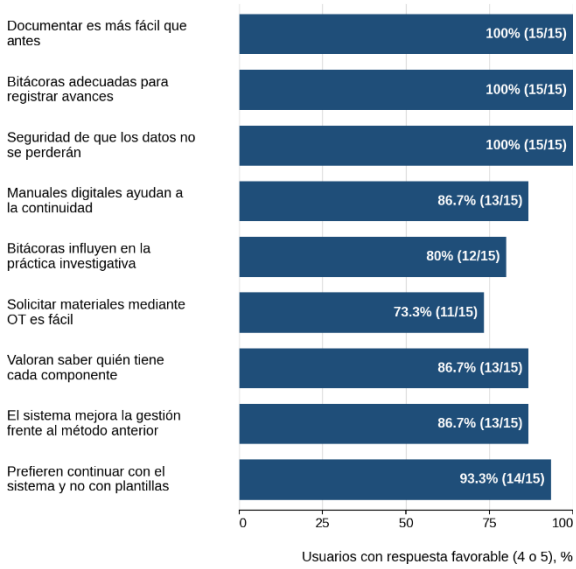


Fig. 7 Porcentaje de usuarios con respuesta favorable (4 o 5) en cada afirmación sobre el efecto del sistema en los procesos (n = 15).

B. Mejoras Surgidas Según la Retroalimentación de los Usuarios

El uso continuo del sistema permitió identificar un orden más claro en la manera en que se documentan las bitácoras de laboratorio. En comparación con el registro previo en plantillas de texto, se observó que la documentación se realiza de forma más correcta, estructurada y clara, favorecida probablemente por la metodología de realizar la bitácora por actividades y por la vinculación directa de cada entrada con un proyecto y un cronómetro de trabajo. Si bien no todos los miembros registran sus actividades de manera diaria (aspecto que se considera pertinente analizar en relación con la disciplina de los investigadores para registrar sus hallazgos), se destacó particularmente la capacidad de algunos investigadores para documentar sus hallazgos con un nivel de detalle notablemente alto, lo que sugiere que el sistema ayuda y facilita el proceso de registro de datos y la continuidad de los proyectos, aunque no la garantiza por sí solo, dado que una mejor práctica de documentación científica depende también de la disciplina individual de cada usuario.

A partir de las observaciones recogidas durante las sesiones semanales de retroalimentación, se realizaron los siguientes ajustes al sistema. En primer lugar, se modificó el flujo de edición de las bitácoras dentro del registro de avances, permitiendo la corrección de los registros sin comprometer la integridad e inmutabilidad del historial. Asimismo, se mejoró la visualización del historial de responsables de cada componente en el módulo de inventario, facilitando la identificación de la cadena de custodia de los recursos a lo largo del tiempo, en lugar de mostrar únicamente al responsable actual. De igual forma, el módulo de Movimientos Rápidos fue optimizado casi en su totalidad como resultado de la retroalimentación de los usuarios, debido a que esta funcionalidad se utiliza con frecuencia durante las operaciones del laboratorio. Además, se incorporaron mejoras en el registro de inventario mediante descripciones más específicas para cada componente, lo que redujo la ambigüedad de los registros iniciales y permitió realizar búsquedas más precisas dentro del catálogo. Finalmente, se implementaron catálogos estandarizados para las categorías, subcategorías, unidades de medida y ubicaciones, como se muestra en la Fig. 8, con el propósito de unificar los criterios de registro del inventario. Esta mejora permitió eliminar inconsistencias derivadas de diferentes formas de nombrar un mismo elemento, como “Clean Room”, “Cuarto limpio” o “Cuarto Limpio”, que, aunque hacen referencia a la misma ubicación, dificultaban la consistencia de los registros y afectaban la trazabilidad del inventario a largo plazo.

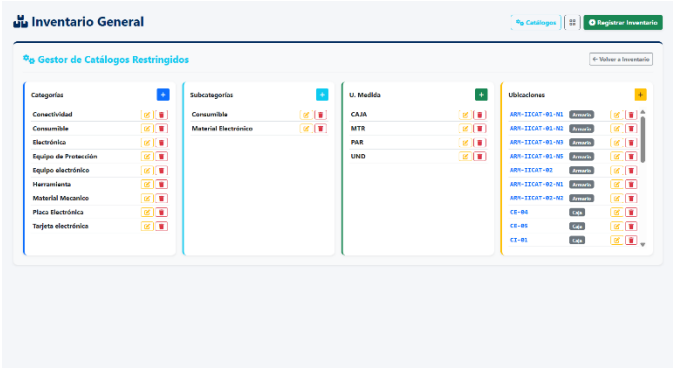


Fig. 8 Estandarización de catálogos para el inventario

En conjunto, los ajustes realizados confirman que un proceso de mejora continua, apoyado en la observación directa y en la retroalimentación periódica de los usuarios, contribuyó al perfeccionamiento del sistema mediante mejoras que no habían sido contempladas durante la etapa inicial de diseño.

C. Limitaciones Identificadas Durante la Implementación y Estrategias de Mitigación

Durante la fase beta se detectó una limitación en el cronómetro web del módulo de Bitácoras. Al minimizar la ventana del navegador o cambiar a otra aplicación, el conteo del tiempo se detiene temporalmente, lo que ocasiona una lectura errónea en el registro automático de las horas trabajadas. En la encuesta, 11 de los 15 usuarios activos (73.3%) reportaron haber experimentado este problema, por lo que es la limitación señalada con mayor frecuencia. Dado que esta función es un elemento fundamental para la trazabilidad temporal del sistema, su corrección ha sido identificada como una prioridad para futuras versiones. Al momento de elaborar el presente artículo, esta limitación permanece pendiente de solución.

Como estrategia técnica de mitigación se propone dejar de depender de un contador que se ejecuta en la página y calcular el tiempo transcurrido a partir de marcas de tiempo (*timestamps*): al iniciar la actividad se registra la hora de inicio en el servidor (Google Sheets) y, al finalizarla, la duración se obtiene como la diferencia entre la hora de cierre y la de inicio, con independencia de que el navegador haya permanecido en segundo plano. De forma complementaria, el estado de la actividad en curso podría conservarse en el almacenamiento local del navegador (por ejemplo, *localStorage* o *IndexedDB*) para recuperar el cronómetro si la pestaña se recarga o se cierra por error, lo que deberá validarse dentro del entorno de ejecución de Google Apps Script. Estas estrategias se plantean como trabajo futuro y no formaron parte de la versión evaluada.

En segundo lugar, al operar el sistema completamente en la nube bajo la arquitectura *serverless* descrita en las secciones II-E y III-A, se identificó una dependencia total de la conexión a internet. Durante el periodo de prueba se presentaron casos en los que el sistema dejó de responder ante la ausencia de conexión Wi-Fi o de datos móviles, interrumpiendo temporalmente el registro de movimientos o bitácoras hasta restablecer la conectividad; 7 de los 15 usuarios (46.7%) reportaron este problema en la encuesta. Esta limitación es inherente al enfoque *serverless* adoptado y representa un punto a considerar en escenarios del laboratorio con conectividad inestable.

Para mitigar esta dependencia se plantea un esquema de registro diferido: cuando no haya conexión, los movimientos y los registros de bitácora se guardarían temporalmente en el almacenamiento local del dispositivo, con su marca de tiempo de origen, y se sincronizarían con Google Sheets de forma automática al restablecerse la conectividad, preservando el orden cronológico y la cadena de custodia. Dado que las bitácoras son registros inmutables, cada registro sincronizado conservaría su hora original de captura, de modo que el retraso en la transmisión no altere la trazabilidad temporal. Al igual que la anterior, esta estrategia se propone como trabajo futuro y no formó parte de la versión evaluada.

Además de estas dos limitaciones, la encuesta permitió identificar otras dos: 4 de los 15 usuarios (26.7%) reportaron no encontrar un componente en el sistema, aspecto que podría estar relacionado con registros de inventario aún incompletos y que debe verificarse, y 1 usuario (6.7%) señaló dificultad para escanear códigos QR. En conjunto, 13 de los 15 usuarios (86.7%) reportaron al menos uno de los problemas consultados, lo que muestra que, aunque el sistema atiende la problemática de fondo, requiere correcciones técnicas y de completitud del inventario.

V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante la fase piloto del sistema demuestran un avance importante en la organización y estandarización del trabajo dentro del Instituto de Investigaciones de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas, al resolver problemas de registro y continuidad de la información comunes en laboratorios de investigación [5]. Los métodos de mejora continua contribuyeron a desarrollar un método de trabajo digital que obligó a mantener un orden estricto que las plantillas anteriores no podían garantizar. Según la encuesta, la totalidad de los usuarios activos coincidió en que documentar es ahora más fácil, en que las bitácoras son adecuadas para registrar avances y en que sus proyectos no se perderían, lo que atiende los problemas de registro complicado y extravío de archivos que originaron este trabajo.

Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Santa Marín y Buitrago-Sierra, quienes señalan que los procesos de aseguramiento de la calidad en laboratorios de investigación aportan beneficios en la organización documental y la estandarización de procesos [5]; en este trabajo, dichos beneficios se buscaron mediante una herramienta de bajo costo y no mediante un proceso de acreditación, lo que amplía las alternativas disponibles para laboratorios con recursos limitados. En relación con el registro electrónico, el diseño de bitácoras inmutables con solicitud de edición es consistente con el principio de las BPL de no ocultar el registro previo al modificar datos originales [13] y con el análisis de los cuadernos electrónicos como alternativa al papel [18], aunque, a diferencia de las plataformas dedicadas [23], esta propuesta no requiere infraestructura propia. Respecto de la arquitectura, la economía y la alta disponibilidad atribuidas a Google Apps Script [11] se confirmaron en la práctica, pero también se hicieron visibles limitaciones propias del modelo *serverless*, en línea con los retos técnicos y problemas abiertos que se identifican para este paradigma [20]: la dependencia de la conectividad y las cuotas de ejecución del entorno [22], que no afectaron a los 15 usuarios del piloto, pero condicionarían la escalabilidad ante un crecimiento significativo.

Sin embargo, la experiencia práctica también confirmó que la herramienta por sí sola no asegura la constancia en los registros diarios; el éxito continuo del sistema requiere el compromiso y la disciplina de cada investigador o estudiante para documentar sus avances de manera constante y adecuada, ya que se han presentado casos en los que los usuarios registran

sus hallazgos de manera superficial, sumado a la baja frecuencia de uso en algunos casos. Finalmente, desarrollar toda la plataforma sobre los servicios en la nube de Google Apps Script demostró ser una solución económica y altamente disponible [11], pero las limitaciones identificadas durante las pruebas (la detención del cronómetro web al minimizar la pantalla, los tiempos de espera en algunos procesos dentro del sistema y la pérdida total de respuesta sin conexión a internet) representan puntos críticos que deben ser abordados. Estas fallas no cuestionan la efectividad de la plataforma, sino que definen claramente que los próximos pasos del desarrollo deben enfocarse en crear mecanismos que permitan al laboratorio seguir operando sin interrupciones, como el registro mediante marcas de tiempo y el almacenamiento local con sincronización diferida descritos en la Sección IV-C, o en migrar el sistema a otra estructura lógica con una base de datos diferente, siempre manteniendo el concepto *serverless* y la permanencia de los datos en la nube [20].

VI. Conclusiones

El sistema contribuyó a resolver la pérdida de información y el desorden que provocaba el uso de plantillas manuales, reemplazándolas por un registro digital estandarizado. Según la encuesta aplicada a los usuarios activos, los cambios en los procesos permitieron que los 15 documenten sus actividades con mayor facilidad, consideren adecuadas las bitácoras inmutables y tengan seguridad de que los datos de sus proyectos no se perderán, y que 13 de 15 consideren que el sistema mejora la gestión de los procesos frente al método anterior. Las OT mantienen una organización de trabajo sólida, orientada a inculcar el espíritu de investigación en las nuevas generaciones, aunque la solicitud de materiales mediante OT fue el proceso con menor valoración. Sin embargo, se concluye que la herramienta tecnológica debe ir acompañada del compromiso y la disciplina de los investigadores para crear un verdadero hábito de documentación diaria.

La aplicación de un modelo de entrega de materiales basado en órdenes de trabajo y transferencias controladas resultó una solución práctica para el entorno del laboratorio. Mediante la ingeniería de procesos se estructuraron primero las bases de trabajo y, con apoyo de la metodología de mejora continua, se implementaron ayudas tecnológicas para cubrir las carencias en los fundamentos del proceso. Se identifican las dificultades actuales del sistema, pero también las oportunidades de solventarlas paso a paso.

Desarrollar la plataforma con los servicios gratuitos de Google (Google Apps Script y Workspace) resultó ser una alternativa económica, accesible y funcional, adecuada para instituciones académicas con presupuestos limitados, lo que aporta una vía replicable para fortalecer la gestión de la investigación en contextos de desarrollo regional. A pesar de estos beneficios, la prueba piloto dejó en evidencia dependencias tecnológicas importantes: la necesidad de una conexión constante a internet, la velocidad de respuesta del sistema cuando se solicita información, la dependencia de los servicios de Google para operar y limitaciones actuales como el cronómetro de registro de horas de trabajo, que muestra que el registro automático de datos fidedignos puede resultar complicado en algunos casos. Estas limitaciones trazan el camino del trabajo futuro, que prioriza el registro de tiempos mediante marcas de tiempo y el almacenamiento local seguro con sincronización diferida cuando falle la conexión a la red (Sección IV-C), así como la validación del sistema en otros laboratorios, con instrumentos de usabilidad estandarizados y mediciones cuantitativas comparativas frente al método manual.

Agradecimiento

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y al Instituto de Investigaciones de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas (IICAT) por el respaldo institucional y las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación. De manera especial, agradezco al Ing. Fernando Zorto y al Ing. David Pavón por su invaluable mentoría y dirección a lo largo del proyecto, así como al Ing. Wenceslao Bejarano y a todo el equipo del IICAT, cuya disposición y constante retroalimentación durante la implementación del sistema fueron fundamentales para la validación y mejora continua del proyecto.

Referencias

[1] D. Gonzalo Eslava, “La función social de la investigación,” *Investigaciones Andina*, vol. 20, n.º 36, pp. 5–8, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=239059788001

[2] L. P. Freedman, I. M. Cockburn y T. S. Simcoe, “The economics of reproducibility in preclinical research,” *PLOS Biol.*, vol. 13, n.º 6, art. e1002165, 2015, doi: 10.1371/journal.pbio.1002165.

[3] M. D. Wilkinson *et al.*, “The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship,” *Sci. Data*, vol. 3, art. n.º 160018, 2016, doi: 10.1038/sdata.2016.18.

[4] C. Valenzuela Velasco, G. Benalcázar Dalfo y Z. Delgado Saeteros, “Gestión de inventarios en organizaciones de emprendimiento: Una aproximación teórica,” *Prohominum*, vol. 6, n.º 2, pp. 193–204, 2024, doi: 10.47606/ACVEN/PH0242.

[5] J. F. Santa Marín y R. Buitrago-Sierra, “Aseguramiento de la calidad como oportunidad de mejora en los laboratorios de investigación,” *TecnoLógicas*, vol. 25, n.º 55, art. e2652, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/journal/3442/344272383015/

[6] L. Shankar, C. D. Singh y R. Singh, “Challenges and solutions for implementing computerized maintenance management system in manufacturing industries,” *ShodhKosh: J. Vis. Perform. Arts*, vol. 5, n.º 1, pp. 37–50, 2024, doi: 10.29121/shodhkosh.v5.i1.2024.3282.

[7] M. Á. Espíndola Pérez *et al.*, “Revisión de la literatura sobre la estandarización de procesos,” Repositorio Institucional CIATEQ, 2020. [En línea]. Disponible en: https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/426/1/Revision%20de%20la%20literatura%20sobre%20la%20estandarizacion.pdf

[8] G. E. Silva-Peñafiel, S. D. Caicedo-Villamarin, Á. A. Flores-Lescano y V. A. Cusco-Vinueza, “Diagnóstico de lectura de códigos QR para llevar información de la trazabilidad,” *Polo del Conocimiento*, vol. 7, n.º 8, pp. 2500–2513, 2022. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042838

[9] E. A. Cisneros Prieto *et al.*, “Digitalización de documentos en una institución de educación superior: beneficios de las aplicaciones móviles para escaneo,” 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/download/91222592/276380015.pdf

[10] L. M. Corella Parra y J. Olea Miranda, “Desarrollo de un sistema de control de inventario para una empresa comercializadora de sistemas de riego,” *Ing. Investig. Tecnol.*, vol. 24, n.º 1, art. 006, 2023, doi: 10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.006.

[11] D. C. Feria Vega, “ERP escolar basado en Google Workspace, Apps Script y Firebase: gestión y registro de matrícula,” 2025. [En línea]. Disponible en: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26875

[12] F. P. Gonçalves, “Bitácora de laboratorio: una investigación en la enseñanza de la química en nivel superior,” *Educ. Quím.* [En línea]. Disponible en: https://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/63706

[13] UNDP/World Bank/WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases (TDR), *Handbook: Good Laboratory Practice (GLP): Quality Practices for Regulated Non-clinical Research and Development*, 2.ª ed. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud, 2009. [En línea]. Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08b53ed915d3cfd000c6c/glp-handbook.pdf

[14] S. Ahmed *et al.*, “Reorganization of inventory to improve kitting efficiency and maximize space utilization,” *Manuf. Lett.*, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384632300189X

[15] R. Hanson y L. Medbo, “Aspects influencing man-hour efficiency of kit preparation for mixed-model assembly,” *Procedia CIRP*, vol. 44, pp. 353–358, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.02.064.

[16] A. Correa Espinal *et al.*, “Sistemas de identificación por radiofrecuencia, código de barras y su relación con la gestión de la cadena de suministro,” *Estudios Gerenciales*, vol. 26, n.º 116, pp. 115–141, 2010. [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21218552006

[17] V. A. Cusco Vinueza, D. K. Chicaiza Angamarca, L. R. Quisaguano Collaguazo y G. E. Silva Peñafiel, “Sistema de control de recursos utilizando código QR mediante aprendizaje supervisado, implementando una plataforma web para la gestión de bienes informáticos,” *Revista Odigos*, vol. 5, n.º 1, pp. 25–47, 2024, doi: 10.35290/ro.v5n1.2024.996.

[18] S. Kanza *et al.*, “Electronic lab notebooks: can they replace paper?,” *J. Cheminformatics*, vol. 9, art. n.º 31, 2017, doi: 10.1186/s13321-017-0221-3.

[19] S. Guerrero *et al.*, “Uso de Microsoft OneNote como cuaderno electrónico de laboratorio,” *Tsafiqui*, n.º 12, pp. 25–36, 2019. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8270471

[20] I. Baldini *et al.*, “Serverless computing: Current trends and open problems,” arXiv:1706.03178, 2017. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/1706.03178

[21] E. Jonas *et al.*, “Cloud programming simplified: A Berkeley view on serverless computing,” arXiv:1902.03383, 2019. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/1902.03383

[22] Google Developers, “Cuotas para los servicios de Google.” [En línea]. Disponible en: https://developers.google.com/apps-script/guides/services/quotas?hl=es-419

[23] A. Bauch *et al.*, “openBIS: a flexible framework for managing and analyzing complex data in biology research,” *BMC Bioinformatics*, vol. 12, art. n.º 468, 2011, doi: 10.1186/1471-2105-12-468.

[24] J. A. León-Duarte *et al.*, “Implementación de Kanban para incrementar la efectividad de un almacén tipo supermercado en una empresa manufacturera,” 2023. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9239343

[25] B. Martins *et al.*, “Implementation of a pull system – A case study of a polymeric production system for the automotive industry,” *Manag. Syst. Prod. Eng.*, vol. 29, n.º 4, pp. 253–259, 2021, doi: 10.2478/mspe-2021-0031.