

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



MEJORA DEL PROGRAMA DE CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL  
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN SALUD AMBIENTAL Y TOXICOLOGÍA DEL  
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD CONFORME A LA NTS ISO/IEC 17025:2017

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

PRESENTADO POR  
BELÉN ALEXANDRA CAÑAS CARDOZA

PARA OPTAR AL GRADO DE  
LICENCIADA EN QUÍMICA Y FARMACIA

MARZO, 2026

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LICENCIADO PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANA

MAESTRA NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

SECRETARIA

LICENCIADA EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCIÓN DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL

LICENCIADA ANA LUISA CRUZ DE ALEGRÍA

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN SALUD AMBIENTAL Y TOXICOLOGÍA

LICENCIADA KATIA SOFÍA LAÍNEZ RAMÍREZ

TRIBUNAL EVALUADOR

ASESOR DE ÁREA EN INDUSTRIA FARMACÉUTICA, COSMÉTICOS,  
VETERINARIA Y PRODUCTOS AFINES.

MAESTRO ELISEO ERNESTO AYALA MEJÍA

ASESOR

LICENCIADO JULIO CESAR HENRÍQUEZ PÉREZ

TUTOR INTERNO

LICENCIADA CORINA IVETTE INTERIANO RAMÍREZ

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirme culminar mi formación universitaria, en Su tiempo y a Su manera. Por concederme la sabiduría y fortaleza en cada paso de mi vida.

A mis padres, por su amor, su confianza y el cansancio que me dio descanso. A mis hermanas, Grecia y Nicole, fuente de cariño e inspiración.

Al Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología por permitir el desarrollo de este proyecto. Agradezco a mis tutoras, Lic. Katia Lainez y Lic. Corina Interiano por su orientación, revisión y valiosos comentarios y; de forma especial, a los profesionales que no solo me instruyeron, sino que me acogieron y me hicieron sentir parte durante toda la pasantía.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos y colegas; a quienes han estado presentes desde el inicio y a quienes la vida me regaló con el tiempo, en especial aquellos que fueron refugio cuando la vida supo dar pelea. A cada persona que confió en mí, expreso mi más sincero agradecimiento por tanto apoyo y afecto.

## INDICE GENERAL

	<b>Pág. N°</b>
<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>CAPÍTULO I</b> .....	8
<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>CAPÍTULO II</b> .....	10
<b>2.0 OBJETIVOS</b> .....	11
2.1    Objetivo General.....	11
2.2    Objetivos Específicos.....	11
<b>CAPÍTULO III</b> .....	12
<b>3.0 MARCO TEÓRICO</b> .....	13
3.1    La NTS ISO/IEC 17025:2017: Principios generales .....	13
3.2    Requisito 6.4: Equipamiento.....	14
3.3    La política G 9.2: Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios .....	15
3.4    Trazabilidad metrológica en los laboratorios de ensayo .....	15
3.5    Gestión de equipamiento: Calibración, mantenimiento y control documental.....	15
3.6    Sistemas automatizados para la gestión del programa de mantenimiento y calibración ....	16
3.7    Implementación del sistema automatizado mediante Google Apps Script.....	16
3.8    Funciones básicas de codificación para la automatización.....	18
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	19
<b>4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	20
<b>CAPÍTULO V</b> .....	26
<b>5.0 CONCLUSIONES</b> .....	27
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	28
<b>6.0 RECOMENDACIONES</b> .....	29

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## ANEXOS

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°</b>		<b>Pág. N°</b>
<b>1</b>	Viñeta de identificación de expedientes y manuales	23
<b>2</b>	Base de datos del sistema de alarma	24
<b>3</b>	Notificación del sistema de alarma	24

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°</b>		<b>Pág. N°</b>
<b>1</b>	Funciones de codificación básica para la automatización	19
<b>2</b>	Identificación interna de áreas	21

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo N°</b>	
<b>1</b>	Guía técnica y de uso del sistema de alarmas de servicio de mantenimiento, calibración, caracterización y verificaciones intermedias

## RESUMEN

El trabajo se centró en la mejora del programa de calibración y mantenimiento de los equipos del Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología. El objetivo principal fue asegurar la conformidad de los procesos con la NTS ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”. Este proyecto surgió ante la necesidad de dar respuesta a la inadecuada trazabilidad y accesibilidad de los registros, así como del riesgo de omisión en la programación de los servicios críticos para los equipos.

Para abordar esta problemática, se verificó el cumplimiento del requisito 6.4 de la norma y la política G 9.2 de los Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios de Ensayo y Calibración. La metodología empleada consistió en la revisión y actualización documental del listado maestro de equipos y sus hojas de vida, junto con la reorganización física de los expedientes técnicos. Toda esta información fue integrada en una base de datos centralizada en Google Sheets, lo que permitió consolidar y estructurar los datos de manera confiable y accesible. Como producto final, se diseñó e implementó un sistema automatizado de alarmas que utiliza Google Apps Script como núcleo de lógica y programación, y Gmail como canal oficial de notificación. Este sistema monitorea las fechas de vencimiento de los servicios y envía alertas automáticas a los responsables con tres días de anticipación.

Se concluyó que estas acciones fortalecieron el sistema de gestión de la calidad, mejoraron la eficiencia operativa y garantizaron la trazabilidad de los servicios, reduciendo la intervención manual y asegurando el cumplimiento orientado al requisito de equipamiento de la norma. Se recomienda mantener la actualización sistemática de la documentación y extender el sistema automatizado para registrar también los cambios en el ciclo de vida de los equipos, consolidando así la mejora continua del laboratorio.

# **CAPÍTULO I**

## 1.0 INTRODUCCIÓN

La confiabilidad de los resultados analíticos en un laboratorio de investigación es un pilar fundamental para la toma de decisiones en materia de salud pública y vigilancia ambiental. En el Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología del Instituto Nacional de Salud, la generación de datos precisos y válidos está relacionada directamente con el correcto funcionamiento y la calibración periódica de su equipamiento. Para garantizar esta confiabilidad, los laboratorios deben operar bajo estrictos sistemas de gestión de la calidad, siendo la Norma Técnica Salvadoreña ISO/IEC 17025:2017 el marco de referencia en El Salvador que establece los requisitos de competencia técnica y gestión. Los lineamientos referentes al equipamiento se basan en el requisito 6.4 y se complementan con la política G 9.2 Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios de Ensayo y Calibración emitida por el Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA).

En el laboratorio, se identificó que el programa existente de calibración y mantenimiento presentaba fallas en la accesibilidad de los registros y en la trazabilidad metrológica, lo que comprometía la confiabilidad de los resultados y el cumplimiento normativo. Para abordar esta situación, durante el desarrollo de la práctica profesional supervisada comprendida desde abril a octubre de 2025, se ejecutó un proyecto con el objetivo de mejorar el programa de calibración y mantenimiento de los equipos. El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio y consistió en una revisión exhaustiva de la documentación existente, la reorganización física de los expedientes técnicos de cada equipo y el desarrollo de una solución tecnológica para automatizar el proceso de recordatorios de servicios.

Como resultado de este trabajo, se actualizó y validó el listado maestro de equipos y sus hojas de vida, se estandarizó el archivo físico de los expedientes y se implementó con éxito un sistema de alarmas automatizado. Este sistema, programado en Google Apps Script, procesa una base de datos en Google Sheets que consolida la información de los equipos y sus servicios programados (calibraciones, mantenimientos, etc.) y envía notificaciones de proximidad de servicios a los responsables de cada equipo a través de Gmail. Esta automatización eliminó la dependencia de recordatorios manuales, redujo el riesgo de omisiones y aseguró una respuesta oportuna, contribuyendo directamente a la mejora continua del sistema de gestión de la calidad del laboratorio y al aseguramiento de la competencia técnica de sus operaciones.

## **CAPÍTULO II**

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Mejorar el programa de calibración y mantenimiento de los equipos del Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología conforme a la NTS ISO/IEC 17025:2017.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- 2.2.1 Verificar el cumplimiento del requisito 6.4 (Equipamiento) de la NTS ISO/IEC 17025:2017 y de la política G 9.2 Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios de Ensayo y Calibración, relacionado con el proceso actual de gestión del programa de calibración y mantenimiento de equipos.
- 2.2.2 Identificar oportunidades de mejora en el proceso de gestión del programa de calibración y mantenimiento de equipos del Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología, conforme a los requisitos de la NTS ISO/IEC 17025:2017 y la política G 9.2 Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios de Ensayo y Calibración.
- 2.2.3 Desarrollar un sistema de seguimiento y control del programa de calibración y mantenimiento de equipos, que garantice la trazabilidad y accesibilidad de los registros.

## **CAPÍTULO III**

### 3.0 MARCO TEÓRICO

La gestión de calidad en laboratorios de ensayo desempeña un papel esencial para asegurar la confiabilidad de los resultados analíticos, la validez de los datos generados y la competencia técnica de las organizaciones que brindan servicios científicos<sup>1</sup>. En este contexto, la Norma Técnica Salvadoreña ISO/IEC 17025:2017 es el referente que establece los requisitos técnicos y de gestión que un laboratorio debe cumplir para demostrar su competencia.

El cumplimiento de estos requisitos no solo garantiza el correcto seguimiento de los procesos internos, sino que también incrementa la confianza de los usuarios, clientes, organismos regulatorios y la sociedad en general. En el Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología del Instituto Nacional de Salud, la rigurosidad en la gestión de equipos resulta particularmente relevante debido a que la fiabilidad de los resultados obtenidos influye directamente en los análisis relacionados con las solicitudes de vigilancia, investigación, denuncias, controles internos de empresas y muestras particulares que recibe el laboratorio; y por tanto en la salud pública.

#### 3.1 La NTS ISO/IEC 17025:2017: Principios generales

La norma ISO/IEC 17025:2017 define los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Su carácter internacional permite que los resultados producidos sean comparables y aceptados en múltiples contextos y países. Esta versión de la norma introduce un enfoque basado en riesgos, una mayor flexibilidad y control documental y un énfasis reforzado en el concepto de trazabilidad metrológica<sup>2</sup>. Estos elementos permiten que cada laboratorio adecúe su sistema de gestión según su realidad operativa, siempre manteniendo la coherencia y confiabilidad de los resultados a través de la validación de métodos.

Los requisitos se estructuran en dos grandes apartados: Requisitos de gestión y requisitos técnicos. Los requisitos de gestión incluyen la documentación del sistema, imparcialidad, confidencialidad y mejora continua. Por su parte, los requisitos técnicos abordan temas como la competencia del personal, instalaciones adecuadas, métodos validados, aseguramiento de la validez de los resultados y gestión del equipamiento<sup>2</sup>. Este último constituye el eje central del presente trabajo, ya que es el que define las obligaciones específicas sobre calibración, mantenimiento, identificación y control del equipo.

En El Salvador, la norma es adoptada como NTS ISO/IEC 17025:2017, bajo el Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA) entidad que emite criterios complementarios para su aplicación. Entre ellos destaca la Política G 9.2, la cual establece los lineamientos y criterios específicos para la evaluación de los laboratorios conforme a la norma<sup>3</sup>.

### **3.2 Requisito 6.4: Equipamiento**

El requisito 6.4, referido al equipamiento, establece que los laboratorios deben identificar, calibrar, verificar y mantener el equipamiento necesario para sus ensayos de manera adecuada, asegurando que cada instrumento funcione correctamente y produzca resultados confiables. Para cumplir este requisito se debe mantener registros actualizados sobre el estado, uso, mantenimiento, calibración y ubicación del equipo. Asimismo, la norma exige que todos los equipos cuenten con una identificación única, manuales accesibles, historial de servicios, certificados vigentes y evidencia documental de que cumplen con los requisitos técnicos para su función<sup>2</sup>.

Dentro del Laboratorio estos requisitos se cumplen a través de la elaboración de Hojas de Vida según el Procedimiento de Equipamiento Interno y del anexo de los registros al expediente de cada equipo. La correcta organización de los expedientes de equipos es un componente crítico para el cumplimiento del requisito 6.4. Un expediente bien estructurado debe incluir información relacionada con especificaciones técnicas, historial de mantenimiento, certificados de calibración, garantías, verificaciones internas y cualquier desviación detectada.

Cuando un laboratorio presenta fallas en la gestión del equipamiento, principalmente debido a la falta de registros completos, certificados vencidos, ausencia de trazabilidad metrológica o inconsistencia de procedimientos, incrementa el riesgo de desgaste no detectado, fallas operativas y resultados erróneos, lo que afecta directamente la validez técnica de los procesos<sup>1</sup>. Por ello, el laboratorio debe asegurar que los equipos son calibrados antes de su uso y en intervalos adecuados; que los equipos están protegidos contra ajustes no autorizados; los registros de mantenimiento y calibración son accesibles, íntegros y trazables y las desviaciones o fallas del equipo se documentan y gestionan adecuadamente.

### **3.3 La política G 9.2: Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios**

En El Salvador, el OSA establece directrices para complementar las disposiciones de la NTS ISO/IEC 17025:2017 mediante documentos como la política G 9.2 “Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios de Ensayo y Calibración” relacionadas con la gestión de equipos, trazabilidad, documentación y evaluación de la conformidad en los procesos de acreditación.

Esta política enfatiza la necesidad de contar con procedimientos documentados para la gestión del equipamiento, disponer de registros verificables de calibraciones y mantenimientos, justificar técnicamente la periodicidad de los servicios y demostrar que el laboratorio gestiona adecuadamente los riesgos asociados al uso de equipos no conformes<sup>3</sup>. Además, la Política G 9.2 destaca que la trazabilidad metrológica debe estar garantizada mediante calibraciones realizadas por laboratorios acreditados o por entidades reconocidas internacionalmente.

### **3.4 Trazabilidad metrológica en los laboratorios de ensayo**

La trazabilidad metrológica es la propiedad de un resultado de medición mediante la cual puede relacionarse con un patrón de referencia nacional o internacional a través de una cadena continua de calibraciones<sup>4</sup>. Este concepto es fundamental en la NTS ISO/IEC 17025:2017, ya que asegura la comparabilidad de los resultados entre laboratorios y permite comprender la incertidumbre asociada a una medición.

La guía ILAC G24 proporciona criterios técnicos para establecer intervalos de calibración, indicando que estos deben basarse en factores como estabilidad del equipo, frecuencia de uso, criticidad y condiciones ambientales<sup>5</sup>. En el Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología todos estos elementos están contemplados en el Procedimiento Trazabilidad Metrológica.

### **3.5 Gestión de equipamiento: Calibración, mantenimiento y control documental**

La correcta gestión del equipamiento implica establecer procedimientos claros y sistemáticos para planificar, ejecutar y documentar las actividades de calibración y mantenimiento. Un programa eficiente de calibración y mantenimiento debe contemplar: Un inventario actualizado del equipo; procedimientos documentados para mantenimiento preventivo, correctivo y calibración; registros completos, accesibles y trazables: Frecuencias justificadas y control de equipos fuera de servicio o en reparación.

La calibración constituye un proceso fundamental en el aseguramiento de la calidad de los datos experimentales. La norma NTS ISO/ IEC 17025: 2017 exige que las calibraciones sean realizadas por laboratorios competentes, preferiblemente acreditados, y que dicha evidencia se documente de forma verificable<sup>2</sup>. Por otra parte, el mantenimiento preventivo y correctivo garantiza que los equipos funcionen con su máxima eficacia y que su vida útil se incremente. Un programa de mantenimiento bien gestionado disminuye la variabilidad instrumental, reduce costos asociados a reparaciones no planificadas y minimiza interrupciones operativas<sup>1</sup>.

En la práctica, uno de los retos más frecuentes es el manejo de documentación, especialmente cuando los laboratorios dependen de expedientes en papel o procesos manuales. La automatización se ha convertido en estrategia clave para mejorar la eficiencia y reducir errores.

### **3.6 Sistemas automatizados para la gestión del programa de mantenimiento y calibración**

La transformación digital en los laboratorios representa una oportunidad estratégica para mejorar la gestión del equipamiento, reducir errores humanos y optimizar los flujos de trabajo<sup>6</sup>. En laboratorios de metrología o control de calidad, la integración de sistemas automatizados permite agilizar tareas repetitivas, mejorar la trazabilidad documental y reforzar el cumplimiento de la NTS ISO/IEC 17025:2017.

El uso de herramientas tecnológicas para la gestión de calibraciones y mantenimientos ofrece beneficios como:

- Notificaciones automáticas sobre fechas próximas de calibración.
- Integración de documentos técnicos.
- Registro electrónico accesible desde múltiples dispositivos.
- Reducción de pérdidas de información.
- Control centralizado del estado del equipamiento.

Estos sistemas se integran al enfoque de mejora continua y fortalecen la capacidad del laboratorio para cumplir eficazmente con auditorías internas y externas.

### **3.7 Implementación del sistema automatizado mediante Google Apps Script**

Google Apps Script es una plataforma de desarrollo basada en JavaScript en la nube que permite crear soluciones de negocio personalizadas integradas con Google Workspace, como Hojas de Cálculo y Gmail<sup>7</sup>. Para los laboratorios, representa una opción accesible y de bajo costo, ya que

no requiere infraestructura de servidores ni conocimientos de frameworks complejos. Su capacidad para interactuar con diversas APIs de Google<sup>7</sup> (Interfaz de Programación de Aplicaciones por sus siglas en inglés) permite crear flujos de trabajo completos, como un sistema de alarmas para la gestión del equipamiento, que opera directamente sobre una base de datos centralizada en Google Sheets y utiliza Gmail como canal de notificaciones oficiales.

El sistema de alarmas para la gestión de servicios se sustenta en tres componentes tecnológicos principales de Google, cuyo funcionamiento conjunto se describe a continuación:

- Google Sheets como Base de Datos Centralizada: La hoja de cálculo almacena toda la información necesaria del equipamiento, incluyendo las fechas de los próximos servicios (mantenimiento, calibración, etc.), la periodicidad de cada servicio, el responsable asignado y su correo electrónico. El script accede a estos datos de forma estructurada mediante el uso de `SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet().getDataRange().getValues()`<sup>8</sup>, lo que permite procesar en segundos el estado de todo el listado de equipos.
- Gmail como Canal Oficial de Notificación: La API de Gmail se utiliza para el envío de mensajes automatizado<sup>9</sup>. El script genera y envía correos electrónicos con un formato HTML profesional, asegurando que la comunicación sea clara, estandarizada y quede registrada en el historial de correspondencia del laboratorio. La función `MailApp.sendEmail()` se configura para que el mensaje se envíe desde la cuenta institucional de la Plataforma de Calidad, manteniendo la formalidad y confiabilidad de la comunicación<sup>8</sup>.
- Google Apps Script como Núcleo de Lógica y Programación: Mediante un script, se implementa la lógica que:
  - Calcula diferencia de fechas: Compara la fecha actual con la fecha de servicio almacenada en la hoja de cálculo para determinar si un recordatorio debe ser enviado.
  - Gestiona estados: Actualiza las columnas de control para evitar notificaciones duplicadas y registrar la fecha del último recordatorio.

- Programa próximas fechas: Calcula automáticamente la siguiente fecha sugerida de servicio basándose en la periodicidad definida (anual o semestral).

### 3.8 Funciones básicas de codificación para la automatización

La implementación técnica del sistema se basa en funciones específicas de Apps Script que interactúan con los servicios de Google. La siguiente tabla describe las funciones clave y su propósito específico en el contexto de la gestión de equipamiento:

**Tabla N° 1.** Funciones de codificación básica para la automatización.<sup>8</sup>

<b>Función/Clase de Apps Script</b>	<b>Propósito en la gestión de equipamiento</b>
SpreadsheetApp.getActiveSheet()	Acceder a la base de datos de equipos.
.getDataRange().getValues()	Leer toda la información de equipos y servicios.
newDate(), Utilities.formatDate()	Gestionar y formatear fechas de vencimiento.
MailApp.sendEmail()	Enviar el recordatorio al responsable.
.setValue()	Actualizar el estado y la programación.

## **CAPÍTULO IV**

#### **4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El resultado obtenido a través de la mejora del programa de calibración y mantenimiento del laboratorio conforme a la NTS ISO/IEC 17025:2017 contribuye al Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología en la gestión documental de expedientes de equipos del laboratorio y en la automatización de notificaciones de los servicios al personal del laboratorio por medio de herramientas digitales.

##### **4.1 Revisión del procedimiento de equipamiento código LNSP-LISAT-MPA-PEM**

Se analizaron los lineamientos técnicos establecidos para la gestión de equipos de código interno LNSP-LISAT-MPA-PEM, evidenciando que se encuentran sólidamente estructurados y alineados con los requisitos de la NTS ISO/IEC 17025:2017. Las consideraciones generales, así como los procedimientos para mantenimiento, calibración y verificación intermedia, se especifican de manera exhaustiva en la documentación. No obstante, en la práctica se identificó una brecha entre el procedimiento establecido y la realidad operativa, manifestada en la inaccesibilidad de los registros técnicos de los equipos. Este hallazgo contribuyó a establecer la necesidad prioritaria de implementar un sistema de control documental más riguroso, que garantice el acceso inmediato a la información.

##### **4.2 Revisión del programa de mantenimiento, calibración, caracterización y verificación intermedia código F-PEM-01**

La revisión del programa F-PEM-01 confirmó el cumplimiento del cronograma anual de servicios al contrastar que los registros asociados correspondían a lo ejecutado. No obstante, se detectaron debilidades en la gestión de los expedientes por equipo al no archivar correctamente el historial de los servicios, lo que representó la oportunidad de implementar un sistema de gestión documental por equipo y un mecanismo de alertas tempranas para optimizar la trazabilidad y la planificación operativa.

##### **4.3 Revisión y actualización del listado maestro de equipos código F-PEM-03**

Se actualizó el listado maestro de equipos de laboratorio conforme al formato de código interno F-PEM-03 para el año 2025. En este proceso se verificó que la información de los equipos estaba completa y trazable. El formato incluye código interno y código de inventario, área, responsable y personal autorizado.

Se verificó que todos los equipos del laboratorio descritos en el listado estuvieran correctamente identificados y controlados. Se identificó físicamente cada equipo según su código interno, que está compuesto por una letra del abecedario correspondiente a cada área y a un número correlativo según la tabla. Asimismo, se comprobó que dicho código coincidiera con la ubicación física actual de cada equipo. El uso sistemático del código interno favorece la identificación física y documental del equipo, de acuerdo con lo establecido por la política G 9.2 sobre la necesidad de control metódico y estandarizado del inventario instrumental.

**Tabla N° 2.** Identificación interna de áreas<sup>10</sup>

ÁREA	CÓDIGO
Fisicoquímico de aguas	A
Recepción de muestras	B
Calor	C
Fisicoquímico de Aguas	D
Lavado de Cristalería	E
Análisis de Pesticidas	F
Bodega de Retención	G
Instrumental	H
Micronutrientes	I
Microbiología de Alimentos	J
Microbiología de Aguas	K
Cromatografía	L
Metales	M
Absorción Atómica	N
Pasillo	O
ICP	P
Refrigeración	Q
Cromatografía Líquida	S

Además, se evaluó la consistencia del listado con las hojas de vida de los equipos. Se identificaron aquellos que estaban obsoletos o en proceso de descargo y que, por tanto, ya no debían figurar en el inventario. Asimismo, se revisó la asignación del personal responsable y autorizado para el uso de los equipos, considerando los cambios internos en las funciones del laboratorio. Con estas acciones se garantizó que la información reflejara el estado actual del equipamiento.

#### **4.4 Revisión y actualización de las hojas de vida de los equipos código F-PEM-04**

Se revisó la última versión del formato de hoja de vida de equipos y se actualizaron los cambios correspondientes referenciando al programa de mantenimiento, calibración, caracterización y verificación intermedia F-PEM-01 y al procedimiento de equipamiento LNSP-LISAT-MPA-PEM en los apartados de la fecha de la próxima calibración y el intervalo de calibración respectivamente. Esta alineación documental responde a los criterios de trazabilidad metrológica establecidos por NTS ISO/IEC 17025: 2017, especialmente en lo referente a mantener información actualizada sobre la vigencia de calibraciones, mantenimientos preventivos y especificaciones del fabricante. Además, se consideraron las recomendaciones del fabricante para el mantenimiento preventivo y se actualizaron requisitos e indicaciones como el voltaje requerido.

#### **4.5 Diagnóstico del estado actual de los equipos del laboratorio**

Como parte del proceso de actualización del listado maestro y de las hojas de vida, se realizó una verificación transversal que permitió constatar que la mayoría de los equipos presentaban coherencia entre su identificación física y la documentación existente. Este diagnóstico implícito, fundamentado en los lineamientos del requisito 6.4 de la NTS ISO/IEC 17025:2017 y la política G 9.2, confirmó la efectividad de las acciones de actualización y evidenció que las brechas identificadas inicialmente, eran de naturaleza operativa más que documental. Aunque no se formalizó una lista de chequeo independiente, la revisión directa de la documentación asociada a cada equipo, a partir de los instrumentos actualizados, resultó suficiente para validar el control del equipamiento.

#### **4.6 Elaboración de un expediente técnico para cada equipo de laboratorio**

Cada expediente de equipo se organiza según la plataforma a la que pertenece. Está contenido en una carpeta identificada con una viñeta estándar (Figura N° 1) y reúne la hoja de vida del equipo actualizada y firmada, así como el historial de mantenimientos, calibraciones, caracterizaciones y verificaciones intermedias que correspondan. Todos estos documentos se resguardan en un mismo

compartimento. Del mismo modo, en el compartimento siguiente se almacenan los manuales de cada equipo, también identificados con la viñeta para mantener la uniformidad del sistema de archivo.



**Figura N°1.** Viñeta de identificación de expedientes y manuales

Fuente: Elaboración propia

Se verificó que los registros estuvieran completos, legibles y disponibles, y que la información correspondiente a los servicios realizados en cada equipo fuera trazable. Asimismo, se ordenaron los documentos desde la fecha más antigua hasta la más reciente, con el fin de que, cada vez que se brinde un nuevo servicio, el personal responsable pueda anexar y documentar la información de manera más ágil y sistemática. Esto fortalece el cumplimiento de la política G 9.2, que exige mantener evidencia verificable de todas las intervenciones realizadas al equipamiento.

#### **4.7 Diseño de un sistema de alertas para los servicios de calibración, mantenimiento, caracterización y verificaciones intermedias**

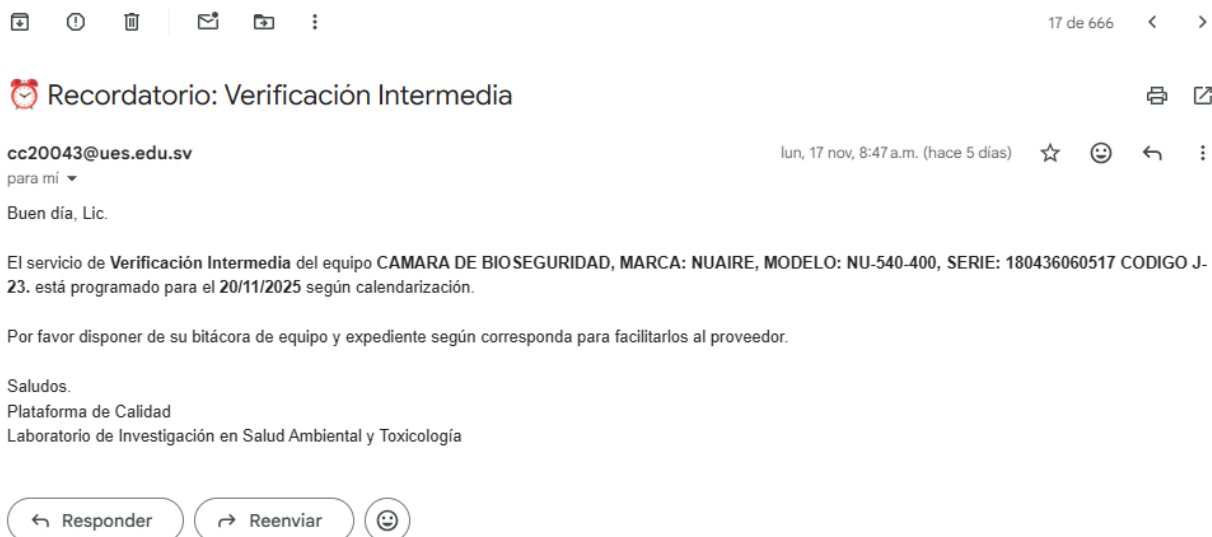
Este producto consistió en el diseño y programación de un sistema automatizado de alarmas basado en Google Apps Script que permitió procesar de manera continua la información registrada en la hoja de cálculo de Google manejada por la Plataforma de Calidad, identificando correctamente los equipos cuyos servicios de mantenimiento, calibración, caracterización o verificación intermedia se encontraban próximos a vencer conforme a la periodicidad establecida (anual o semestral). Se deja descrita una guía base para la comprensión y actualización de datos de los equipos según sea necesario (Ver Anexo 1).

El sistema que integra de forma sincronizada Google Sheets como base de datos y Gmail como canal de notificación, logró eliminar los recordatorios manuales y los riesgos de omisión asociados. A través de un correo de prueba (Figura N° 3), se aseguró que las notificaciones para los servicios de mantenimiento, calibración, caracterización y verificación intermedia se enviaran con una anticipación precisa de 3 días a los responsables correspondientes, tal como se evidencia en el registro automático en las columnas "Último Envío" (Figura N° 4). La lógica de programación, que incluye el cálculo automático de la "Próxima Fecha Sugerida" en función de la periodicidad (anual o semestral), estableció un ciclo de mejora continua y garantizó la objetividad y consistencia del proceso.

Plataforma	Responsable	Correo	Equipo	Mantenimiento	Calibración	Caracterización	Verificación Intermedia	Periodicidad	Enviado Mantenimiento	Enviado Calibración	Enviado Caracterización	Enviado Verificación	Último Envío	Próxima Fecha Sugerida
Microbiología	Nombre	Correo	BALANZA SEMIANALITICA, MARCA: OHAUS, MODELO: E06120, SERIE: E2441119251814, RANGO: 10mg -- 610g, CÓDIGO: J-14.	30/06/2025	30/06/2025	N/A	30/06/2025	Anual						
Microbiología	Nombre	Correo	CAMARA DE BIOSEGURIDAD, MARCA: NUAIRE, MODELO: NU-540-400, SERIE: 180436060517 CODIGO J-23.	20/11/2025	N/A	N/A	N/A	Semestral	SI				17/11/2025	20/05/2026

**Figura N°2.** Extracto de la base de datos del sistema de alarma

Fuente: Elaboración propia



**Figura N°3.** Notificación del sistema de alarma

Fuente: Elaboración propia

Este sistema demostró ser coherente con el enfoque preventivo recomendado en la gestión del equipamiento, ya que, al enviar recordatorios, contribuye a minimizar retrasos y mejora la trazabilidad documental del ciclo de vida de los equipos, además de la reducción significativa de la intervención manual. Con la automatización basada en Google Apps Script, el laboratorio obtiene consistencia, uniformidad en la comunicación y mayor eficiencia administrativa, contribuyendo al sistema de gestión de calidad.

## **CAPÍTULO V**

## 5.0 CONCLUSIONES

1. La implementación del sistema de automatización de alarmas de servicios, complementada con la reorganización física de los expedientes de los equipos y sus registros, constituyó una mejora directa al programa de calibración y mantenimiento, contribuyendo al cumplimiento del requisito de equipamiento de la NTS ISO/IEC 17025:2017 y a la eficiencia operativa del laboratorio.
2. La actualización del listado maestro de equipos y la verificación de su correspondencia con la identificación física y documental permitió optimizar el control del equipamiento del laboratorio.
3. La revisión y actualización de las Hojas de Vida de los equipos permitió consolidar información importante para la trazabilidad metrológica, integrando datos alineados con el programa F-PEM-01 y el procedimiento de equipamiento y manteniendo documentación exacta, vigente y verificable sobre las condiciones de calibración, mantenimiento y desempeño de los equipos.
4. La elaboración ordenada y estandarizada de expedientes técnicos por equipo fortaleció el sistema documental, asegurando que los registros estuvieran completos, legibles y disponibles.
5. La estructuración del archivo físico en compartimentos diferenciados para hojas de vida, historiales de servicio y manuales del fabricante incrementó la accesibilidad a la información y favoreció la actualización oportuna de registros. Esto mejora la gestión integral del equipamiento y reduce el riesgo de pérdida, duplicación innecesaria o dispersión de información técnica relevante.
6. La automatización de notificaciones representa una oportunidad de mejora continua en la trazabilidad y disponibilidad de los registros del programa de calibración y mantenimiento. Esta asegura el seguimiento y control de los servicios, reduce el riesgo de omisiones y fortalece la vigilancia de la vigencia metrológica del equipamiento.

## **CAPÍTULO VI**

## 6.0 RECOMENDACIONES

1. Al Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología: Fomentar una experiencia formativa integral a los futuros egresados que realicen sus Prácticas Profesionales Supervisadas en el laboratorio, promoviendo acciones orientadas al fortalecimiento de su aprendizaje práctico y competencias profesionales.
2. A la Plataforma de Calidad del Laboratorio: Mantener una revisión sistemática y una actualización documentada del Listado Maestro de Equipos, registrando los cambios como observaciones para asegurar que dicho listado refleje con precisión la realidad operativa del laboratorio, especialmente ante posibles variaciones en la distribución de equipos, modificaciones en funciones del personal, traslado entre áreas o procesos de descargo.
3. A las Plataformas de Microbiología, Físicoquímico y Toxicología: Conservar el archivo físico de expedientes de equipo en buen estado, orden y coherencia, asegurando que los documentos se mantengan completos, vigentes y correctamente organizados. Se recomienda dar seguimiento a los cambios necesarios en las Hojas de Vida, códigos internos y documentos anexos, especialmente en casos de incorporación de nuevos equipos, reubicaciones o descargos.
4. A la Plataforma de Calidad del Laboratorio: Desarrollar un sistema automatizado que permita registrar y monitorear los cambios relevantes asociados al ciclo de vida de los equipos (traslados, reasignaciones, descargos, vencimientos de servicios, etc.) realizados por cada plataforma y que genere de forma automática un informe mensual de cumplimiento que consolide el estado de la documentación, la vigencia de los servicios y la trazabilidad de los equipos en todo el laboratorio, facilitando la revisión periódica por parte de la Plataforma de Calidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Health Organization. Sistema de gestión de la calidad en el laboratorio: manual [Internet]. 2011. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241548274>
2. International Organization for Standardization. ISO/IEC 17025:2017(E). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. 2017. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/66912.html>
3. Organismo Salvadoreño de Acreditación. Política G-9.2: Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios de Ensayo y Calibración. 2023. Disponible en: <https://www.osa.gob.sv/descarga/g-9-2-criterios-generales-para-la-evaluacion-de-laboratorios-de-ensayo-y-calibracion-conforme-a-la-norma-nts-iso-iec-170252017-v3/>
4. Joint Committee for Guides in Metrology. JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2012. p. 40. Disponible en: [https://www.bipm.org/documents/20126/54295284/VIM4\\_CD\\_210111c.pdf](https://www.bipm.org/documents/20126/54295284/VIM4_CD_210111c.pdf)
5. International Laboratory Accreditation Cooperation. ILAC G24:2022. Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment. 2022. Disponible en: <https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-guidance-series/>
6. Brown AS, Badrick T. The next wave of innovation in laboratory automation. Clin Chem Lab Med. 2022. Disponible en: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/cclm-2022-0409/html>
7. Google. Descripción general de Google Apps Script. 2025. Disponible en: <https://developers.google.com/apps-script/overview?hl=es-419>
8. Google. Guía de inicio rápido de automatización Apps Script. 2025. Disponible en: <https://developers.google.com/apps-script/quickstart/automation?hl=es-419>
9. Google. Descripción general de la API de Gmail. 2025. Disponible en: <https://developers.google.com/workspace/gmail/api/guides?hl=es-419>
10. Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología, Laboratorio Nacional de Salud Pública. Procedimiento de Equipamiento [procedimiento interno]. Código: LNSP-LISAT-MPA-PEM. Versión 0. San Salvador (SV); 2025 Ene 08.

## **ANEXOS**

**Anexo N°1.**

**Guía técnica y de uso del sistema de alarmas de servicios de mantenimiento,  
calibración, caracterización y verificaciones intermedias.**

## **GUÍA DE SISTEMA DE ALARMAS PARA SERVICIOS DE EQUIPOS**

### **¿Qué es este sistema?**

Es un sistema automatizado que envía recordatorios cuando los equipos del laboratorio necesitan servicios de Mantenimiento, Calibración, Caracterización y Verificación Intermedia utilizando Google Sheets como base de datos y Gmail para notificaciones.

### **¿Cómo funciona?**

- Revisa fechas en la hoja de cálculo cada vez que se ejecuta.
- Detecta servicios que están por vencer (exactamente a 3 días).
- Envía correos automáticamente a los responsables de cada equipo a través de su correo institucional
- Marca como "Enviado" para no repetir recordatorios.
- Calcula la próxima fecha basándose en la periodicidad.

### **Recursos**

Google Apps Script (JavaScript), Google Sheets API, Gmail API.

### **Permisos y configuración de la cuenta**

El sistema de alarmas está desarrollado y ejecutado completamente desde la cuenta de Google Workspace de Plataforma de Calidad. Esta cuenta es la propietaria de la hoja de cálculo y del proyecto de Google Apps Script asociado.

Para que el script funcione correctamente, es necesario que esta cuenta tenga los siguientes permisos, los cuales se conceden automáticamente al momento de autorizar el script la primera vez que se ejecuta:

- Acceso a la hoja de cálculo: Puede leer y escribir en la hoja "Servicios".
- Acceso a Gmail: Puede enviar correos electrónicos en nombre de la cuenta de Plataforma de Calidad.

- Acceso a activadores (triggers): Permite ejecutar el script automáticamente según la programación definida.

### ¿Qué hacer si se cambia la cuenta propietaria?

Si por algún motivo se necesita transferir el sistema a otra cuenta (por ejemplo, cuando el responsable de calidad cambia), se deberá:

1. Compartir la hoja de cálculo con la nueva cuenta como editor.
2. Abrir el editor de Apps Script desde la nueva cuenta y autorizar los permisos.
3. Reconfigurar el activador (trigger) desde la nueva cuenta.

En condiciones normales, el sistema se mantiene bajo la cuenta institucional de Plataforma de Calidad, lo que garantiza que los correos se envíen desde un remitente oficial y que el acceso quede centralizado.

### Estructura de la Hoja de Cálculo.

Esta hoja nombrada “Servicios” se encuentra en la nube de Google Drive de la Plataforma de Calidad y está conectada a Google Apps Script

Plataforma	Responsable	Correo	Equipo	Mantenimiento	Calibración	Caracterización	Verificación Intermedia	Enviado Servicio	Periodicidad	Último Envío	Próxima Fecha Sugerida

Columnas principales: De redacción manual según corresponda

- Plataforma: Microbiología, Físicoquímico o Toxicología.
- Responsable: de cada equipo.
- Correo: del responsable del equipo
- Equipo: Incluye Nombre, Marca, Modelo, Serie y Código Interno.
- Mantenimiento, Calibración, Caracterización o Verificación Intermedia: La fecha del servicio en formato dd/mm/yyyy o N/A (No Aplica).
- Periodicidad: Semestral o Anual

Columnas Automáticas: Se generan desde que el código es ejecutado, cuando aplique

- Enviado Servicio: Se marca con "SI" cuando se envía el correo. Es una columna por cada servicio, para fines ilustrativos aparece como una sola en la figura X.
- Último Envío: Fecha del último recordatorio enviado.
- Próxima Fecha Sugerida: Fecha calculada para el próximo servicio

### ¿Qué contiene el correo de recordatorio?

```
Asunto: 📧 Recordatorio: Mantenimiento HPLC-001

Buen día, María González|

El servicio de Mantenimiento del equipo HPLC-001
está programado para el 15/03/2024 según calendarización.

Por favor disponer de su bitácora de equipo y expediente según
corresponda para facilitarlos al proveedor.

Saludos.
Plataforma de Calidad
Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología
```

### ¿Cómo usar el sistema?

El sistema está programado para que ante las siguientes modificaciones de estructura que realice el equipo de Calidad, siga ejecutando la función adecuadamente

#### **Para Agregar un Nuevo Equipo:**

- Agregar nueva fila en la hoja "Servicios"
- Completar datos obligatorios: Equipo, Responsable, Correo, Fecha del próximo servicio (Mantenimiento, Calibración, Caracterización o Verificación Intermedia), Periodicidad (Anual/Semestral)
- Guardar

### Para Actualizar un Servicio Realizado:

- Actualizar la fecha en la columna correspondiente
- El sistema calculará automáticamente la próxima fecha sugerida
- Reiniciará el ciclo de recordatorios

## EXPLICACIÓN TÉCNICA DEL CÓDIGO

### Activadores (triggers)

Para crear este proyecto en Google Sheets, se necesitan dos funcionalidades: triggers (activadores en español) y envío de correos usando código de Apps Script.

Trigger es una funcionalidad de Apps Script que permite ejecutar una función automáticamente dado un evento específico. En este sistema de alarmas, el trigger deberá ejecutarse automáticamente una vez todos los días.

Para configurar el trigger:

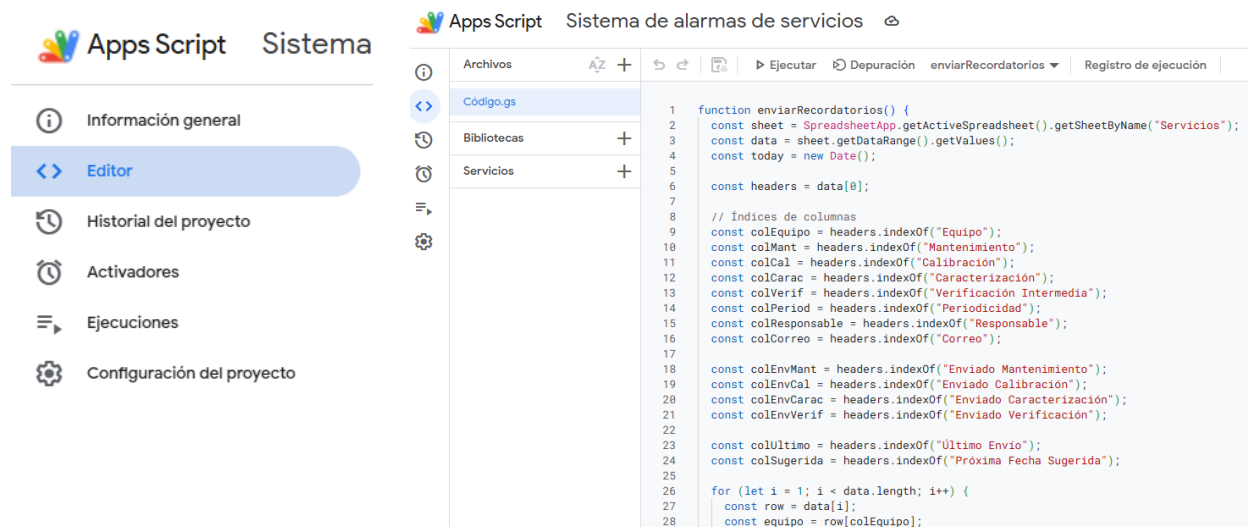
- Ir a “Activadores” en Apps Script.
- Crear un nuevo activador con función enviarRecordatorios.
- Elegir “Activador basado en tiempo” → “Día” → “8:00–9:00” (por ejemplo).
- Indicar la zona horaria del laboratorio.

Editar Activador de Sistema de alarmas de servicios

<p>Seleccionar qué función ejecutar</p> <p>enviarRecordatorios ▼</p> <p>Qué debe ejecutarse durante el despliegue</p> <p>Principal ▼</p> <p>Selecciona la fuente del evento</p> <p>Según tiempo ▼</p> <p>Selecciona el tipo de activador basado en la hora</p> <p>Temporizador por días ▼</p>	<p>Ajustes de notificación de errores +</p> <p>Notifícame cada día ▼</p>
---	--

## Flujo del código

El código fuente se encuentra disponible en el proyecto de Google Apps Script vinculado a la hoja de cálculo, al cual se accede mediante la opción "Extensiones" > "Apps Script". Desde allí puede ser consultado y modificado según se requiera. A continuación, se describe su lógica de operación.



1. Se ejecuta un flujo a dentro de la función personalizada “Enviar recordatorios”

```
function enviarRecordatorios() {
```

2. Acceso a la hoja de cálculo

Se obtiene la hoja activa y se leen todos los datos disponibles de los equipos registrados.

```
const sheet = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet().getSheetByName("Servicios");
const data = sheet.getDataRange().getValues();
const today = new Date();
```

La función `getDataRange().getValues()` obtiene todos los datos en una sola matriz.

3. Lectura de filas y extracción de valores

El script (programa) recorre todas las filas desde la fila 2 para evitar encabezados. Esta configuración permite agregar nuevas columnas fácilmente.

```
const headers = data[0];
const colEquipo = headers.indexOf("Equipo");
// ... más índices
```

#### 4. Recorrer todas las filas

Empieza en  $i = 1$  para evitar la fila de encabezados y lee cada fila por separado.

```
for (var i = 1; i < data.length; i++) {
  var row = data[i];
```

#### 5. Estructura de Servicios Configurable

Esta estructura permite procesar múltiples tipos de servicios con la misma lógica

```
const servicios = [
  {
    nombre: "Mantenimiento",
    fechaCol: colMant,
    enviadoCol: colEnvMant
  },
  // ... más servicios
];
```

#### 6. Cálculo de la próxima fecha sugerida

Se usa la periodicidad para sumar 12 o 6 meses a la última fecha.

```
if (!fechaServicio || fechaServicio === "N/A" ||
    Object.prototype.toString.call(fechaServicio) !== "[object Date]") {
  return;
}
```

Técnicas de validación y filtrado de datos:

- Verificación de existencia: `!fechaServicio`
- Filtrado de valores no aplicables: `fechaServicio === "N/A"`
- Validación de tipo Date: Verificación del prototipo

## 7. Cálculo de Días Restantes

`Math.ceil()` Garantiza que se considere el día completo y permite manejar correctamente diferencias de tiempo

```
const diffMs = fechaServicio - today;
const diffDays = Math.ceil(diffMs / (1000 * 60 * 60 * 24));
```

## 8. Lógica de Disparo de Alarmas

Diseño de activadores (triggers):

- Condición exacta: Solo ejecuta en día específico (3 días antes)
- Control de duplicados: Evita reenvíos con flag "SI"

```
if (diffDays === 3 && enviado !== "SI") {
```

## 9. Generación de contenido dinámico

- Diseñado para que el servicio y fecha próxima aparezcan en negrita `<b>` . Entre los primeros tres párrafos hay **un espacio** porque `<p>` crea párrafo.
- El formato HTML mejora la legibilidad y experiencia del usuario.

```
const subject = `📧 Recordatorio: ${servicio.nombre}`;
const body =
  `Buen día, ${responsable}<br><br>` +
  `El servicio de <b>${servicio.nombre}</b> del equipo <b>${equipo}</b> ` +
  `está programado para el <b>${fechaFormateada}</b> según calendarización.<br><br>` +
  `Por favor disponer de su bitácora de equipo y expediente según corresponda para facilitarlos al proveedor.<br><br>` +
  `Saludos.<br>` +
  `Plataforma de Calidad<br>` +
  `Laboratorio de Investigación en Salud Ambiental y Toxicología`;
```

## 10. Envío y Gestión de Correos

- Envía correo HTML al responsable
- El asunto incluye el nombre del servicio.
- `htmlBody` asegura que se respete el formato

```
MailApp.sendEmail({
  to: correo,
  subject: subject,
  htmlBody: body
});
```

## 11. Actualización de Estado en tiempo Real

- Marcado de envío: Previene notificaciones duplicadas

```
sheet.getRange(i + 1, servicio.enviadoCol + 1).setValue("SI");
sheet.getRange(i + 1, colUltimo + 1).setValue(new Date());
```

## 12. Cálculo de Próximas fechas

Configurado con diferentes periodicidades y extensible para agregar fácilmente nuevas frecuencias (trimestral, mensual, etc.).

```
if (periodicidad === "anual") {
  proximaFecha.setFullYear(proximaFecha.getFullYear() + 1);
} else if (periodicidad === "semestral") {
  proximaFecha.setMonth(proximaFecha.getMonth() + 6);
}
```

## Revisión de recordatorios

Para saber si se están enviando los avisos hay que ubicarse en la Hoja de Cálculo de Google, luego Extensiones – Apps Script, y del lado izquierdo en la sección de Activadores, debe aparecer instalado el trigger del sistema y si marca un porcentaje mayor a 0% de errores al ejecutarse.

Apps Script Sistema de alarmas de servicios Implementar ? ☰

Activadores Se muestran 1 activador

+ Añadir un filtro

Propietario	Última ejecución	Implementación	Evento	Función	Porcentaje de errores
Yo	17 nov 2025, 8:47:22	Principal	Basado en tiempo	enviarRecordatorios	47.06%

De nuevo en el menú del lado izquierdo, en la sección de Ejecuciones se observan todas las ejecuciones que se han hecho del código, con información sobre si se completaron o no. En la columna de Tipo se observa que cuando un trigger de tiempo invoca la ejecución, se marca como “A partir del tiempo”.

Implementación	Función	Tipo	Hora de inicio	Duración	Estado
Principal	enviarRecordatorios	A partir del tiempo	17 nov 2025, 8:47:22	5.705 s	Completada
Principal	enviarRecordatorios	A partir del tiempo	17 nov 2025, 2:32:22	2.207 s	Completada
Principal	enviarRecordatorios	A partir del tiempo	17 nov 2025, 2:31:22	2.071 s	Completada

## HISTORIAL DE CAMBIOS DEL CÓDIGO

Cambio	Versión	Descripción de la modificación y mejora	Sección y/o página	Fecha de modificación
0	0	Creación de código y documentos	Todo el documento	Octubre 2025