

Sistema de Manejo de Información para los Laboratorios Utilizados
por el Proyecto ViCo del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-
UVG.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Sistema de Manejo de Información para los Laboratorios
Utilizados por el Proyecto ViCo del Segundo Acuerdo Cooperativo
CDC-UVG.

Trabajo de graduación presentado por Rigoberto Castellán Robles
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Ciencias de la Computación.

Guatemala


2013

Vo. Bo.:

(f) 

Ing. Fredy Muñoz

Tribunal:

(f) 

Ing. Fredy Muñoz

(f) 

MSc. Douglas Barrios

(f) 

Ing. Lynette García

Fecha de aprobación:

19 de Marzo del 2013

PREFACIO

La práctica profesional efectuada para poder optar al título de Licenciado en Ingeniería en Ciencias de la Computación fue efectuada en el Centro de Estudios en Salud de la Universidad del Valle de Guatemala. La elaboración de dicha práctica profesional surgió del interés de los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG de mejorar la gestión de los datos dentro de los laboratorios y ha sido posible su realización gracias a la colaboración del Programa Internacional de Enfermedades Emergentes (International Emerging Infections Program, IEIP) del Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (Centers for Disease Control and Prevention, CDC), parte del Departamento de Salud del gobierno de los Estados Unidos de América (U.S. Department of Health & Human Services, HHS).

CONTENIDO

PREFACIO	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS Y CUADROS.....	vii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A. Definiciones	3
1. Información.....	3
2. Sistemas de Información.....	4
3. Sistema del manejo de la información de laboratorio.....	6
4. Costo Total de Propiedad (TCO)	14
5. Adquisición de un LIMS.....	18
B. Contexto del proyecto	19
1. Equipo de Manejo de Datos (EMD)	20
2. Laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG	20
III. JUSTIFICACIÓN	27
IV. OBJETIVOS	28
V. DESARROLLO DE TEMA	29
A. Necesidad de un LIMS.....	29
B. Limitaciones.....	29
C. Instrumento de evaluación	29
D. Definición de requerimientos.....	31
E. Clasificación de los requerimientos	33
F. Búsqueda de alternativas privadas de LIMS.....	36
G. Primera fase de evaluación de los LIMS privados.....	38
H. Freezerworks.....	42
1. Historia de Freezerworks y Dataworks Development Inc.	42
2. Aspectos técnicos.....	43
I. eLab.....	43
1. Aspectos técnicos.....	43
J. StarLIMS.....	44
1. Historia.....	44
2. Aspectos técnicos.....	45
K. Segunda fase de evaluación	45
3. Análisis de Costo Total de Propiedad (TCO)	47
L. Discusión de resultados.....	48
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
VII. BIBLIOGRAFÍA	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de preguntas de la metodología TCO de Eduardo Pierdant.....	15
Tabla 2. Fórmula de TCO Eduardo Pierdant	16
Tabla 3. Fórmula Ci de la fórmula de TCO Eduardo Pierdant	16
Tabla 4. Fórmula Ca de la fórmula de TCO Eduardo Pierdant	17
Tabla 5. Fórmula Co de la fórmula de TCO Eduardo Pierdant	17
Tabla 6. Fórmula Cs de la fórmula de TCO Eduardo Pierdant.....	18
Tabla 7. Tabla clasificatoria de satisfacción de requerimientos	30
Tabla 8. Tabla ejemplo del instrumento de evaluación	30
Tabla 9. Tabla de lista de requerimientos de los laboratorios del segundo acuerdo cooperativo CDC-UVG	31
Tabla 10. Tabla de clasificación de los requerimientos.....	34
Tabla 11. Tabla de requerimientos con ponderación	34
Tabla 12. Lista de LIMS encontrados en la búsqueda por internet	37
Tabla 13. A. Primera fase de evaluación de los LIMS	39
Tabla 13. B. Primera fase de evaluación de los LIMS.....	39
Tabla 13. C. Primera fase de evaluación de los LIMS.....	40
Tabla 13. D. Primera fase de evaluación de los LIMS	41
Tabla 14. Resultados de la segunda fase de la evaluación.....	46
Tabla 15. Costo total de propiedad	48

LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

Figura 1. Esquema de los elementos de un sistema de información.....	5
Cuadro 1. Virus y bacterias procesadas en el Laboratorio de Biología Molecular.....	23
Cuadro 2. Parásitos, virus y bacterias procesadas en el Laboratorio de Microbiología	24

RESUMEN

En los últimos años, el tratamiento manual de información en los laboratorios ha sido sustituido por los sistemas de información para la automatización de laboratorios (LIMS). Estos sistemas de gestión de información proporcionan, entre otros beneficios, el almacenamiento y organización de la información generada en el laboratorio, soporte al desarrollo y seguimiento de los procedimientos de aseguramiento de la calidad, la integración de la información entre las áreas del laboratorio y la reducción de errores en el tratamiento de la información.

Estos sistemas eliminan el tratamiento manual de la información eliminando con ello la posibilidad de errores de transcripción a su vez que optimizan el tiempo laboral de los usuarios. Por esta razón su implementación en los laboratorios incrementa la productividad, eficiencia y precisión de los mismos.

El presente informe de experiencia profesional tiene como propósito fundamental proponer un modelo viable y factible de un LIMS para implementar y operar un sistema de información ágil y oportuno en la administración de la información generada en los laboratorios de investigación de la Unidad de Enfermedades Infecciosas Emergentes (UEIE) del Centro de Estudios en Salud (CES) de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) utilizados por el Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG, a fin de contribuir a resolver los problemas de eficiencia y calidad de datos derivados de la carencia o falta de un sistema de manejo de datos.

Finalmente, es importante mencionar que la información generada en la presente investigación muestra una alternativa para la administración automatizada de los datos de laboratorio, cuya necesidad e importancia ha sido identificada luego de la experiencia adquirida durante los trabajos profesionales desarrollados dentro del Equipo de Manejo de Datos del la UEIE. Se obtuvo como principal recomendación adquirir en el mercado internacional un LIMS llamado eLab con código fuente para ser modificado acorde a los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para su implementación, considerándose una propuesta viable y efectiva que contribuyó a la reducción de los costos operacionales a su vez que incrementó la versatilidad del mismo permitiendo ampliar con ello la productividad de dichos laboratorios en el ámbito de investigación y desarrollo epidemiológico.

I. INTRODUCCIÓN

La implementación exitosa de un sistema de manejo de la información de laboratorios (LIMS, por sus siglas en inglés) ayuda a mejorar la productividad del laboratorio y la calidad de los datos dentro del mismo.

El objetivo principal de este estudio fue la identificación de una opción viable y factible de un LIMS para los laboratorios de la Unidad de Enfermedades Infecciosas Emergentes (UEIE) del Centro de Estudios en Salud (CES) de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) debido a los problemas de eficiencia derivados de la carencia o falta de sistematización de bases de datos, razón por la cual se vio la necesidad de implementar un LIMS para mejorar este aspecto. El primer paso en la implementación de un LIMS es decidir si desarrollar uno propio o por el contrario comprar e implementar un LIMS del mercado privado.

Cabe destacar que existen diferentes tipos de laboratorios, en los cuales cada uno tiene sus propios objetivos y procesos internos que difieren entre sí. Por estas diferencias es que la definición de las funciones de un LIMS sigue siendo una discusión abierta en la cual el sistema de manejo de información debe basarse en los requerimientos del laboratorio para poder ser implementado y utilizado con éxito.

Por ello el desarrollo de la propuesta obtenida en la presente investigación consideró como primer paso el análisis de requerimientos de los laboratorios de la UEIE, efectuando una lista de estos requerimientos indispensables y no indispensables.

Posteriormente se realizó una búsqueda de opciones de LIMS de empresas privadas y de código abierto a nivel mundial para la identificación de una opción viable que cumpliera con los requerimientos necesarios para su implementación. Dichas opciones fueron cotejadas en dos fases de evaluación para establecer el grado de satisfacción y características técnicas o funcionales adecuadas para su implementación.

La primera fase de evaluación consistió en seleccionar aquellos LIMS que satisfagan los requerimientos indispensables, obteniendo que los LIMS que cumplieran con dichos requerimientos corresponden a: eLab, FreezerWorks y StarLIMS. Por el contrario, la segunda fase consistió en evaluar los LIMS mencionados anteriormente contra todos los requerimientos, no solo los indispensables.

El mecanismo utilizado para la segunda fase de evaluación consistió en calificar en una escala de 0 a 5 (teniendo como 0 la puntuación mínima y siendo 5 el grado de puntuación máxima) a los LIMS según el nivel de satisfacción en el cumplimiento de cada uno de los requerimientos de los laboratorios. Sin embargo debido a que no todos los requerimientos son igual de importantes, se le asignó a cada requerimiento un grado de significancia (de 10 a 1) que representa la prioridad e importancia de ese requerimiento. Todo ello permitió el establecimiento del grado de satisfacción y prioridad de los requerimientos cumplidos de cada LIMS.

La factibilidad debía ser en función del costo de LIMS y del tiempo de implementación del mismo. Al comparar la factibilidad de los LIMS no se tenía el conocimiento exacto del presupuesto que se tenía para la implementación de un LIMS, pero se tenía estimado que dicho costo asciende a aproximadamente Q150,000.00.

StarLIMS obtuvo el mayor puntaje en la evaluación y cumplimiento de los requerimientos (99.4%) evaluados; sin embargo, el costo operacional sobrepasaba el presupuesto estimado lo cual hizo que esta opción no fuera recomendable. Por el contrario, FreezerWorks obtuvo la menor puntuación en la escala comparativa (68.6%) constituyendo la opción menos viable para su implementación a pesar de que el presupuesto operacional se encontraba dentro del estimado, por lo que sí era factible su implementación. Por último, eLab tenía la opción de adquirir el código fuente obteniendo un nivel de puntuación adecuada (75.9%), no obstante la principal limitación con este LIMS fue que el módulo diseñado para resultados no cumplía con las necesidades funcionales y operativas de los laboratorios de la UEIE a pesar de encontrarse en el rango presupuestario y considerarse una opción factible.

Otra posibilidad explorada fue que el Equipo de Manejo de Datos (EMD) de la UEIE desarrollara completamente un sistema de manejo de información. Esta posibilidad a pesar de poderse ejecutar no constituía una opción factible de ejecutar ya que se determinó que el tiempo estimado en el desarrollo del mismo sobrepasaba el estimado y necesario para su implementación.

Finalmente se exploró una última posibilidad que consistió en comprar eLab con el código fuente y que el EMD desarrollara el módulo de resultados. Esto mejoró notablemente la viabilidad y factibilidad de eLab para su implementación, razón por la cual ésta constituye la recomendación final de este estudio.

II. ANTECEDENTES

A. Definiciones

1. Información. Se entiende por información al conjunto de datos que han sido procesados con la finalidad de establecer un mensaje y generar conocimiento del sistema que lo reciba. El dato es su unidad mínima, el cual por sí solo no posee ningún valor, pero en conjunto genera información. Esta información al ser organizada adecuadamente se convierte en conocimiento y luego del resultado de su análisis se convierte finalmente en cognición (Nunura, 2011).

En una empresa, la información es un recurso fundamental junto con otros recursos como el personal, el capital, las materias primas y los equipos. Alimenta a las empresas, siendo pieza clave para su supervivencia, y su uso es estratégico para el posicionamiento de las mismas dentro de la industria donde se desarrollan (Nunura, 2011).

A la información se le asocian costos como los de producción, distribución, seguridad, almacenamiento y recuperación. La información que se encuentra a nuestro alrededor no es gratuita y por ello se le debe obtener a tiempo para su uso eficaz y eficiente (Nunura, 2011).

La información de una empresa puede ser clasificada como:

- **Información estratégica:** permite a la alta dirección definir los objetivos de la organización, la cantidad y clase de recursos necesarios para alcanzar los objetivos y las políticas que gobiernan su uso. Su mayor fuente de información son las externas.
- **Información para el control de gestión:** ayuda a los mandos medios especiales para tomar decisiones en el periodo actual, normalmente un año para que sean consistentes con los objetivos estratégicos organizativos.
- **Información técnica u operacional:** se produce por rutina, día a día e incluye datos de contabilidad, control de inventario, programación de la producción, planificación de materiales, normas y gestión del personal, control del flujo de caja, logística, ingeniería, fabricación, recepción, distribución, ventas y todo el conjunto de las operaciones que son necesarias para mantener la empresa en funcionamiento.

- **Información contable y financiera:** es la información que se genera con el propósito de control financiero.

Dentro de las características informáticas, siempre debe buscarse que la información generada sea:

- **Completa:** si la información se pierde u oculta a la persona que debe tomar una decisión, el resultado de la decisión será pobre.
- **Exacta:** errores en la entrada, conversión o procesos puede dar como resultado conclusiones inválidas que darán lugar a decisiones erróneas.
- **Adecuada:** información específica debe estar disponible solamente para aquellos que la necesitan para asegurar una gestión eficiente. Demasiada información irrelevante a disposición de quien debe tomar la decisión puede ocultar el proceso.
- **Puntual:** si la información no se tiene a tiempo, pierde su valor, puesto que llega al que toma la decisión después de que se le necesita.
- **Segura:** la información debe ser protegida de su difusión a personas no autorizadas. Debe estar protegida contra destrucciones accidentales o voluntarias.
- **Autorizada:** la información puede ser semánticamente correcta pero representar transacciones inválidas o no autorizadas.
- **Auditable:** la información debe ser trazable través de los documentos fuentes o su ejecución seguida mediante sistemas de controles monitorizados y verificados.
- **Económica:** el coste marginal de producir la información no debería exceder el ingreso marginal que obtiene la empresa por su utilización. (Nunura, 2011)

2. Sistemas de Información. La Gestión Documental se desarrollará sobre un Sistema de Información (SI), el cual se define como un conjunto de elementos que interactúan entre sí para procesar los datos, dando lugar a información más elaborada y distribuirlos adecuadamente en una determinada organización en función de sus objetivos (Nunura, 2011).

Como todo Sistema, el Sistema de Información, es un conjunto de elementos dinámicamente relacionados que ejecutan una actividad para alcanzar un objetivo en común (Figura 1). Todo sistema tiene como parámetros:

- **Entrada, insumo o impulso (input):** es la fuerza de arranque del sistema, que provee el material o la energía para la operación del sistema.
- **Salida o producto o resultado (output):** es el resultado de un proceso el cual debe ser coherente con el objetivo del sistema.
- **Procesamiento, procesador o transformador:** es el fenómeno que produce cambios o mecanismo de conversión de las entradas en salidas. Generalmente es representado como la caja negra, en la que entran los insumos y salen los productos.
- **Retroacción, retroalimentación o retroinformación:** es la función de retorno del sistema que tiende a comparar la salida con un criterio preestablecido, manteniéndola controlada dentro de aquel criterio.
- **Ambiente:** es el medio que envuelve externamente el sistema. Está en constante interacción con el sistema, ya que éste recibe entradas, las procesa y efectúa salidas. (Nunura, 2011)

Figura 1. Esquema de los elementos de un sistema de información



Fuente: Nunura, D. (2011) Administración de Base de Datos. Pontificia Universidad Católica del Perú

Todo Sistema de Información (SI) debe cumplir con cuatro objetivos básicos:

- Automatización de procesos operativos (S. Transaccionales), logrando un ahorro en mano de obra. A través de ellos se carga gran cantidad de información que puede ser utilizado posteriormente.
- Proporcionar información que sirva de apoyo al proceso de toma de decisiones basándose en la información almacenada en los sistemas transaccionales.

Realizan muchos cálculos sin la necesidad de muchas entradas. Suelen ser muy interactivos, para llegar al usuario final.

- Lograr ventajas competitivas a través de su implantación y uso. Suelen desarrollarse internamente por lo que no pueden adaptarse a paquetes disponibles en el mercado. Su función es lograr ventajas que sus competidores no posean, tales como ventajas en costos y servicios diferenciados con clientes y proveedores.
- Buscar la forma de desarrollo, uso y administración de la infraestructura de la tecnología de la información en una organización así como la de su flujo. (Nunura, 2011)

Los Sistemas de Información (SI) según su función pueden ser:

- **Sistema de Procesamiento de Transacciones TPS:** gestiona la información referente a las transacciones producidas en una empresa u organización.
- **Sistema de Información Gerencial MIS:** utilizan los sistemas que se usan en las actividades operacionales y métodos de gestión de la información para el apoyo en la toma de decisiones. Estos sistemas son conocidos como “Business Intelligent” (inteligencia de negocio), llegando a formar parte ahora de las estrategias corporativas.
- **Sistemas de Soporte a Decisiones DSS:** herramienta para realizar el análisis de las diferentes variables de negocio con la finalidad de apoyar el proceso de toma de decisiones.
- **Sistema de Información Ejecutiva EIS:** herramienta orientada a usuarios de nivel gerencial, que permite monitorizar el estado de las variables de un área o unidad de la empresa a partir de información interna y externa a la misma.
- **Sistema de Automatización de Oficinas OAS:** aplicaciones destinadas a ayudar al trabajo diario administrativo de una empresa u organización.
- **Sistema Experto SE:** emulan el comportamiento de un experto en un dominio concreto.
- **Sistema Planificación de Recursos ERP:** Integran la información y los procesos de una organización en un solo sistema. (Nunura, 2011)

3. Sistema del Manejo de la Información de Laboratorio. En los últimos años ha surgido el concepto de Sistema de Manejo de la Información de Laboratorio, LIMS (por sus siglas en inglés, “*Laboratory Information Management System*”) que

abarca los sistemas informáticos para la gestión y el análisis de datos analíticos. Su definición puede ser derivada de las muchas usadas para Sistema de Información. (Urbano, 2005)

Andreu *et al.* (1996), definieron un Sistema de Información como: «Un conjunto formal de procesos que, operando en una colección de datos estructurada según las necesidades de la empresa, recopilan, elaboran y distribuyen la información (o parte de ella) necesaria para las operaciones de dicha empresa y para las actividades de dirección y control correspondientes, es decir, las decisiones para desempeñar su actividad de acuerdo a su estrategia de negocio». (Urbano, 2005)

Para definir LIMS, lo vamos a hacer añadiendo una serie de matices que particularicen la definición dada de un sistema de información. Así, cuando se habla de empresa, ésta se corresponde con un laboratorio de análisis químico, y por tanto, la colección de datos estructurados será de resultados analíticos, equipos del laboratorio, analistas, etc. En segundo lugar, las operaciones de la empresa tienen que matizarse de diferente forma según que el laboratorio sea independiente o pertenezca a una organización de mayor dimensión, de la que el laboratorio es un departamento más. Incluso cuando el laboratorio es independiente, podría ser un laboratorio de referencia o control perteneciente al ente público o un laboratorio privado que ofrece un servicio de análisis, que generalmente suele cubrir las necesidades analíticas de un determinado campo, ya sea clínico, agrario, ambiental, etc. Así, las operaciones para las que será necesaria la información y el flujo de ésta son dependientes del tipo de laboratorio. (Urbano, 2005)

Cuando un laboratorio es una parte de un ente de mayores dimensiones, la información generada sigue un camino vertical. Cuando es ascendente empieza en el laboratorio y termina en la dirección técnica del ente global, incluso llegando a la dirección general, pero con un nivel elevado de transformación y siempre con características indicativas para su uso táctico y estratégico. Por tanto, suele ser un paso desde los datos (con el calificativo “producidos”) a la información (con el calificativo “elaborada”). (Urbano, 2005)

Por otro lado, cuando la información es descendente adquiere matices imperativos para la síntesis de nuevos datos requeridos por la organización de la empresa. Entonces, el proceso es el contrario y se pasa de la información (con el calificativo “requerida”) a los datos (con el calificativo “necesarios”). Es obvio que éste es el flujo de información entre el laboratorio y la dirección, habiendo otros, por ejemplo,

entre la dirección y el departamento de producción, con una dirección descendente y con un contenido dependiente del ya explicado. (Urbano, 2005)

Cuando el laboratorio es independiente y estatal o regional, el flujo suele ser también vertical, pero cambia el destino de la información, apareciendo la administración en el lugar de la dirección de la empresa. Por el contrario, cuando el laboratorio es independiente y privado el camino que sigue la información es horizontal entre el laboratorio y el cliente. Éste requiere una información que generalmente necesita un menor grado transformación después de la salida del proceso analítico clásico, es decir, después de la generación del resultado. (Urbano, 2005)

Aunque la definición que se ha dado de Sistema de Información no incluye ninguna referencia a los medios informáticos, es difícil no relacionarlos. Normalmente, se diferencia el “Sistema de Información Total” del “Sistema de Información Automatizado” porque, en el último, la informática sí está considerada como la herramienta principal. (Urbano, 2005)

a. Funciones principales de un LIMS. Las funcionalidades principales de un LIMS son las siguientes:

- **Gestión de muestras:** Incluye toda la información relevante relativa a los análisis realizados, tales como lote, fecha, operador, equipo, resultados, etc. Las muestras pueden codificarse manualmente o mediante código de barras.
- **Tratamiento de datos:** Básicamente utilizado para generar vistas o modificar resultados. El sistema debe gestionar múltiples niveles y permisos para el acceso a datos. Igualmente, debe permitir el seguimiento y trazabilidad de los datos para las auditorias, de forma que se pueda saber quién modifica algún dato y qué cambio se ha hecho.
- **Aseguramiento y control de calidad:** Necesario para verificar la calidad de los resultados de los análisis realizados. Esta función permite al usuario ejecutar, entre otros, algoritmos de control para:
 - Comprobar la coherencia de resultados de análisis mediante cálculos que correlacionan los distintos parámetros de una misma muestra
 - Control de muestras duplicadas
 - Verificación estadística del origen de muestras
 - Test estadísticos para determinar la calidad de los resultados
 - Tendencias y evoluciones históricas

- **Control de las calibraciones de equipos:** Este tratamiento permite conocer si las calibraciones han sido efectuadas apropiadamente y, por tanto, si los resultados son correctos.
- **Gestión de mantenimiento de equipos:** La fiabilidad de los equipos se basa en su mantenimiento preventivo y predictivo para tender a su explotación óptima. El sistema gestiona los registros de mantenimiento de los equipos e informa al operador en caso de anomalías en su realización. (Pérez, 1999)

b. Características generales de un LIMS. El LIMS debe administrar una gran cantidad de información generando informes de manera rápida y sencilla con los datos obtenidos en el laboratorio. También debe extraer la mayor cantidad de información de los datos para llevar un adecuado control de calidad del laboratorio, permitiendo investigar cómo los resultados difieren entre los distintos métodos analíticos, y permitiendo comparar resultados entre diferentes muestras. (Timmermann, 1994)

Es decir, los sistemas de control y la generación de informes con detalles precisos en forma rápida y sencilla, deben ser la característica clave de un Sistema de Automatización para laboratorios bioquímicos. (Timmermann, 1994)

Es importante, que el LIMS sea desarrollado en un ambiente donde exista interacción del personal al cual le será de utilidad, que incorpore una sofisticada tecnología y sea sencillo de usar, para que no requiera expertos en computación para su uso, que las funciones sean manejadas con menús llamados simplemente al pulsar una tecla, que sea muy rápido puesto que el LIMS es usado para comparar datos de análisis, que sea modular para expandirlo a voluntad, esto es, que un sistema básico inicial pueda aceptar nuevos módulos compatibles de acuerdo a las necesidades futuras del laboratorio. (Timmermann, 1994)

1) Automatización sin digitación de datos. La función principal de cualquier LIMS es evitar la manipulación innecesaria de lecturas de análisis. Toda la generación o manipulación de la información deberá ser auditada electrónicamente. Algunas técnicas son:

- **Comunicación con los instrumentos:** La mayoría de los instrumentos usados en el análisis químico tienen una conexión a un computador que debe ser utilizada por el sistema de automatización. Esta conexión puede ser serial (RS

232) o de algún otro tipo. Con esta opción se transfieren las lecturas de los instrumentos al computador sin necesidad de digitar.

- **Programación de fórmulas:** Un factor importante es el diseño de una planilla electrónica que permita el ingreso de fórmulas para el cálculo de la columna de resultados. También deberá incluir otras funciones como límites de detección, decimales o precisión a informar.
- **Librería de métodos de análisis (Procedimiento Operativo Estándar):** Los Procedimientos Operativo Estándar (POE) son documentos que describen el método o la forma como se realiza cierto procedimiento. Estos métodos de análisis deberán mantenerse en una base de datos electrónica. Así se almacena, de forma ordenada y visible, en una biblioteca con todos los POEs. Esta biblioteca incluye por cada análisis diferente información como la metodología del análisis, unidades de conversión, formato de resultados, etc.
- **Seguridad y respaldo de datos:** La mayor concentración se debe dedicar a la seguridad de los datos. No es improbable la caída de un computador y con ello la pérdida de los datos de análisis. Si se considera una semana de trabajo con diez mil muestras que se pierden, se puede calcular los enormes costos generados por la pérdida de materiales en solubles y horas de análisis. Por esta razón, el sistema debe asegurarse que la información sea respaldada. También un control del analista, en el caso de generarse informes dudosos, ya que en estas hojas de trabajo se incluye toda la información relacionada con el químico. Para mayor seguridad y evitar la alteración de datos por terceros, se debe poder cerrar los informes con una clave. (Timmermann, 1994)

2) Generación automática de hojas de trabajo. Una de las características más esenciales de un LIMS es la generación automática de hojas de trabajo del técnico de laboratorio. Se trata de ofrecer al técnico de laboratorio una lista del trabajo que debe hacer día a día. Esta hoja incluirá además de las lecturas de análisis, la calibración del instrumento, el nombre del instrumento usado y del técnico de laboratorio, la fecha y hora del análisis, así como los datos estadísticos de éstos. Esta hoja deberá ser conservada con el informe de análisis, y así, siempre habrá una copia fiel como testigo de un análisis. (Timmermann, 1994)

3) Informes electrónicos. La transcripción de datos en un análisis es una fuente alta de error. Normalmente, la última transcripción ocurre cuando el usuario final (destinatario) copia estos datos para ingresarlos a una base de datos propia que es usada por otro programa. Para evitar errores, el sistema deberá ser capaz de proporcionar estos datos en un medio digital. El formato más común para esta transmisión es un archivo CSV (Valores Separados por Comas, por sus siglas en inglés). Un segundo formato sería un archivo Microsoft Excel (hoja de cálculo). (Timmermann, 1994)

4) Base de Datos. Una base de datos es el conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y que son almacenados sistemáticamente para su posterior uso. En la actualidad y debido al desarrollo tecnológico de la informática y la electrónica, la mayoría de bases de datos están en formato digital logrando dar soluciones al problema del almacenamiento de datos, y que pueden ser recolectados y explotados por los sistemas de información de la empresa.

Existen muchas bases de datos en el mercado, y su tecnología está mejorando diariamente. Puesto que la base de datos a elegir va a ser el corazón del LIMS, su elección deberá ser bien informada. Estas pueden clasificarse según la variabilidad de los datos almacenados:

- **Base de datos estáticas:** son base de datos de solo lectura, utilizadas primordialmente para almacenar datos históricos.
- **Base de datos dinámicas:** donde la información se modifica con el tiempo, permitiendo operaciones como actualización, borrado y adición de datos, además de las operaciones de consulta

Los mayores parámetros para esta elección son la velocidad de respuesta y seguridad. El modelo de datos de un LIMS es la parte más compleja. El mayor error que realizan informáticos es considerar solamente los resultados finales de cada análisis. Pero cada análisis está compuesto de varios parámetros, calibraciones de instrumentos, estándares de control, auditoria, etc.

Los Sistemas de Gestión de Base de Datos (SGBD) son un tipo de software muy específico dedicado a servir de interface entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Se compone de un lenguaje de definición de datos, un lenguaje de manipulación de datos y un lenguaje de consulta. Los SGBD tienen dos funciones que son:

- La definición de la estructura para almacenar los datos.
- La manipulación de los datos.

Los componentes de un SGBD son:

- **Bases de Datos:** contiene información para realizar cálculos u operaciones más los datos resultado de las actividades de la empresa considerados como documentos de gestión.
- **Hardware:** escáneres y dispositivos de digitalización.
- **Servidores:** contienen la información previamente digitalizada. Los usuarios finales se pueden conectar a un servidor para poder acceder a dicha información, para su modificación o revisión.
- **Software:** gestores documentales, programas de apoyo al proceso de gestión de la documentación que se maneja en la empresa.
- **Redes:** por medio de las redes los usuarios podrán acceder a la información que se encuentra en los servidores. Las redes pueden ser locales, aunque también se puede acceder a la información por internet.
- **Usuarios:** a través de una cuenta de usuario, se lleva a cabo el acceso a los documentos digitalizados, permitiendo así realizar la consulta electrónica de la información de acuerdo a los niveles de seguridad asignados a cada usuario registrado en el sistema.
- **Administradores:** desde el puesto del Administrador del Sistema, los documentos digitalizados se codifican e indexan en la base de datos del servidor, identificando su ubicación física del documento original y asignando a cada documento, las claves de acceso. Los documentos digitalizados se almacenan en su correspondiente fichero. (Timmermann, 1994)

5) Control de calidad. Una realidad actual es que los laboratorios modernos estén ante una constante presión competitiva. Estas organizaciones deben continuamente improvisar para demostrar su competitividad y así poder cumplir con los requerimientos de sus clientes. La base de este logro es obtener resultados de análisis fieles y limpios, lo cual es logrado únicamente con un eficiente sistema de control de calidad.

El LIMS deberá proveer un módulo de control de calidad que extraiga automáticamente los resultados de muestras estándares de los análisis. Estos datos, junto a otros que muestren su procedencia y su ligación a los reportes, deberán generar

gráficos y estadísticas en forma simple y fácil. Los resultados que excedan las normas patrones predefinidas, deberán resaltar, para llegar rápidamente al origen de esta falla. (Timmermann, 1994)

6) Monitoreo y control del laboratorio. Para un mayor control de la información, el LIMS deberá entregar una estadística general de laboratorio. La generación de esta estadística deberá ser automática, es decir, el computador proporciona y agrupa los datos estadísticos mostrando con gráfica el estado actual del laboratorio. Esta estadística debe estar enfocada a producción, análisis y facturación. (Timmermann, 1994)

7) Monitoreo de producción. Mostrar cuantitativa y comparativamente el estado del laboratorio: análisis pendientes, informes terminados, tiempo medio de preparación de la muestra, tiempo medio de análisis, cuántas muestras / análisis van por mes, etc. Con esta característica se evitará el retardo excesivo en la entrega de un resultado. Así el supervisor sabrá cuantos días permanece una muestra en cada sección del laboratorio, o determinar cuáles son las secciones más lentas. (Timmermann, 1994)

8) Estadística de análisis. Cantidad de muestras / análisis por mes. Cantidad de análisis por cada elemento (para ser transferido al sistema de facturación). Esta estadística genera una planilla anual con cantidades por cada análisis que se realice en el laboratorio. Comparativamente se puede estudiar cuales son los elementos más analizados y cuales tienen una tendencia descendente. (Timmermann, 1994)

9) Facturación de Análisis. La contabilización y clasificación de análisis por mes es un arduo trabajo llegado el momento de facturar. Por eso, se deberá disponer de un completo sistema de facturación que genere automáticamente una clasificación de los análisis. La generación automática de una factura, así como su posterior alteración manual (editar), son parte del proceso de facturación. El sistema de facturación deberá hacer referencia a una o más listas de precios, con lo cual se podrá generar facturas según contratos especiales. (Timmermann, 1994)

4. Costo Total de Propiedad (TCO). El TCO es una metodología desarrollada por Hill Kirwin de Gartner Group Inc. dicho modelo ayuda a analizar los costos relacionados con las soluciones de tecnología, a lo largo del ciclo de vida útil de los proyectos. Inicialmente fue desarrollada para soluciones de IT, pero actualmente es utilizada por cualquier tipo de soluciones y áreas. (Mendoza, 2009)

Con dicho método es posible determinar los costos directos e indirectos en que se incurriría al adquirir una solución de IT o que una solución actual tiene. (Mendoza, 2009)

El TCO proporciona un informe de costos que se incurren por adquisición, mantenimiento, configuración, contratación, administración, entre otros. Siendo una de las herramientas usadas como medidor financiero para la toma de decisiones en proyectos informáticos. Clasificado como un método para calcular los distintos tipos de costos, apoyando tanto a usuarios como a gerentes de organizaciones. (Mendoza, 2009)

El principio básico del TCO es que los costos de propiedad de cualquier bien que se adquieran, tienen componentes más allá de los estipulados en el precio de compra del mismo, dado que a lo largo de vida del activo se incurre en gastos adicionales, costos en los cuales se debe incurrir para garantizar el funcionamiento correcto, así como protegerlo, mantenerlo, administrarlo y operar el bien o conjunto de bienes, durante la vida útil del mismo. Esta medida surgió por la necesidad de comparar equitativamente propuestas que incluyen valores de cobro distribuido en el tiempo, al igual que valores de pago único. Proporciona una herramienta retrospectiva ya que informa el historial del costo que un proyecto ha tenido a lo largo del tiempo. (Mendoza, 2009)

a. Cálculo del Costo Total de Propiedad según Eduardo Pierdant. Es una fórmula básica para el cálculo del TCO. Para comenzar, Eduardo Pierdant sugiere ciertas preguntas para obtener la mayor información posible:

Tabla 1. Lista de preguntas de la metodología TCO de Eduardo Pierdant

No.	Pregunta
1	¿Cuántos ingenieros en sistemas necesito tener diariamente junto al servidor para poder administrar y operar los servidores que comprenden la solución adquirida?
2	¿Cuántos ingenieros y personal de soporte técnico para usuarios necesito tener para operar de forma eficiente y dar el servicio que los usuarios del sistema necesitan?
3	¿Puede hacerlo el personal con el que cuento en este momento o necesito contratar personal externo o servicios de consultoría del proveedor de la solución?
4	¿Necesito pagar entrenamiento adicional para tener capacidad interna para soportar la solución?
5	¿Cuánto cuesta una hora de soporte o servicio del proveedor que pueden darle servicio a la solución?
6	¿Qué o cuántos ajustes pudiera requerir la solución en el lapso de tiempo que pretendo que esté operando (3, 5, 10 años)?
7	¿Tengo que pagar un contrato de soporte del fabricante para poder tener acceso a nuevas versiones, actualizaciones de seguridad, etc.?
8	¿Qué tan fácil se puede operar la solución adquirida?
9	¿Requiero de doctores en computación para poder administrar la solución o hay suficiente personal o empresas que me puedan dar un buen servicio?
10	¿Qué tan fácil es encontrar personal para operar y administrar la solución?

Fuente: Mendoza, 2009

La fórmula de TCO propuesta por Eduardo Pierdant es la siguiente:

Tabla 2. Fórmula de TCO Eduardo Pierdant

CSS = Ci + Ca + Co + Cs		
CSS	Costo de la solución de software	
Ci	Costo inicial	Costos de la adquisición de hardware, software, consultorías, entre otros
Ca	Costo de Administración	Involucra costos anuales del personal interno o externo, administración de usuarios, permisos y operaciones diarias de respaldo.
Co	Costo de operación	Costos por mantenimientos preventivos y correctivos aplicado a hardware y software, repuestos y reparaciones así como actualizaciones de software. Costos por pérdidas en caídas de operaciones.
Cs	Costo de servicio a usuario	Soporte a los usuarios finales.

Fuente: Mendoza, 2009

Esta fórmula la describimos detalladamente a continuación:

Tabla 3. Fórmula Ci de la fórmula de TCO Eduardo Pierdant

Ci = Ch + Csw + Cins + Ccon	
Ci	Costo inicial de la solución.
Ch	Costo de Hardware requerido.
Csw	Costo de Software requerido.
Cins	Costo de servicios iniciales para la instalación.
Ccon	Costo de servicios iniciales para la configuración.

Fuente: Pierdant, 2006

El costo inicial consiste en el costo de hardware y software requerido para el funcionamiento de la solución. También consiste en los costos de asesoramiento y

consultoría para realizar la instalación y la configuración de la solución de software. (Pierdant, 2006)

Tabla 4. Fórmula Ca de la fórmula de TCO Eduardo Pierdant

Ca = CAI * NI * NA * TS	
Ca	Costo de administración.
CAI	Costo anual de un ingeniero (interno o externo).
NI	Número de ingenieros de planta.
NA	Número de años de la solución en funcionamiento.
TS	Porcentaje de tiempo dedicado a la solución.

Fuente: Mendoza, 2009

El costo de Administración involucra costos anuales del personal interno o externo para poder mantener el buen funcionamiento diario de la solución; desde la administración de usuarios y permisos, hasta las operaciones diarias de mantenimiento de respaldos, etc. (Pierdant, 2006)

Tabla 5. Fórmula Co de la fórmula de TCO Eduardo Pierdant

Co = NIPP * NASF * CHS * TTF	
Co	Costo de operación.
NIPP	Número de incidentes promedio por año.
NASF	Número de años de la solución en funcionamiento.
CHS	Costo por hora de servicio.
TTF	Tiempo aproximado para reparar la falla.

Fuente: Mendoza, 2009

El Costo de Operación toma en cuenta los costos por mantenimiento preventivo y correctivo aplicado tanto a hardware como a software. También se incluyen todos los gastos incurridos por pérdida de operación, como por ejemplo caídas por virus, fallas eléctricas o de hardware.

Tabla 6. Fórmula Cs de la fórmula de TCO Eduardo Pierdant

Cs = NIA * NASF * CHSo * TSR	
Cs	Costo de servicio a usuarios.
NIA	Número de incidentes promedio por año.
NASF	Número de años de la solución en funcionamiento
CHSo	Costo por hora de soporte
TSP	Tiempo aproximado para dar soporte requerido

Fuente: Mendoza, 2009

Finalmente el Costo de soporte a usuarios se compone de todos los costos generados de cualquier tipo de soporte dado los usuarios finales de la solución en cuestión.

5. Adquisición de un LIMS. Puesto que la adquisición de un LIMS tiene un costo inicial relativamente alto, es muy importante una correcta asesoría. La instalación de un LIMS toma aproximadamente entre dos y tres meses. El plazo normal para que un LIMS esté totalmente operable es un año.

a. Estudios necesarios para comprar un LIMS:

- Visitar un par de laboratorios que trabajen con un LIMS.
- Evaluar el equipo computacional necesario.
- Modificación del LIMS para una personalización del laboratorio.
- Soporte y mantenimiento del LIMS para reparar problemas y actualizaciones en el sistema por cambio en el laboratorio

b. Costos a considerar en la adquisición de un LIMS:

- Capacitación del personal de laboratorio, manejo básico de computadoras.
- Compra de computadores y equipos, y la instalación de los mismos.
- Compra del LIMS, instalación y capacitación.
- Costos de mantenimiento del sistema.
- Costos de mantenimiento de los computadores y equipos.

Es importante que una vez instalado y funcionando no requiera un especialista de computación de planta. Esto se logra con una configuración óptima del equipo de cómputo y del LIMS, y con un entrenamiento previo de algunos químicos. Así, un

laboratorio sin experiencia en computación no necesitará un especialista de planta y podrá mantenerse perfectamente con servicios de mantención periódicos. (Timmermann, 1994)

1) Desarrollo del sistema LIMS. El tiempo a invertir para desarrollar un LIMS con estas características supera los 3 años hombre de investigación y desarrollo. Se aconseja que el desarrollo sea en el mismo laboratorio (en terreno), obteniendo un concepto real del funcionamiento de un laboratorio químico. De esta forma, se implementan todas las peticiones requeridas por los analistas, obteniendo como resultado un sistema poderoso y a su vez amigable en su uso. (Timmermann, 1994)

B. Contexto del proyecto

La estrecha colaboración entre el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala y el CDC inició en el año 2006 con el objetivo de establecer el Programa Internacional de Enfermedades Emergentes en Centro América y Panamá (IEIP-CAP). El Programa IEIP-CAP es parte del Centro de Detección de Enfermedades Global (GDD) de la oficina regional en Centro América y Panamá de los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, Estados Unidos (CDC), el cual funciona a través de un acuerdo Cooperativo con el CES de la UVG. Este acuerdo cooperativo fue renovado en el año 2009 dando nacimiento al Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG. Esta relación de colaboración entre ambas instituciones mantienen la sustentabilidad del programa proveyendo la capacidad institucional y material para el desarrollo de los diferentes ejes de acción del programa.

El programa IEIP-CAP busca crear y fortalecer capacidades en la región para brindar una respuesta rápida y efectiva a las enfermedades infecciosas emergentes en Centroamérica y Panamá por medio del fortalecimiento de las capacidades técnicas de los Ministerios de Salud e Instituciones académicas de la región, para el reconocimiento de las enfermedades emergentes, su prevención, control y tratamiento. Dicho programa se realiza conjuntamente con otros socios de la comunidad académica e investigativa de cinco países a nivel mundial, siendo estos: Tailandia (2001), Kenya (2004), Guatemala (2006), Egipto (2006) y China (2006).

Para lograr esta misión, IEIP-CAP se enfoca en su principal programa: Vigilancia Comunitaria (ViCo), programa cuyo fin principal es un estudio que intenta determinar la

carga epidemiológica real de síndromes como neumonía, diarrea, enfermedades neurológicas, enfermedades febriles y brotes epidemiológicos; apoyo a brotes; investigación; capacitación y redes de trabajo técnico.

La visión principal del programa es lograr un mundo libre de las amenazas de las enfermedades infecciosas emergentes que ocurren de manera natural o son causadas por actos de bioterrorismo.

Dentro de las principales actividades del acuerdo cooperativo se encuentran la vigilancia epidemiológica para diarrea, neumonía, influenza y otras enfermedades infecciosas agudas en los Departamentos de Santa Rosa y Quetzaltenango; apoyo al Ministerio de Salud Pública de Guatemala en investigaciones de brotes; capacitaciones para detección temprana de brotes; fortalecimiento del Laboratorio Nacional de Salud para perfeccionar los procedimientos diagnósticos para una variedad de patógenos potenciales; investigación de factores culturales que influyen en el uso de la terapia de rehidratación oral para el tratamiento de la diarrea e investigación de enfermedades zoonóticas (procedentes de animales).

1. Equipo de Manejo de Datos (EMD). Para suplir las necesidades de manejo de datos para el aseguramiento de la calidad de los mismos el Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG cuenta con un Equipo de Manejo de Datos (EMD) de la Unidad de Enfermedades Infecciosas Emergentes (UEIE) del Centro de Estudios en Salud (CES) de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), el cual ayuda en la obtención, manejo y limpieza de los datos a los investigadores del programa IEIP-CAP.

2. Laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG. Para el desarrollo de las diferentes actividades del programa IEPI-CAP el Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG utiliza dos laboratorios de referencia, los cuales se encuentran ubicados dentro de las instalaciones del CES de la UVG, siendo estos:

- **Laboratorio de Microbiología:** El Laboratorio de Microbiología Clínica desempeña un importante papel en el diagnóstico y el control de las enfermedades infecciosas. Sin embargo, la capacidad del laboratorio para realizar estas funciones se encuentra limitada por factores analíticos como la calidad de la muestra recogida en el paciente, el medio de transporte de la muestra al laboratorio y las técnicas utilizadas para demostrar la presencia del microorganismo. El objetivo primordial del laboratorio de microbiología es la

detección, análisis e identificación de bacterias, parásitos y virus causantes de brotes y enfermedades de origen gastrointestinal en la población Guatemalteca para la instauración de un tratamiento adecuado, su control y prevención.

- **Laboratorio de Biología Molecular:** La biología molecular es el estudio de las biomoléculas que conforman el material genético de los organismos vivos a través de técnicas actualizadas que contribuyen en la detección, análisis e identificación de los diferentes componentes genéticos. Dentro de las principales técnicas de biología molecular tenemos la reacción en cadena de polimerasa (PCR). Actualmente el diagnóstico molecular ha constituido una herramienta importante en el diagnóstico médico permitiendo un diagnóstico más sensible y específico de los patógenos causantes de enfermedades infecciosas. El propósito principal del Laboratorio de Biología Molecular CES-UVG es la detección de virus y/o bacterias causantes de enfermedades respiratorias o diarreicas en especímenes clínicos provenientes de los puestos de vigilancia comunitaria. Las técnicas derivadas de la biología molecular se utilizan en forma creciente tanto con fines básicos como aplicados y constituyen una parte fundamental en el diagnóstico clínico partiendo de muestras biológicas muy diversas.

Debe hacerse la aclaración, que al referirse a “los laboratorios”, se hace mención a los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG para facilitar la lectura.

Actualmente ambos laboratorios procesan muestras provenientes del Hospital Nacional de Santa Rosa, Cuilapa; Hospital regional de Quetzaltenango; Laboratorio Nacional de Salud (LNS); muestras de brotes originados en la república de Guatemala y cortesías, que corresponden a muestras referidas para el diagnóstico de patógenos bacterianos y/o de naturaleza viral. Dentro de los principales procesos analíticos de los laboratorios se encuentran:

a. Proceso previo al análisis. Este proceso abarca desde la obtención y preparación preliminar de la muestra inicial hasta su transporte y almacenamiento al laboratorio. Este proceso se encuentra conformado de las etapas de:

- **Identificación de la muestra:** En esta etapa se genera la identidad de la muestra mediante la colocación de un identificador externo e identificador interno. El identificador externo está conformado por un código alfanumérico que depende del programa de investigación para el cual será de utilidad mientras

que el identificador interno lo constituye un número correlativo que se le asigna a cada paciente en el orden que sean ingresados al laboratorio

- **Transporte:** El envío de muestras es efectuado cumpliendo las especificaciones de conservación apropiada de la muestra. Para ello las muestras son transportadas en un contenedor a 4° C efectuando un monitoreo de la conservación de la temperatura de la muestras durante el transporte desde su origen hasta su destino mediante el registro de temperatura.
- **Almacenamiento:** Luego de la recepción de muestras, estas se preparan en diferentes alícuotas (una alícuota es una parte proporcional de la muestra que se toma de un volumen o de una masa inicial para ser usada en una prueba de laboratorio, cuyas propiedades físicas y químicas, así como su composición representan las de la sustancia original) las cuales son almacenadas a -70° C en contenedores para su evaluación posterior.

b. Proceso analítico. Este proceso se encuentra constituido por la aplicación de procedimientos para la obtención de ácidos nucleicos sobre los cuales se realiza posteriormente el análisis bioquímico genético.

Dentro de los pasos críticos que componen el análisis de los especímenes clínicos que ingresan al laboratorio de biología molecular tenemos:

- **Extracción de ácidos nucleicos:** La extracción de ácidos nucleicos constituye la obtención del material genético del espécimen, ya sea ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN). Este proceso se encuentra conformado por tres etapas; la lisis de células o virus, en donde las sales caotrópicas ayudan a romper la estructura tridimensional de las macromoléculas consiguiendo su desnaturalización; la degradación de la fracción proteica asociada al ADN, mediante la adición de una proteasa y la etapa de purificación del material genético, en la cual se efectúa la precipitación del ADN mediante la adición de un alcohol en el cual el ácido nucleico es insoluble y su recuperación posterior del sedimento por la adición de agua o una solución tampón.
- **Reacción de la cadena de polimerasa (PCR):** Esta técnica molecular permite la replicación extensiva de múltiples copias de ácidos nucleicos a partir de un fragmento específico de ADN o ARN posibilitando su detección de forma específica. La reacción de cadena polimerasa puede efectuarse por

metodologías convencionales o cualitativas, así como de forma cuantitativa mediante la determinación de la concentración de material genético en la muestra evaluada.

- **Visualización de los productos de reacción:** La visualización de los productos de reacción de PCR pueden observarse de forma cuantitativa o cualitativa. La técnica principal de visualización cualitativa es la electroforesis. Esta técnica se basa en la capacidad de las macromoléculas cargadas para desplazarse en un campo eléctrico con velocidad proporcional a su carga e inversamente proporcional a su tamaño y es visualizado mediante la adición de bromuro de etidio, el cual funciona como agente intercalante en el material genético emitiendo fluorescencia que revela el producto de reacción. Así mismo es posible efectuar la visualización de dichos fragmentos de ácido nucleico mediante la utilización de equipos automatizados los cuales permiten la detección de fluorescencia del producto de reacción la cual es directamente proporcional a su concentración y la transmiten a programas operativos diseñados para detectar y determinar la concentración exacta del producto en la muestra.

La aplicación de técnicas de biología molecular en la vigilancia comunitaria del programa IEPI-CAP permiten la detección de patógenos virales y bacterianos dentro de los cuales tenemos:

Cuadro 1. Virus y Bacterias procesadas en el Laboratorio de Biología Molecular

Bacterias		Virus	
	Respiratorias		Respiratorios
-	<i>Chlamydia Pneumoniae</i> (CP)	-	Adenovirus (AD)
-	<i>Legionella pneumophila</i> (LP)	-	Metapneumovirus Humano (hMPV)
-	<i>Mycoplasma pneumoniae</i> (MP)	-	Virus Respiratorio Sincital (RSV)
-	<i>Legionella longbeachae</i> (LL)	-	Virus Parainfluenza Humano tipo 1 (hPIV-1)
-	<i>Streptococcus pneumonie</i> (SP)	-	Virus Parainfluenza Humano tipo 2 (hPIV-2)
		-	Virus Parainfluenza Humano tipo 3 (hPIV-3)
		-	Influenza Virus A (FluA)
		-	Influenza Virus B (FluB)

Continuación de Cuadro 1

Diarreicas		Diarreicas
- Patotipos de <i>Escherichia coli</i> (ETEC-EPEC)		- Norovirus (NV)
Febriles		Febriles
- <i>Bartonella</i> sp. - <i>Rickettsia</i> sp. - <i>Leptospira</i> sp.		- Dengue
Neurológicas		Neurológicas
		- Herpesvirus (HV) Citomegalovirus (CMV)

Por el contrario, la vigilancia comunitaria del Laboratorio de Microbiología se centraliza en la detección de los siguientes patógenos:

Cuadro 2. Parásitos, Virus y Bacterias procesadas en el Laboratorio de Microbiología

Bacterias	Virus	Parásitos
- <i>Escherichia coli</i> - <i>Streptococcus</i> sp. - <i>Staphylococcus</i> sp. - <i>Pseudomona</i> sp. - <i>Shigella</i> sp. - <i>Salmonella</i> sp. - <i>Klebsiella</i> sp. - <i>Campylobacter</i> sp. - <i>Helicobater</i> sp. - Entre otros	- Rotavirus	- <i>Entamoeba</i> - <i>Giardia</i> - <i>Balantidium</i> - <i>Cyclospora</i> - Entre otros

c. Proceso posterior al análisis. Este proceso es la validación técnica del proceso analítico y se encuentra conformado por el análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

d. Proyección. Los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG tienen varios objetivos a futuro. Uno de los objetivos es implementar metodologías analíticas de vanguardia tanto para la detección de diferentes microorganismos como para la implementación de nuevas técnicas que permitan mejorar las metodologías analíticas ya implementadas.

Debido al creciente flujo de muestras es necesaria la optimización de tiempo y recurso humano en el ingreso de muestras, por lo cual es necesario implementar un sistema de manejo de información eficiente que permita no solo incrementar la captación e ingreso de muestras en el menor tiempo posible, sino también disminuir posibles fuentes de error humano en la transcripción de datos. Esto se logra maximizando la automatización dentro de los procesos de los laboratorios minimizando con ello el ingreso manual de datos al sistema.

e. Manejo de la información dentro del laboratorio. Los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG actualmente gestionan los datos utilizando las siguientes formas:

- **Datos electrónicos:** Los laboratorios utilizan hojas electrónicas de Microsoft Excel 2003 (en el resto del documento será llamado simplemente “Excel”) para llevar el registro de recepción de muestra, alícuotas hechas de las muestras y los resultados de las mismas.
- **Datos en papel:** Los diferentes datos que se guardan en papel son:
 - **Mapas de inventario de muestras:** Las muestras se guardan en tubos de 1000 microlitros que son guardadas en cajas rectangulares con 12x8 compartimientos (12 filas y 8 columnas, con un total de 96 celdas). Estas cajas a su vez son guardadas en un congelador a -70 grados centígrados. Para registrar la localidad de cada muestra se utiliza una hoja por caja con una tabla de 12 filas y 8 columnas en la que cada celda representa una celda de dicha caja. Estas hojas se guardan en cartapacios
 - **Registro de las pruebas:** Cada técnico de laboratorio tiene un cuaderno de registro interno diario de los procedimientos efectuados en el laboratorio. El técnico debe de registrar que realiza, como, cuando, donde y con que efectúa cada procedimiento y demás datos de interés.

1) Problemas de manejo de la información dentro de los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG. El EMD detectó problemas serios en el manejo de los datos dentro de los laboratorios. A continuación se describen los problemas principales:

- **Problemas en datos electrónicos:**
 - **Dificultad en unificar datos:** recordemos que en los laboratorios se utiliza un archivo de Excel para cada acción (recepción, inventario, resultados de análisis). Esto hace que la información de una muestra esté repartida entre varios archivos de Excel, haciendo que la unificación de los datos sea una tarea ardua.
 - **Manejo de una considerable cantidad de datos en Excel:** Excel es una muy buena herramienta para manejar y organizar visualmente los datos, pero tiene un límite de capacidad. Para evitar llegar al límite de la capacidad de Excel los laboratorios crean un archivo para cada año. Esto aumenta el problema anterior.
 - **Problemas en confundir Excel como una herramienta de ingreso, almacenamiento y análisis de datos:** Hubo un caso en donde una técnica de laboratorio estuvo analizando los datos utilizando el Excel donde se ingresaban los datos del laboratorio. Para hacer su análisis tuvo que ordenar los datos, pero no los ordenó bien y modificó los datos de todo el archivo. Se tenía una copia de respaldo, pero se perdieron horas de trabajo.
 - **Carencia de mecanismos apropiados de validación:** Al tener los datos repartidos en varios archivos de Excel hace que no se puedan hacer validaciones que dependan de datos de otros archivos de Excel y de datos clínicos guardados en una base de datos de Microsoft SQL Server 2008.
 - **Error humano:** Como hay varios archivos de Excel, hay que ingresar cierta información (como el identificador de muestra) varias veces. Esto aumenta el error humano en el ingreso de los datos y aumenta el tiempo utilizado por las técnicas de laboratorio en el ingreso de los datos.
- **Problemas con datos en papel:** El principal problema (y del cual se derivan varios otros problemas) es que los datos en papel son datos no estructurados, haciendo difícil y tedioso operaciones como la búsqueda y la modificación de datos.

III. JUSTIFICACIÓN

En vista, tanto de los problemas de manejo de datos, como la creciente demanda e implementación de nuevas metodologías de análisis en los laboratorios pertenecientes al Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG y a la carencia de un sistema de manejo de información. El cual permitiría gestionar el aseguramiento en la calidad del análisis y tratamiento de datos con lo cual pudiera incrementarse la productividad de dichos laboratorios en el ámbito de investigación y desarrollo epidemiológico. Se establece la necesidad sustancial de la búsqueda e implementación de un sistema de manejo de la información que cumpla con las especificaciones adecuadas para los mismos.

La importancia de esta investigación fue la determinación y posterior recomendación de una opción viable y factible de un LIMS para su implementación en los laboratorios de la UEIE acorde a los requerimientos indispensables, recomendables y prescindibles para la implementación de un sistema de manejo de información que incremente la eficacia y competitividad de los laboratorios. Para ello se empleó un mecanismo de evaluación a las diferentes alternativas de LIMS existentes en el mercado y poder seleccionar con ello un sistema de manejo de información que permitiera la reducción de errores y tiempo en el proceso analítico permitiendo la generación de un sistema de gestión de datos óptimo.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Recomendar una opción viable y factible de un LIMS para los laboratorios de la Unidad de Enfermedades Infecciosas Emergentes del Centro de Estudios en Salud de la Universidad del Valle de Guatemala.

B. Objetivos específicos

- Establecer los requerimientos indispensables y no indispensables de los laboratorios del programa IEIP-CAP para la implementación de un sistema de manejo de información.
- Definir un mecanismo de evaluación para validar las diferentes versiones de LIMS existentes en el mercado.
- Comparar las diferentes alternativas de sistemas de manejo de la información de los laboratorios de IEIP-CAP para la identificación de un sistema viable y factible.

V. DESARROLLO DE TEMA

A. Necesidad de un LIMS.

Al ver la serie de problemas, tanto de gestión de manejo de datos, como la poca calidad de los mismos, se vio la necesidad de implementar un LIMS en los laboratorios. Existiendo dos posibilidades:

- El desarrollo de un LIMS propio por el EMD.
- Adquisición de un LIMS en el mercado mundial.

Es necesario efectuar la búsqueda de un LIMS en el mercado internacional (tanto sistemas privados como de código abierto) que satisfaga los requerimientos de los laboratorios y que al mismo tiempo sea una opción factible económicamente. Necesitando de un instrumento de evaluación que ayude a determinar el LIMS más apropiado en el mercado para su utilización en los laboratorios.

Cabe destacar que durante la realización del presente trabajo de graduación se desconocía el presupuesto asignado a la compra o desarrollo de un LIMS, llegándose a conocer hasta en el proceso final del trabajo de graduación.

B. Limitaciones.

Las principales limitaciones del proyecto fueron:

- **Progreso limitado:** dado el poco personal involucrado en el EMD, por lo que únicamente el tesista trabajo dentro del proyecto.
- **Corto periodo de tiempo:** para la implementación de LIMS, lo cual repercute en el perfeccionamiento del modelo propuesto.
- **No se conocía es presupuesto asignado:** este se conoció al final del proyecto

C. Instrumento de evaluación.

Se esperaba que el número de LIMS disponibles en el mercado mundial fuera alto, por lo que se decidió cuantificar la evaluación de los sistemas con el objetivo de encontrar el sistema más óptimo para los laboratorios.

Para realizar esta cuantificación se diseñó un instrumento de evaluación en donde se definieron los requerimientos de los laboratorios. Luego se cuantificó la importancia que cada requerimiento tiene para los laboratorios.

Al tener la ponderación de cada requerimiento, se evaluó qué tan bien satisface cada LIMS los requerimientos de los laboratorios. Para esto se asignó al nivel de satisfacción con un puntaje máximo de 5 y el menor de 0 puntos. La guía para asignar el puntaje del nivel de satisfacción es el siguiente:

Tabla 7. Tabla clasificatoria de satisfacción de requerimientos

Punteo	Nivel de satisfacción
5	Se satisface con éxito el requerimiento
4-3	Lo satisface pero no está integrado de tal forma que sea transparente para el técnico de laboratorio.
2	Agrega trabajo extra dentro del sistema al técnico de laboratorio.
1	Necesita que el técnico de laboratorio haga procesos fuera del sistema para satisfacer el requerimiento.
0	No tiene forma de satisfacer el requerimiento.

Esta ponderación de los laboratorios fue ingresada en una matriz de datos (Tabla 8). La obtención del puntaje final se obtuvo multiplicando la ponderación de cada requerimiento contra la ponderación del nivel de satisfacción, la suma de estas multiplicaciones, constituyen el subtotal del sistema evaluado. Finalmente, el resultado de la evaluación de cada sistema es el porcentaje del subtotal de cada sistema contra el total de puntos posibles.

Tabla 8. Tabla ejemplo del instrumento de evaluación

Tipo	Requerimiento	Prioridad	LIMS A	LIMS B	LIMS C
Tipo de requerimiento A	Requerimiento A	8	5	3	5
	Requerimiento B	7	2	3	5
Tipo de Requerimiento B	Requerimiento C	8	4	5	5
	Requerimiento D	2	4	5	5
Total			75.20% (94)	76.00% (95)	100% (125)

D. Definición de requerimientos.

Antes de comenzar una búsqueda de posibles candidatos a LIMS en el mercado, hay que definir cuáles son las necesidades de los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG, hay que definir los requerimientos. Para esto se hizo una visita a los laboratorios para analizar sus procedimientos, información, el espacio físico, la identificación de recursos y la determinación de puntos críticos dentro de los laboratorios.

Con lo observado en los laboratorios se creó la siguiente lista de requerimientos:

Tabla 9. Tabla de lista de requerimientos de los laboratorios del Segundo Acuerdo

Cooperativo CDC-UVG

Tipo	Requerimiento	Descripción	Prioridad
Control de calidad	Historial de cambios	Registro cronológico de cambios efectuados indicando tiempo, lugar y persona que los efectuó.	NI
	Control de calidad	Poder llevar el registro de pruebas hechas para control de calidad y relacionarlas a un resultado de una prueba en específico	NI
Etiquetas	Generación de etiquetas	Poder generar e imprimir etiquetas, ya sean código de barras o no	NI
	Código de barras	Poder imprimir código de barras y fácil integración de la lectura de código de barras en las acciones dentro del sistema	NI
Documentación y formularios	Flujo de trabajo	Poder describir el flujo de trabajo dentro del laboratorio y que el sistema guíe las secuencias de las pruebas dentro del laboratorio	I
	Documentación	Manejo y control de versiones de los POEs	NI
Reportes y exportación	Integración de información y reportes	Poder definir tipos de reportes dentro del sistema.	I
	Exportación a Excel	Exportar a Excel	NI
	Exportación a PDF	Exportar a PDF	NI
	Envío de e-mail	Poder mandar los reportes por e-mail	NI
Inventario de materiales	Inventario de equipo	Poder registrar el equipo de laboratorio y llevar un registro del mantenimiento, reparaciones y las calibraciones hechas a los mismos.	NI

Continuación Tabla 9

Tipo	Requerimiento	Descripción	Prioridad
<i>Inventario de materiales</i>	<i>Inventario de materiales consumibles</i>	Manejo de volumen y localización de los materiales consumibles. Descargar automáticamente los volúmenes utilizados en cada prueba.	I
<i>Recepción, almacenamiento y egreso de muestras</i>	<i>Inventario de muestras</i>	Manejo de volumen y localización de las muestras y alícuotas. Descargar automáticamente los volúmenes utilizados en cada prueba.	I
	<i>Ubicar muestras en congelador, estante y caja</i>	Poder ubicar las muestras o alícuotas por congelador, estante y caja.	I
	<i>Mapas de cajas</i>	Poder ver que muestras o alícuotas se encuentran en cada compartimiento por caja	I
	<i>Recepción de muestras</i>	Poder ingresar una muestra al laboratorio y relacionarla a un sujeto	I
	<i>Alícuotas</i>	Crear Alícuotas de cada muestra ingresada al laboratorio	I
	<i>Egreso de muestras</i>	Registrar cada egreso de muestras o alícuotas y registrar el destino de la alícuota egresada	NI
<i>Manejo de pruebas y resultados</i>	<i>Agilización de creación de prueba</i>	Poder comunicar a los equipos del laboratorio la posición de las muestras dentro de la prueba a realizar.	NI
	<i>Obtención automática de resultados</i>	Comunicación con el equipo de laboratorio para obtener los resultados de las pruebas.	NI
	<i>Personalización del ingreso de datos de resultados</i>	Poder personalizar que campos y qué tipo de datos se puedan ingresar dependiendo del tipo de prueba.	NI
	<i>Importación de datos (por Excel o CSV)</i>	Poder importar datos de resultados de pruebas así como otros posibles datos	NI

Continuación Tabla 9

Tipo	Requerimiento	Descripción	Prioridad
Otros	Soporte para múltiples sitios	Poder instalar el LIMS en diferentes sitios como Quetzaltenango o Cuilapa.	I
	Personalización del sistema	Poder personalizar el sistema para poder abarcar situaciones extremas e inesperadas.	NI

Clave dicotómica:

- I – Indispensable
- NI – No Indispensable

La lista de requerimientos fue validada por las jefas de los laboratorios: Lda. Beatriz López y Dra. Alejandra Estévez.

E. Clasificación de los requerimientos.

Para cuantificar esta evaluación se clasificaron los requerimientos y se les asignó una ponderación dependiendo en que clase fue asignada y que tan importante es para el laboratorio. El rango de la ponderación es de 1 a 10, con 10 siendo un requerimiento indispensable para los laboratorios y 1 siendo un requerimiento poco importante, casi descartable.

La clasificación de los requerimientos facilitó la asignación de la ponderación para cada requerimiento al asignarle un significado a cada rango de valores. Las clases utilizadas son:

- **Indispensables:** Son los requerimientos que si no se satisfacen los laboratorios no pueden operar. A los requerimientos indispensables se les asignó un valor de 10
- **Calidad de datos:** El laboratorio puede operar sin estos requerimientos pero no es recomendable operar sin ellos por potenciales problemas de calidad de datos. A cada uno de estos requerimientos se les asignó un valor entre 7 y 9
- **Facilita tareas rutinarias:** Ayuda a los procesos rutinarios de los laboratorios pero no son indispensables para operar. El valor asignado a cada uno de estos requerimientos está entre los valores 4 y 6.
- **Facilita tareas no rutinarias:** Ayuda a los procesos no rutinarios en los laboratorios pero no son indispensables para operar. Se les asignó un valor entre 1 y 3 a cada uno de estos requerimientos.

Tabla 10. Tabla de clasificación de los requerimientos

Clase	Significancia
Indispensable	10
Calidad de datos.	9-7
Facilita tareas rutinarias	6-4
Facilita tareas no rutinarias	3-1

El proceso de asignar los pesos a los requerimientos no fue sencillo. Primero se asignó un peso a cada requerimiento con lo observado en los laboratorios. Luego se hizo una serie de reuniones con las jefas de los laboratorios (Lda. Beatriz López y Dra. Alejandra Estévez), los coordinadores del EMD (Ing. Fredy Muñoz e Ing. Gerardo López) y el investigador del presente trabajo de graduación (Rigoberto Castellán). Los objetivos de estas reuniones fueron:

- **Validar los requerimientos:** Para asegurar el significado de cada requerimiento y que todos fueran incluidos.
- **Validar el peso de cada requerimiento:** Para determinar la importancia de cada requerimiento.

Durante las reuniones fueron modificados y calibrando los pesos de cada requerimiento hasta obtener el resultado mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 11. Tabla de requerimientos con ponderación

Tipo	Requerimiento	Descripción	Ponderación
Control de calidad	Historial de cambios	Registro cronológico de cambios efectuados indicando tiempo, lugar y persona que los efectuó.	8
	Control de calidad	Poder llevar el registro de pruebas hechas para control de calidad y relacionarlas a un resultado de una prueba en específico	7
Etiquetas	Generación de etiquetas	Poder generar e imprimir etiquetas, ya sean código de barras o no	8
	Código de barras	Poder imprimir código de barras y fácil integración de la lectura de código de barras en las acciones dentro del sistema	2

Continuación de Tabla 11.

Tipo	Requerimiento	Descripción	Ponderación
Documentación y formularios	Flujo de trabajo	Poder describir el flujo de trabajo dentro del laboratorio y que el sistema guíe las secuencias de las pruebas dentro del laboratorio	10
	Documentación	Manejo y control de versiones de los POEs	3
Reportes y exportación	Integración de información y reportes	Poder definir tipos de reportes dentro del sistema.	10
	Exportación a Excel	Exportar a Excel	5
	Exportación a PDF	Exportar a PDF	2
	Envío de e-mail	Poder mandar los reportes por e-mail	2
Inventario de materiales Inventario de materiales	Inventario de equipo	Poder registrar el equipo de laboratorio y llevar un registro del mantenimiento, reparaciones y las calibraciones hechas a los mismos.	2
	Inventario de materiales consumibles	Manejo de volumen y localización de los materiales consumibles. Descargar automáticamente los volúmenes utilizados en cada prueba.	10
Recepción, almacenamiento y egreso de muestras	Inventario de muestras	Manejo de volumen y localización de las muestras y alícuotas. Descargar automáticamente los volúmenes utilizados en cada prueba.	10
	Ubicar muestras en congelador, estante y caja	Poder ubicar las muestras o alícuotas por congelador, estante y caja.	10
	Mapas de cajas	Poder ver que muestras o alícuotas se encuentran en cada compartimiento por caja	10
	Recepción de muestras	Poder ingresar una muestra al laboratorio y relacionarla a un sujeto	10

Continuación de Tabla 11.

Tipo	Requerimiento	Descripción	Ponderación
Recepción, almacenamiento y egreso de muestras	Alícuotas	Crear Alícuotas de cada muestra ingresada al laboratorio	10
	Egreso de muestras	Registrar cada egreso de muestras o alícuotas y registrar el destino de la alícuota egresada	5
Manejo de pruebas y resultados	Agilización de creación de prueba	Poder comunicar a los equipos del laboratorio la posición de las muestras dentro de la prueba a realizar.	6
	Obtención automática de resultados	Comunicación con el equipo de laboratorio para obtener los resultados de las pruebas.	7
	Personalización del ingreso de datos de resultados	Poder personalizar que campos y qué tipo de datos se puedan ingresar dependiendo del tipo de prueba.	7
	Importación de datos (por Excel o CSV)	Poder importar datos de resultados de pruebas así como otros posibles datos	5
Otros	Soporte para múltiples sitios	Poder instalar el LIMS en diferentes sitios como Quetzaltenango o Cuilapa.	10
	Personalización del sistema	Poder personalizar el sistema para poder abarcar situaciones extremas e inesperadas.	6

F. Búsqueda de Alternativas Privadas de LIMS.

Ya con los requerimientos enumerados se procedió a hacer una búsqueda en el mercado mundial de posibles proveedores de LIMS (tanto LIMS propietarios como con código abierto) para los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG. En esta búsqueda se utilizó el navegador web Google Chrome y se hizo a través de internet utilizando dos buscadores:

- **Google:** Es un buscador de internet de uso general. Se utilizó la palabra clave "LIMS"
- **LIMSFinder.com:** Es un buscador de internet de uso específico, que solamente busca temas referentes a LIMS. Se utilizó la palabra clave "*Product*" (producto, en inglés).

Así mismo se procedió a consultar a otros laboratorios (laboratorios locales, de CDC en Atlanta y de IEIP en otros países) respecto al LIMS que estaban utilizando. Encontrando que en la mayoría de los mismos utilizan Microsoft Excel para el registro y análisis de datos. Estos laboratorios presentaban los mismos problemas en la gestión de datos al igual que sucede en los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo CDC-UVG.

Únicamente dos laboratorios IEIP ubicados en otros países reportaron el empleo de LIMS como instrumento para la gestión y manejo de datos informáticos, siendo éstos: El laboratorio de la oficina de IEIP en Egipto quienes emplean hace un año y recomiendan la utilización de Freezerworks: así también, los laboratorios de CDC en Atlanta quienes utilizan hace dos años StarLIMS como sistema de manejo de información con resultados eficaces y eficientes en el flujo de la información analítica de sus laboratorios. Las alternativas privadas y de código abierto de LIMS que se encontraron con estas búsquedas están listadas en la siguiente tabla:

Tabla 12. Lista de LIMS encontrados en la búsqueda por internet.

Nombre	Localización	Tipo
Wavefront	http://www.wavefrontsoftware.com/index.asp	Privado
Aspen LIMS	http://www.telecation.com/go.aspx?p=aspen.htm	Privado
Progeny	http://www.progenygenetics.com/lims/	Privado
Open X Data	http://www.openxdata.org/	Código Abierto
Biotraker	http://www.ocimumbio.com/lims2/	Privado
MSC-LIMS	http://www.msc-lims.com/lims/overview.html	Privado
Core LIMS	http://www.corelims.com/corelims.htm	Privado
StarLIMS	http://www.starlims.com/	Privado
LabLynx	http://www.lablynx.com/	Privado
Freezerworks	http://freezerworks.com/	Privado
eLab	http://www.ebiosys.com/Home.aspx	Privado
CodonSoft	http://www.codonsoft.com/customers.html	Privado
BikaLabs	http://www.bikalabs.com/	Código Abierto
AIS LIMS	http://www.ais-lims.co.uk/about/index.shtml	Privado
TITAN	http://www.atlab.com/index.php/solutions/titan	Privado
Limsophy	http://www.limsophy.com/en/	Privado

Algunas de las características observadas de los proveedores durante la búsqueda de alternativas de LIMS que ayudaron en el diseño del instrumento de evaluación son:

- Los proveedores son recelosos de dar a conocer el costo de su respectivo LIMS. El costo se da a conocer únicamente cuando se establece contacto directo y se efectúa una presentación y una demostración de la funcionalidad del LIMS que se ofrece.
- Los proveedores indican las funciones y capturas de pantalla del sistema que ofrecen en su sitio web, pero las descripciones suelen tener pocos detalles.

Estas situaciones mostraron que no se podían observar fácilmente todas las características de cada LIMS sin tener que entrar en contacto directo con el proveedor, haciendo engorroso y largo el proceso de conocer las características de cada LIMS para poder evaluarlos. Ante estas situaciones se encontró que era más conveniente separar el instrumento de evaluación (descrito con anterioridad) en dos fases:

- **Primera fase:** Utilizar solamente los datos del sitio web de cada proveedor para descartar aquellos LIMS que no pueden satisfacer los requerimientos indispensables.
- **Segunda fase:** Entrar en contacto directo con los proveedores para obtener una demostración de su sistema y poder evaluarlo con el instrumento de evaluación previamente descrito. Solo los LIMS que superaron la Primera Fase son evaluados en la Segunda Fase.

G. Primera fase de evaluación de los LIMS privados.

El objetivo de esta fase es utilizar el menor tiempo posible para descartar aquellos LIMS que no pueden satisfacer los requerimientos indispensables de los laboratorios. Para minimizar el tiempo dedicado a esta fase, se decidió no hacer contacto directo con los proveedores y solamente utilizar la información publicada en los sitios web para realizar la evaluación.

Como los datos publicados en los sitios web son bastante limitados se hizo una evaluación poco profunda, evaluando solamente si cada LIMS es capaz o no de satisfacer los requerimientos indispensables de los laboratorios y no evaluar qué tan bien satisfacen estos requerimientos.

El resultado de las evaluaciones se registró en una matriz donde las filas son los requerimientos indispensables y las columnas son los LIMS encontrados en el mercado. A continuación se presentan esas tablas:

Tabla 13. A. Primera fase de evaluación de los LIMS

Categoría	Requerimiento	Wavefront	Aspen LIMS	Progeny	Open X Data
Documentación y formularios	<i>Flujo de trabajo</i>	No	No	Sí	No
Reportes y exportación	<i>Integración de información y reportes</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Inventario de materiales	<i>Inventario de materiales</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Control de muestras	<i>Inventario de muestras</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
	<i>Ubicar muestras en congelador, estante y caja</i>	No	No	Sí	No
	<i>Recepción de muestras</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
	<i>Alícuotas</i>	No	Sí	Sí	No
Manejo de pruebas y resultados	<i>Importación de datos (por Excel, CSV o TXT)</i>	Sí	No	Sí	No
Otros	<i>Soporte para múltiples sitios</i>	Sí	No	No	Sí
	<i>Personalización del sistema (flexibilidad)</i>	Sí	Sí	Sí	No

Tabla 13. B. Primera fase de evaluación de los LIMS

Categoría	Requerimiento	Biotraker	MSC-LIMS	Core LIMS	StarLIMS
Documentación y formularios	<i>Flujo de trabajo</i>	No	No	No	Sí
Reportes y exportación	<i>Integración de información y reportes</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Inventario de materiales	<i>Inventario de materiales</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Control de muestras	<i>Inventario de muestras</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
	<i>Ubicar muestras en congelador, estante y caja</i>	Sí	No	No	Sí

Continuación de Tabla 13 B.

Categoría	Requerimiento	Biotraker	MSC-LIMS	Core LIMS	StarLIMS
Control de muestras	<i>Recepción de muestras</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
	<i>Alícuotas</i>	Sí	No	No	Sí
Manejo de pruebas y resultados	<i>Importación de datos (por Excel, CSV o TXT)</i>	No	Sí	Sí	Sí
Otros	<i>Soporte para múltiples sitios</i>	No	No	Sí	Sí
	<i>Personalización del sistema (flexibilidad)</i>	Sí	No	No	Sí

Tabla 13. C. Primera fase de evaluación de los LIMS

Categoría	Requerimiento	LabLynx	Freezerworks	eLab	CodonSoft
Documentación y formularios	<i>Flujo de trabajo</i>	No	Sí	Sí	Sí
Reportes y exportación	<i>Integración de información y reportes</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Inventario de materiales	<i>Inventario de materiales</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Control de muestras	<i>Inventario de muestras</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
	<i>Ubicar muestras en congelador, estante y caja</i>	Sí	Sí	Sí	No
	<i>Recepción de muestras</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
	<i>Alícuotas</i>	Sí	Sí	Sí	No
Manejo de pruebas y resultados	<i>Importación de datos (por Excel, CSV o TXT)</i>	No	Sí	Sí	No
Otros	<i>Soporte para múltiples sitios</i>	Sí	Sí	Sí	No
	<i>Personalización del sistema (flexibilidad)</i>	Sí	Sí	Sí	No

Tabla 13. D. Primera Fase de Evaluación de los LIMS

Categoría	Requerimiento	BikaLabs	AIS LIMS	TITAN	Limsophy
Documentación y formularios	<i>Flujo de Trabajo</i>	No	No	Sí	No
Reportes y exportación	<i>Integración de información y reportes</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Inventario de materiales	<i>Inventario de materiales</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Control de muestras	<i>Inventario de muestras</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
	<i>Ubicar muestras en congelador, estante y caja</i>	No	No	No	No
	<i>Recepción de muestras</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
	<i>Alícuotas</i>	No	No	No	No
Manejo de pruebas y resultados	<i>Importación de datos (por Excel, CSV o TXT)</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Otros	<i>Soporte para múltiples sitios</i>	Sí	No	No	No
	<i>Personalización del sistema (flexibilidad)</i>	Sí	No	Sí	Sí

Como resultado de esta evaluación se tiene que hay tres sistemas que pueden satisfacer los requerimientos indispensables, los cuales son:

- Freezerworks.
- eLab.
- StarLIMS.

Todos los demás sistemas fueron descartados ya que no tenían la posibilidad de satisfacer todos los requerimientos indispensables. Esta Primera Fase resultó ser todo un éxito, ya que bajamos el número de candidatos de dieciséis a tres. Esto permitió investigar de mejor forma cada uno de ellos y dedicarles más tiempo para poder evaluar tanto el sistema como el proveedor.

Para conocer mejor cada uno de los tres LIMS que aprobaron la Primera fase se mostrará a continuación las características e historia de cada LIMS. Los datos fueron recopilados de los sitios web de los proveedores.

H. Freezerworks.

Freezerworks es un LIMS desarrollado por Dataworks Development Inc. (DWD) enfocado en la gestión del inventario de muestras y congeladores. Fue desarrollado utilizando 4D, el cual es un sistema de gestión de bases de datos relacionales que contiene un ambiente de desarrollo para programar tanto la lógica como la interfaz de usuario del sistema. Está desarrollado como una aplicación de escritorio para los sistemas operativos Microsoft Windows XP, Microsoft Windows Vista y Microsoft Windows.

1. Historia de Freezerworks y Dataworks Development Inc. DWD fue fundada en 1987 para proveer software de bases de datos para ambiente de escritorio (Microsoft Windows). Dentro de los primeros clientes de DWD, estaba un pequeño laboratorio de investigación dentro del Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Washington en Seattle. Ya que muchas necesidades de manejo de datos en los laboratorios de investigación no estaban satisfechas adecuadamente por los productos en el mercado o por sistemas basados en papel, DWD encontró un nicho en proveer soluciones de gestión de la información para estos laboratorios de investigación. (Freezerworks, 2012)

En el año 1987 DWD desarrollo el sistema Programa de Gestión de Laboratorio de Retrovirus para la gestión de datos de ensayos clínicos. Este sistema incluía un módulo de gestión de inventario de congeladoras. Este módulo tuvo gran popularidad dentro de la clientela de DWD por lo que decidieron crear un programa separado que cualquier laboratorio pudiera utilizar para gestionar el inventario de los congeladores. Como resultado DWD lanzó al mercado Freezerworks 2.0. (Freezerworks, 2012)

Durante el año 1995 DWD creó el Programa de Inventario para Laboratorio Clínico (CLIP, por sus siglas en inglés) que era un programa de gestión de inventario de muestras clínicas (almacenamiento, búsqueda y eliminación de muestras clínicas). (Freezerworks, 2012)

A comienzos del año 2002 DWD lanzó Freezerworks Basic, que combina Freezerworks 2.0 (gestión de inventario de congeladores) y CLIP (gestión de inventario

de muestras clínicas) en un poderoso gestor de inventario de muestras y congeladores. DWD lanzo Freezerworks en el año 2002 que le agrega un módulo de usuarios y seguridad a Freezerworks Basic. En 2007 se le agregó el Módulo de Pruebas a Freezerworks. (Freezerworks, 2012)

2. Aspectos técnicos. Freezerworks fue desarrollado utilizando la plataforma 4D la cual es una plataforma desarrollada por la empresa del mismo nombre que incluye ambiente de desarrollo gráfico para escritorio, programación orientada a objetos, sistema de gestión de bases de datos relacional y servidor web.

Freezerworks es una aplicación de escritorio desarrollada para el sistema operativo Microsoft Windows XP o posterior. Utiliza la arquitectura cliente-servidor capaz de soportar múltiples clientes conectados al mismo servidor a través de una red local. (Freezerworks, 2012)

No se pudo obtener información técnica adicional ya que el proveedor no la proporcionó.

I. eLab

eLab es un LIMS desarrollado por la empresa australiana eBioSys Pty. Ltd. Utiliza el modelo Cliente Inteligente el cual es una variación del modelo Cliente-Servidor pero que en el cliente se operan parte o toda la lógica de negocio y no solamente la interfaz de usuario. Fue desarrollado utilizando Microsoft Visual Studio 2005, Microsoft .Net 4.0 y Microsoft SQL Server 2005, aunque también es compatible con Microsoft Visual Studio 2010 y Microsoft SQL Server 2008. (eBiosys, 2012)

1. Aspectos técnicos. eLab fue desarrollado utilizando Microsoft Visual Studio 2005 (lenguaje C#), Microsoft .NET Framework 2.0 y Microsoft SQL Server 2005. eLab utiliza la arquitectura cliente-servidor.

El cliente es una aplicación de escritorio desarrollada para el sistema operativo Microsoft Windows y para el *framework* Microsoft .NET 2.0. Este cliente es un cliente inteligente ya que maneja tanto la interfaz de usuario como los objetos y las reglas del negocio. Utiliza una interfaz gráfica tipo *Ribbon* el cual mejora tanto el aspecto como la facilidad de uso del programa.

El código está organizado en tres proyectos, los cuales son:

- **eCommon:** Agrega funcionalidad extra a las clases dentro del *namespace* System de Microsoft .NET Framework 2.0 que serán utilizadas por eLab.
- **eFrame:** Este proyecto tiene básicamente dos aspectos:
 - Objetos del negocio. Estos objetos solamente se encargan de la comunicación con el servidor, no tienen la lógica del negocio.
 - Clases abstractas.
- **eLab:** Se encarga tanto de la interfaz de usuario como de la lógica del negocio.

La base de datos funge como servidor y utiliza Procedimientos Almacenados programados por eBiosys para encapsular los datos. Estos procedimientos se encargan de verificar si el usuario tiene suficientes permisos para realizar la operación solicitada (actualización, ingreso, eliminación o consulta de datos) y de realizar otras operaciones de validación. eLab solamente puede acceder los datos a través de estos Procedimientos Almacenados.

J. StarLIMS

StarLIMS es un LIMS desarrollado por Abbott Company, que utiliza tecnología web utilizando el modelo cliente-servidor, en donde las reglas y objetos de negocio son ejecutados en el servidor, mientras la interfaz de usuario es ejecutado en el cliente. Utiliza el protocolo Hypertext Transfer Protocol (HTTP) para comunicarse entre el cliente y el servidor. También puede utilizar el protocolo Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) para ambientes seguros. Fue desarrollado utilizando el “*framework*” .Net (no especifica que versión se utiliza).

1. Historia. StarLIMS fue fundada en 1987 con el propósito de introducir el primer LIMS basado en las computadoras personales, ya que en ese tiempo los laboratorios eran gestionados utilizando sistemas basados en papel. (StarLIMS, 2009)

En el 2006, StarLIMS lanzó el primer LIMS basado totalmente en tecnología web, tecnología que utiliza actualmente. En ese mismo año StarLIMS obtuvo un premio honorífico en los premios Pittcon 2006 Editors’ Award. Estos premios son anunciados al final de la exposición Pittcon, la cual es una exposición anual sobre ciencias de laboratorio organizado por la corporación educativa sin fines de lucro “*The Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy*”. StarLIMS fue comprado por Abbott Company en el año 2010. (StarLIMS, 2009)

2. Aspectos técnicos. StarLIMS es una aplicación web desarrollada utilizando el framework Microsoft ASP.NET y Microsoft SQL Server. StarLIMS utiliza la arquitectura cliente-servidor. El cliente maneja solamente la interacción entre el usuario y el sistema, mientras que el servidor es el que realiza todo el trabajo. (StarLIMS, 2009)

El servidor está separado en tres partes. La primera parte es el Servidor Web que se encarga de la comunicación con el cliente. La segunda parte es el Servidor de la Aplicación que es el encargado de manejar las reglas del negocio. En esta capa donde StarLIMS decide qué hacer con los diferentes objetos del negocio (tales como muestras, equipo, técnicos, entre otros) dependiendo de las reglas definidas previamente por el laboratorio que está utilizando StarLIMS. (StarLIMS, 2009)

La tercera parte es el servidor de bases de datos. StarLIMS utiliza dos bases de datos, una para guardar las reglas del negocio (utilizada por el Servidor de Aplicación) y la otra para almacenar los datos propios del laboratorio. (StarLIMS, 2009)

StarLIMS también incluye tres módulos desarrollados para el sistema operativo Microsoft Windows XP o posterior utilizando el *framework* Microsoft .Net (versión no especificada). (StarLIMS, 2009)

El primer módulo es llamado Aplicación de Captura de Datos (DCU por sus siglas en inglés) el cual captura los eventos del sistema operativo para vigilar los archivos de una carpeta en específico. Esto es para importar automáticamente todo archivo que sea almacenado en la carpeta especificada. (StarLIMS, 2009)

El segundo módulo es el diseñador de reportes, el cual utiliza Crystal Reports. El tercer módulo es StarLIMS XFD el cual es una herramienta para diseñar formas y pantallas utilizadas por la aplicación web principal. (StarLIMS, 2009)

K. Segunda fase de evaluación

En esta fase se evaluaron los tres LIMS utilizando el instrumento de evaluación que se describió anteriormente. Para poder evaluar cada LIMS se contactó con los tres proveedores y se solicitó una demostración y una presentación a través de internet. En las presentaciones también participaron las jefas del laboratorio, los coordinadores del EMD y el investigador del presente trabajo. Luego de las presentaciones se mantuvo el contacto con los proveedores con el propósito de obtener una cotización de cada LIMS.

Es importante mencionar que entre las presentaciones se informó que el presupuesto asignado a la compra de un LIMS es Q250,000 para la inversión inicial. Se asignarán más fondos a lo largo de los años, pero no se especificó el monto.

En estas presentaciones se pudieron evaluar las diferentes características de cada LIMS y el nivel de satisfacción de los requerimientos. El resultado de esta evaluación se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 14. Resultados de la segunda fase de la evaluación

Tipo	Requerimiento	Ponderación	eLab	Freezerworks	StarLIMS
Control de calidad	Historial de cambios	8	5	3	5
	Control de calidad	7	2	3	5
Etiquetas	Generación de etiquetas	8	4	5	5
	Código de barras	2	4	5	5
Documentación y formularios	Flujo de trabajo	10	5	2	5
	Documentación	3	3	0	4
Reportes y exportación	Integración de información y reportes	10	4	3	5
	Exportación a Excel	5	5	5	5
	Exportación a PDF	2	0	0	5
	Envío de e-mail	2	5	5	5
Inventario de materiales	Inventario de equipo	2	0	0	4
	Inventario de materiales consumibles	10	5	3	5
Recepción, almacenamiento y egreso de muestras	Inventario de muestras	10	5	3	5
	Ubicar muestras en congelador, estante y caja	10	5	5	5

Continuación de Tabla 14

Tipo	Requerimiento	Ponderación	eLab	Freezerworks	StarLIMS
<i>Recepción, almacenamiento y egreso de muestras</i>	<i>Mapas de cajas</i>	10	5	5	5
	<i>Recepción de muestras</i>	10	5	5	5
	<i>Alícuotas</i>	10	5	5	5
	<i>Egreso de muestras</i>	5	5	5	5
<i>Manejo de pruebas y resultados</i>	<i>Agilización de creación de prueba</i>	6	4	0	5
	<i>Obtención automática de resultados</i>	7	0	0	5
	<i>Personalización del ingreso de datos de resultados</i>	7	0	2	5
	<i>Importación de datos (por Excel o CSV)</i>	5	3	5	5
<i>Otros</i>	<i>Soporte para múltiples sitios</i>	10	5	5	5
	<i>Personalización del sistema</i>	6	4	2	5
Total			80.73 % (666)	68.61% (566)	99.39% (820)

1. Análisis de Costo Total de Propiedad (TCO). Para determinar el Costo Total de Propiedad de eLab, Freezerworks y StarLIMS se utilizó la metodología propuesta por Eduardo Pierdant se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 15. Costo Total de Propiedad (TCO)

	eLab	StarLIMS	Freezerworks
Costo inicial	Q138,000	Q2,026,000	Q456,000
Costos anuales			
Costo de administración	Q80,000	Q80,000	Q80,000
Costo de operación	Q15,000	Q15,000	Q15,000
Costo de soporte	Q75,000	Q150,000	Q110,000
Total costos anuales	Q170,000	Q245,000	Q205,000

L. Discusión de resultados

En estos resultados se puede ver que el LIMS que mejor satisface los requerimientos es StarLIMS con un puntaje final de 99.4, siendo un sistema abierto y configurable con el enfoque necesario que satisface en su mayoría los requerimientos necesarios para la implementación en los laboratorios. Sin embargo la principal limitante en su utilización es el costo inicial prohibitivo en relación al presupuesto estimado ya que éste asciende a Q2,026,000 haciéndolo un sistema de manejo de información no factible por superar ampliamente el presupuesto.

Por otro lado, el resultado de Freezerworks de 68.6 es la opción con el menor puntaje de los tres candidatos finales. La fortaleza de Freezerworks es la gestión del inventario de muestras y congeladores de los laboratorios, pero el módulo de gestión de pruebas e ingreso de resultados fue bastante deplorable por la falta de flexibilidad, tanto en la organización de las pruebas como en el ingreso de los resultados al sistema. Freezerworks tiene un costo inicial de Q456,000 el cual excede el presupuesto inicial. La evaluación fue bastante baja y no es viable para implementar el sistema dentro de los laboratorios. Se consultó al proveedor si es posible de comprar el código fuente y lastimosamente comunicaron que no es posible.

Por último está eLab que tuvo un puntaje de 80.73, teniendo su fuerte en el módulo de inventario de muestras y gestión de pruebas de laboratorios, pero se resiente bastante en el módulo de ingreso de resultados ya que es poco configurable. El proveedor ofrece dos opciones de compra, Q40,000 por el sistema sin límite de instalaciones ni usuarios y Q80,000 por la opción anterior más el código fuente de sistema.

Pero, ¿qué beneficios da comprar el código fuente? Los beneficios son:

- Hacer los cambios necesarios para que eLab satisfaga los requerimientos que no pudo cubrir con la actual versión del sistema.
- Favorece la integración e interoperabilidad. La interoperabilidad entre diferentes aplicaciones software en el sector salud está tomando importancia creciente, lo que significa permitir que dos o más sistemas compartan datos y metadatos. Frecuentemente no es posible en el caso de no tener acceso al código fuente. Y cuando lo es, supone costes enormes y obligaciones contractuales.
- Poder adecuar el sistema para que pueda ser usado por otros laboratorios de la UVG.
- Al tener el código fuente no dependemos del proveedor para poder hacer modificaciones al sistema.

Por lo tanto, al comprar el código fuente el EMD puede modificar eLab para suplir las carencias que tiene y así poder satisfacer todos los requerimientos de los laboratorios.

Hay que tomar en cuenta el sueldo de 6 meses de un programador para poder realizar las modificaciones del caso, el cual ya fue tomado en cuenta para el cálculo del costo inicial del sistema eLab.

Hay que mencionar que eLab fue desarrollado utilizando Microsoft Visual Studio 2005, la plataforma .Net 4.0 y Microsoft SQL Server 2008. De los cuales el EMD tiene licencias para desarrollar aplicaciones, por lo que no habría un costo adicional para crear el ambiente de desarrollo y el ambiente de producción.

En resumen, de los últimos tres candidatos tenemos que StarLIMS tiene un precio prohibitivo, Freezerworks y eLab no satisfacen los requerimientos de los laboratorios pero eLab puede ser modificado al comprar el código fuente, por lo que mi recomendación final a los laboratorios después de realizar el presente trabajo a los laboratorios del Segundo Acuerdo Cooperativo es adquirir el sistema eLab incluyendo el código fuente.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Centrarse en los requerimientos indispensables fue clave en la Primera Fase para poder discriminar a los LIMS no viables sin perder mucho tiempo y esfuerzo.
- El mecanismo utilizado en la Segunda Fase permitió simplificar la comparación entre LIMS y evidenciar las diferencias funcionales y técnicas para su implementación.
- El mecanismo utilizado en la Segunda Fase puede ser fácilmente utilizado para evaluar diferentes productos (no solamente LIMS) y evaluarlos contra los requerimientos que deben satisfacer.
- Luego de comprar eLab con el código fuente se recomienda utilizar la evaluación realizada a eLab en la Segunda Fase para mejorar otros aspectos del sistema aparte de desarrollar el módulo de resultados basándose en los requerimientos de los laboratorios.
- La recomendación final de una opción de LIMS viable y factible es comprar eLab con código fuente y modificar el módulo de resultados en el EMD.
- Se recomienda utilizar la metodología ágil en el desarrollo de los cambios a eLab y en la implementación del mismo, aprovechando la cercanía de los desarrolladores con los usuarios finales del sistema.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Andreu, R., Ricart, J. & Valor, J. (1996). *Estrategias y Sistemas de Información*, McGraw-Hill, Madrid
2. Batini, C, Ceri, S. & Navathe, S. (1994). *Diseño Conceptual de Bases de Datos*, Addison-Wesley Iberoamericana, Buenos Aires.
3. Brookshear, J. (2000). *Computer Science: an Overview*, Sixth Edition, Addison-Wesley
4. Chen, P. (1977). *The Entity-Relationship Approach to Logical Database Design*, QED Information Sciences, Wellesley
5. Dahl, O., Dijkstra, E. & Hoare, C. (1972). *Structured Programming*, Academic Press, Nueva York
6. Date, C. (1995). *An Introduction to Database Systems*, Sexta edición, Addison-Wesley, Reading
7. Davis, A. (1993). *Software Requirements: Objects, Functions and States*, Prentice Hall, Englewood Cliffs
8. DeMarco, T. (1979). *Structured Analysis and System Specification*, Prentice
9. Espinosa, A., Lloris, A. & Torres, J. (2002). *Introducción a la Informática*, Tercera Edición, McGraw-Hill, Madrid
10. Hansen, W. & Hansen, J. (1996). *Database Management and Design*, 2da Edición, Prentice-Hall.
11. Ince, D. (1993). *Ingeniería del Software*, Addison-Wesley Iberoamericana, Buenos Aires
12. Nunura, Diana (2011) *Administración de bases de datos*. Pontificia Universidad Católica de Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
13. McDermid, J. & Rook, P. (1993). *Software Development Process Models – Software Engineer’s Reference Book*, 15/26-15/28, CRC Press
14. Mendoza, Fernando (2009). *Metodología para el Cálculo de Costo Total de Propiedad para Sistemas Informáticos*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas.

15. Page-Jones, M. (1980). *The Practical Guide to Structured Systems Design*, Yourdon Press, Nueva York
16. Pérez, Domingo (1999). *LIMS: Sistema de Información para la Automatización de Laboratorios*. Química Hoy, Extra '99. INERCO. Cataluña, España.
17. Pierdant, Eduardo (2006). *¿Qué es el Costo Total de Propiedad?* Microsoft Corporation. <http://blogs.msdn.com/b/eduardop/archive/2006/05/29/610441.aspx>
18. Pressman, R. (1997). *Software Engineering: a Practitioner's Approach*, McGraw-Hill, Nueva York
19. Royce, W. (1970) *Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques*, Proc. WESCON
20. Sommerville, I. (1996). *Software Engineering*, Addison-Wesley, Wokingham
21. Timmermann, R. (1994). *Adquisición de datos en un Laboratorio Geoquímico*. Minería Latinoamericana.
http://www.online-lims.com/download/cs_adquisicion%20de%20datos.pdf
22. Urbano, M (2005) “*Desarrollo de un LIMS y una plataforma para la automatización de procesos analíticos continuos basados en la tecnología orientada a objetos. Desarrollo y uso de métodos quimiométricos para el tratamiento de datos espectroscópicos*”. Universidad de Córdoba.
23. Warnier, J. (1974). *Logical Construction of Programs*, Van Nostrand Reinhold, Nueva York.
24. Dataworks Development, Inc. (2012), *Our Story: FreezerWorks*. Estados Unidos.
http://http://freezerworks.com/pages.php?page_id=8
25. eBioSys Pty Ltd (2012) *About Us*. Australia.
<http://ebiosys.com/AboutUs.aspx>
26. STARLIMS Corporation (2009). *Presentación Institucional para Universidad del Valle de Guatemala*. Florida, Estados Unidos.