



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### **Sistema informático para el monitoreo y análisis del proceso de fermentación en el CIM**

#### ***Computerized system for monitoring and analysis of Industrial fermentation process at CIM***

**MsC. Claudia Beatriz Larramendi Ferrás <sup>1\*</sup>, DrC. Orestes Febles Díaz <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio de los Baños km 2 ½, Reparto Torrens Boyeros, Habana, Cuba. [cblarramendi@uci.cu](mailto:cblarramendi@uci.cu)

<sup>2</sup> Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio de los Baños km 2 ½, Reparto Torrens Boyeros, Habana, Cuba. [ofebles@uci.cu](mailto:ofebles@uci.cu)

\* Autor para correspondencia: [cblarramendi@uci.cu](mailto:cblarramendi@uci.cu)

---

### **Resumen**

El Centro de Inmunología Molecular es una entidad cubana insertada en el sector biotecnológico, en aras de mantenerse como líder en un mercado tan competitivo como es el escenario internacional actual; debe elevar sus índices de productividad y diversificar sus productos. Los biofármacos producidos que allí se producen son distribuidos de forma subsidiada en la red de Salud Pública nacional y además se comercializan en más de treinta países, representando significativos ingresos monetarios por concepto de exportación. Por estas razones es primordial incrementar el uso de las capacidades productivas de las que dispone dicha organización, una estrategia viable para lograrlo el aprovechamiento y la explotación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Actualmente aunque muchas de las operaciones productivas ejecutadas en el CIM son gestionadas desde una plataforma web, aún existen procesos industriales que requieren integrarse a la informatización que se está llevando a cabo. Uno de ellos es la fermentación a pequeña y gran escala. Partiendo de esta situación, se hace necesario implementar un sistema informático que permita el monitoreo y análisis del proceso de fermentación industrial. Esto es posible potenciando la existencia de un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos conectado a los fermentadores; la solución desarrollada dentro de esta investigación almacena las variables medidas por este SCADA y las combina con los registros de los resultados de los análisis de muestreo realizados por los operadores de la planta ANTYTER. Es destacable la integración entre procesos de negocio y áreas productivas que se logra a través del uso de la solución informática implementada. Una de las novedades tecnológicas más relevantes del SIMAFI CIM son las gráficas históricas que facilitarán considerablemente la detección de patrones de comportamiento y tendencias de las variables asociadas a la fermentación.

**Palabras clave:** análisis, fermentación, monitoreo, proceso, sistema



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### Abstract

Molecular Immunology Center is a Cuban entity inserted in the biotechnology sector, in order to remain a leader in a competitive market such as the current international scenario; they must raise their productivity and diversify their products. Biopharmaceuticals produced there are distributed for subsidized network of national Public Health and well sold in more than thirty countries, representing significant monetary export revenues. For these reasons it is essential to increase the use of production capacity at its disposal that organization to achieve a viable use and exploitation of Information Technologies and Communication Strategy. Currently although many of the productive operations performed in the CIM are managed from a web platform, there are still industrial processes requiring integrated computerization are being underway. One is the fermentation at small and large scale. Based on this situation, it is necessary to implement a computerized system for monitoring and analysis of industrial fermentation process. This is made possible by enhancing the existence of a System of Supervisory Control and Data Acquisition connected to the fermenters; The solution developed in this research stores the variable measured by this combined with SCADA and records the results of the sample analysis performed by plant operators ANTYTER. Notably integration between business processes and production areas is achieved through the use of the implemented software solution. One of the most important technological innovations of SIMAFI CIM are the historical graphs that considerably facilitate the detection of behavior patterns and trends of the variables associated with fermentation.

**Keywords:** analysis, fermentation, monitoring, process, system.

---

### 1. Introducción

El Centro de Inmunología Molecular, es una empresa de alta tecnología que pertenece al grupo de la Industria Biotecnológica y Farmacéutica BIOCUBAFARMA. Esta entidad se dedica a la investigación, desarrollo y fabricación de productos a partir del cultivo de células de mamíferos. Tiene como misión la comercialización de medicamentos biológicos para el tratamiento del cáncer y otras enfermedades. [1]



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

**ISBN: 978-607-95635**

Una de las plantas productivas de las que dispone este centro es ANTYTER. En esta última se desarrollan varios procesos productivos dirigidos a la obtención del Ingrediente Farmacéutico Activo (IFA) de anticuerpos monoclonales, componente fundamental para vacunas y otros biomedicamentos. Teniendo en cuenta que la operación industrial esencial en dicha planta es la fermentación a pequeña y gran escala de las células que producen el IFA, se requiere prestar especial atención a dicho proceso para garantizar un alto estándar de calidad de sus producciones.

La fermentación se realiza en corridas de hasta 150 días, dentro de bioreactores de 2000 litros de capacidad, equipados para el cultivo de células animales. El contenido de estos tanques es monitoreado permanentemente por un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA, por sus siglas en inglés Supervisory Control and Data Acquisition).

A diario los operadores y directivos de la planta deben revisar el estado de las variables medidas por el SCADA (temperatura, nivel de oxígeno, presión, volumen, flujo de alimentación y de cosecha, entre otras).

Hoy en día, el estado de las variables es medido automáticamente y tiempo real, pero el análisis del progreso y/o las variaciones de dichas variables es realizado manualmente. Esto dificulta la toma de decisiones y dificulta en extremo la realización de análisis de comportamientos y tendencias del proceso de fermentación.

Ante la situación problemática previamente expuesta, esta investigación se propone como objetivo: implementar un sistema para el monitoreo y análisis del proceso de fermentación en el CIM. Teniéndose como aporte fundamental del trabajo un sistema informático que automatiza las actividades del proceso de fermentación en el CIM que aún se realizan manualmente.

### **2. Materiales y métodos**

Para el desarrollo de la investigación se utilizó la estrategia exploratoria, para conocer el estado actual y definir el estado deseado del proceso de fermentación en el CIM. [2]

También se emplearon los Métodos científicos: [3]

Métodos teóricos:

Analítico - sintético: para construir el marco teórico de la investigación.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

**ISBN: 978-607-95635**

Hipotético - deductivo: para elaborar y demostrar la hipótesis de la investigación.

Análisis Histórico - lógico: para conocer el estado del arte y situación actual de los sistemas informáticos empleados en el monitoreo y análisis de procesos industriales.

Métodos empíricos:

Entrevista: para realizar el diagnóstico de la situación actual del proceso de fermentación en el CIM.

Observación: para registrar los resultados reales de la incorporación del sistema informático al proceso de fermentación en el CIM.

Medición: para obtener datos cuantitativos del proceso de fermentación en el CIM.

Encuesta: para validar el sistema informático cualitativamente.

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema implementado se realizaron un conjunto de pruebas de software. Entre estas pruebas se encuentran las de unidad, de integración, de sistema, de desempeño. El objetivo fundamental de las pruebas de unidad es aislar cada parte del programa y probar que cada una de las partes individuales funciona de forma correcta. [4]

Como herramientas informáticas se utilizaron: el Entorno de Desarrollo Integrado IntelliJ IDEA 14.1.1, el lenguaje de programación JAVA, los frameworks Vaadin, Spring e Hibernate, el Enterprise Service Bus de WSO2 como plataforma para la orquestación de Servicios y el Gestor de Base de Datos PostgreSQL..

### 3. Resultados y discusión

A continuación se desglosan en acápites los aspectos claves del sistema desarrollado tales como el patrón y estilo de integración utilizado para integrar aplicaciones y procesos de negocio. También se exponen detalles del patrón arquitectónico y de diseño empleados en la implementación del Sistema Informático para el Monitoreo y Análisis de la Fermentación Industrial en el CIM. Finalmente se muestran pantallas de dicho sistema correspondientes a sus diferentes funcionalidades, así como los resultados de las pruebas y experimento realizados para su implantación en el proceso de fermentación en el Centro de Inmunología Molecular.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### 3.1 Entorno del sistema

El sistema SIMAFI CIM será desplegado en el Centro de Inmunología Molecular. Actualmente esta entidad cuenta con más de 1100 trabajadores y cuatro plantas productivas dedicadas al desarrollo de productos biológicos: EPOVAC para la elaboración de proteínas recombinantes, ANTYTER para la producción de anticuerpos monoclonales recombinantes, LABEX para la manufactura de reactivos biológicos para uso en laboratorios y Biotech Pharmaceutical Co. Ltd para la fabricación de anticuerpos monoclonales. [5]

El CIM es una entidad con altos índices de productividad cuyos resultados se convierten en aportes importantes a la economía del país siendo un exportador de excelencia que compite con éxito en el mercado mundial. Comercializa sus productos con 32 países y abastece la red cubana de salud pública, evidenciándose su impacto económico y social a nivel nacional e internacional.

La fabricación de productos biotecnológicos a partir del cultivo de células vivas requiere de una atención sistemática pues esta actividad se desarrolla dentro de un sector de mercado muy competitivo. Para lograr esto, el CIM ha diseñado una estrategia sobre la base de la preparación profesional y técnica de sus trabajadores, la constante renovación de su tecnología, el incremento de la capacidad productiva de acuerdo a las exigencias de los mercados y el mantenimiento sistemático a las instalaciones auxiliares que apoyan la fabricación. También es importante resaltar que posee un eficiente Sistema de Gestión de la Calidad, sobre la base de una mejora continua como factor elemental para lograr mayor eficiencia y eficacia en todos los procesos productivos y en la calidad del producto final.

#### 3.1.1 Integración tecnológica

Hay muchas opiniones en cuanto a lo que la arquitectura de software es. Una de las más aceptadas es la descripción de la IEEE de la arquitectura de software como los “conceptos o propiedades de un sistema en su entorno enfocado en sus elementos, relaciones fundamentales y en los principios de su diseño y evolución”. [6]

Otras definiciones como la que aparece en el libro “The Rational Unified Process” hacen hincapié en la arquitectura como un conjunto de decisiones importantes sobre la organización de un sistema de software, la selección de los elementos estructurales y las interfaces por el cual el sistema se compone, junto con su comportamiento que se especifica en las colaboraciones entre esos

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”  
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

elementos, la composición estructural y los elementos de comportamiento en subsistemas progresivamente más grandes, y el estilo arquitectónico que guía esta organización de elementos y sus interfaces, sus colaboraciones, y su composición. [7]

En el marco de esta investigación la autora define como arquitectura de integración al conjunto de tecnologías presentes en el CIM, incluyendo como componentes los trabajadores de la entidad, los sistemas informáticos existentes y otros que puedan ser incorporados a la infraestructura tecnológica; y se tienen en cuenta también las relaciones entre ellos. La siguiente figura muestra la arquitectura de integración para el monitoreo y análisis del proceso de Fermentación en el CIM:

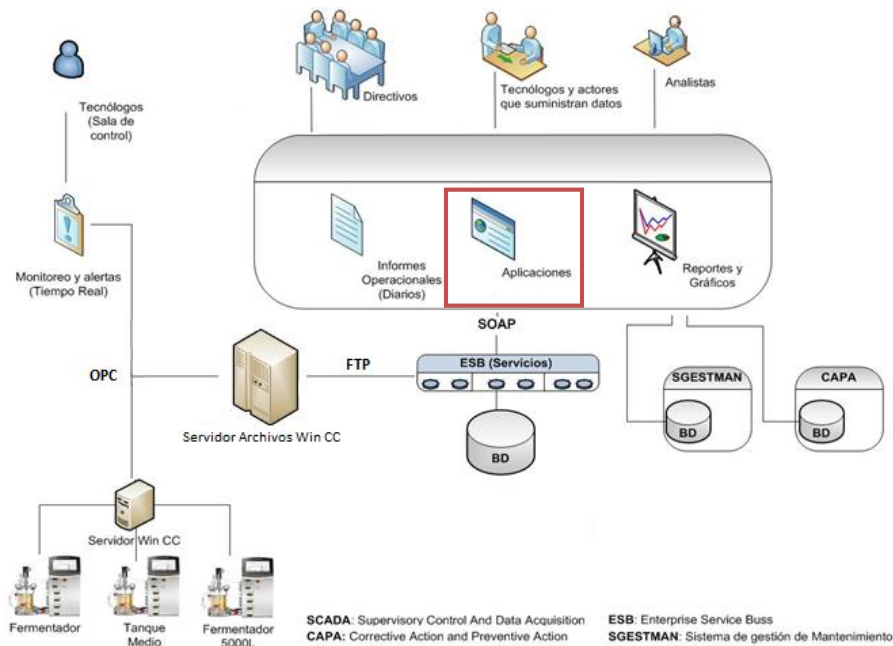


Figura 1 - Arquitectura de integración

El sistema desarrollado se incorpora a esta arquitectura de integración, específicamente en el área resaltada en rojo en la Figura 1, correspondiente a las aplicaciones que serán utilizadas por los directivos, tecnólogos y especialistas para gestionar los procesos industriales. Una descripción más detallada de los componentes tecnológicos de la arquitectura propuesta sería:

**SCADA WinCC:** es el acrónimo de “Supervisory Control And Data Acquisition”, que puede traducirse como “Control, Supervisión y Adquisición de Datos”. Los sistemas SCADA automatizan el monitoreo y control de procesos industriales, son parte integral de la mayoría de los ambientes



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

**ISBN: 978-607-95635**

complejos o geográficamente dispersos, ya que pueden recoger información de una gran cantidad de fuentes muy rápidamente y presentarla en una forma entendible permitiendo tomar decisiones operacionales apropiadas. Sus funciones principales dentro del escenario del CIM son:

- Supervisión remota de instalaciones y equipos
- Control de instalaciones y equipos
- Representación de señales de alarmas
- Programación de eventos

Permite el aprovechamiento de información obtenida en tiempo real, a fin de proveer realimentación sobre el desarrollo del proceso que estará bajo control. Para el cliente CIM aporta facilidades como: los tecnólogos de la sala de control podrán recibir mensajes o alarmas cuando alguna de las variables críticas del proceso de fermentación esté fuera de rango, los operadores que trabajan directamente con los tanques en las plantas de fermentación conseguirán modificar los parámetros de producción y los directivos obtendrán informes operacionales diarios creados a partir de la última data disponible. El monitoreo constante será posible para ambos niveles.

**ESB:** Un Enterprise Service Bus o Bus de Servicios Empresariales actúa como punto central donde se registran los servicios expuestos por las aplicaciones de un entorno empresarial y sobre el cual se puede construir aplicaciones que re-aprovechen todas estas funcionalidades ya implementadas. Sus principales beneficios son:

- Permite la construcción de aplicaciones y procesos de negocio débilmente acoplados, en base a unos servicios ya existentes.
- Conecta de manera uniforme diferentes plataformas como por ejemplo: SAP, Siebel, Alfresco, Documentum y Filenet
- A partir de un mensaje de entrada se puede inspeccionar su contenido y llamar a un servicio u otro dependiendo de los valores que lleve dentro.
- Admite resolver dinámicamente los puntos de publicación de los servicios, siendo fácil cambiar, por ejemplo, de un entorno de pre-producción a producción de manera transparente para los clientes.
- Permite auditar los servicios y generar sus trazas, para detectar el tipo de información más consultada, o el servicio más utilizado, sus tiempos de respuesta, entre otros indicadores.

Las aplicaciones empresariales consumirán servicios publicados en un ESB los cuales a su vez tendrán como fuente principal una base de datos. Dentro de este ambiente se utilizará para conectar, mediar, y controlar la interacción entre diversas aplicaciones y servicios a lo largo de un entorno altamente distribuido y heterogéneo.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Debe proporcionar a dicha organización por un lado un sistema de mensajería robusto de elevada disponibilidad y altamente escalable que permita garantizar la comunicación entre los distintos servicios y aplicaciones de la organización independientemente de su localización geográfica; y por otro lado un mecanismo que permita fácilmente la definición de nuevos procesos o su posterior modificación orquestando los servicios existentes en la organización.

**SGESTMAN:** Sistema utilizado para la gestión del mantenimiento.

**CAPA:** Aplicación empleada para el registro de no conformidades detectadas durante el proceso de fermentación.

### 3.1.2 Integración de procesos

Una de las plantas productivas del CIM es ANTYTER, dedicada fundamentalmente a la fabricación del Ingrediente Farmacéutico Activo (IFA) de anticuerpos monoclonales. La misma abarca un área de 2700 m<sup>2</sup>, dispone de líneas de distribución de aire comprimido libre de aceite y gases industriales así como otras facilidades auxiliares (lavandería, autoclaves, máquinas fregadoras y cámaras frías de almacenamiento) que complementan los servicios de apoyo a la producción. [8]

Esta área opera de manera continua, desarrollando diferentes procesos industriales que se aprecian en la siguiente figura:

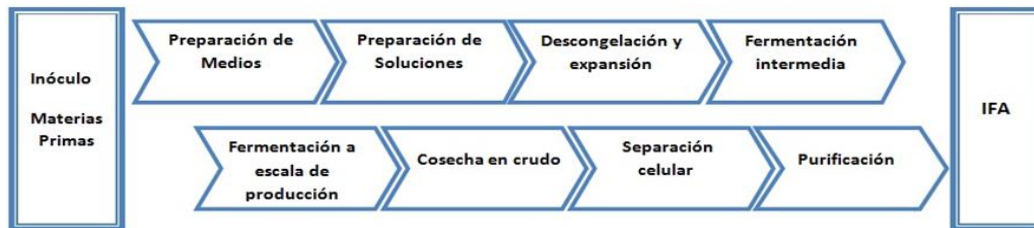


Figura 2 - Mapa del macro-proceso IFA

Dentro del macro-proceso IFA se encuentra el proceso de fermentación, para el cual están planteados los siguientes objetivos: [9]

- Lograr un proceso de fermentación en modo perfusión, a altas concentraciones celulares y de manera ininterrumpida hasta alcanzar el tiempo máximo permitido regulatoriamente (150 días).
- Lograr un proceso de incorporación continua de conocimiento al proceso de fermentación, que constituya la base tecnológica del CIM.





## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

**ISBN: 978-607-95635**

Para el cumplimiento de estos objetivos se ejecuta el el proceso de fermentación en sus dos versiones: intermedia e industrial. Se utilizan bioreactores de 2000 L de capacidad, equipados para el cultivo de células animales en modo continuo y perfusión. Los tanques dentro de los cuales se realiza la fermentación están equipados con sistemas automatizados que miden variables como temperatura, presión, nivel de oxígeno y controlan las válvulas que regulan el volumen del contenido del fermentador.

Este proceso es clave para la obtención de IFA, debido a ello se debe realizar manteniendo los parámetros de calidad definidos por el Departamento de Control de Procesos. En aras de cumplir con dichos parámetros la fermentación es monitoreada a diario, se verifica manualmente la concentración de anticuerpos y células, la pureza del contenido del fermentador y se registran los cambios ocurridos dentro del fermentador.

Estos registros diarios se realizan de forma manual y en formato duro, por lo que se dificulta la realización del análisis del progreso, variaciones y tendencias de las variables de toda una corrida de fermentación. Anteriormente para realizar este tipo de estudios se debía procesar un alto volumen de documentos físicos, ello dificultaba la toma de decisiones y la obtención de conocimiento científico que pudiera y debería ser utilizado para incrementar los niveles de productividad de dicho Centro.

Con la implantación del SIMAFI CIM se monitorea y analiza la fermentación mediante módulos gráficos que muestran el proceso en tiempo real; además mediante el módulo de datos históricos gestiona toda la información referente a las diferentes iteraciones del proceso.

Por otra parte la fermentación tiene como subprocesos: preparación del fermentador, alimentación de medio y muestreo de variables. El sistema implementado incorpora un módulo para el registro digital y persistencia en una base de datos de los resultados del muestreo. Esto representa una mejora considerable al proceso, pues automatiza actividades que anteriormente se realizaban de forma manual. De esta forma se puede afirmar que el sistema implementado integra los procesos de monitoreo, análisis y muestreo de variables de la fermentación en el CIM.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### 3.2 Patrón arquitectónico utilizado en el sistema

En el desarrollo de aplicaciones para el monitoreo y análisis de procesos industriales se propone el uso del patrón arquitectónico Modelo-Vista-Presentador, altamente recomendado para los entornos de ejecución de dichas aplicaciones que deben separar la interfaz de usuario (UI por sus siglas del inglés User Interface) de la lógica del negocio.

La característica principal de este patrón es que el Presentador (contiene la lógica de la interfaz de usuario) hace de intermediario entre la Vista (la interfaz gráfica de usuario) y el Modelo de datos (implementa la lógica de negocio). La Vista tiene métodos que reciben los datos que debe pintar ya "procesados", entonces solamente debe mostrar esos datos en los componentes gráficos. Por su parte el Presentador hará de enlace entre el Modelo y la Vista, sus funciones son recibir las interfaces que debe implementar el Modelo y enviar los datos procesados a la Vista. [10] En la Figura 1 se muestra el MVP aplicado al SIMAFI CIM:

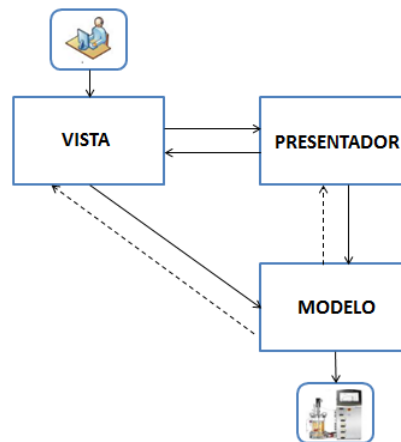


Figura 3 - Diagrama general del SIMAFI CIM

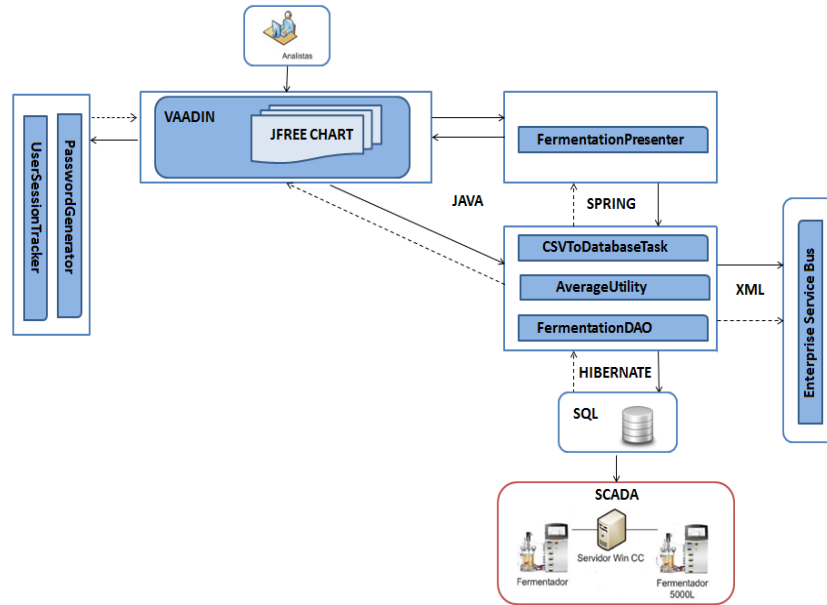
Con el objetivo de exponer claramente la estructura arquitectónica del sistema para el monitoreo y análisis del proceso de fermentación en el CIM, se presentan la Figura 2 que muestra los elementos que lo componen y la forma que interactúan entre ellos:



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**  
 Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635



**Figura 4 - Diagrama de componentes del SIMAFI CIM**

A continuación se exponen los componentes fundamentales de cada estructura dentro del patrón MVP implementado que intervienen en una secuencia completa de funcionamiento del sistema. Los mismo se definen a partir de las funciones que se relacionan a continuación, de las cuales se brindan detalles relacionados con los parámetros que reciben, el valor de retorno, las clases u operaciones con las que colaboran y una breve descripción (ver tablas 1, 2, 3).

- Vista

**Tabla 1 - Descripción de la función initView**

<b>initView</b>	
Parámetros	Ninguno
Valor de retorno	Ninguno
Colaboraciones	En la clase ChartsView realiza una llamada al método buildChartsForm() que se encarga de añadir todos los componentes de interfaz correspondientes al formulario donde el usuario selecciona las gráficas que desea visualizar. Para esto cada selector se mantiene escuchando los cambios que ocurren en la vista con el objetivo de mostrar oportunamente



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

	<p>cada gráfico a medida que sean marcados.</p> <p>Por otra parte en la clase FermentationView realiza una llamada al método buildFermentationTable() que trabaja de conjunto con un contenedor personalizado que permite seleccionar las columnas adecuadas según las variables cuyos datos históricos se deseen visualizar.</p>
Descripción	<p>Es la funcionalidad que inicializa la Vista, es la encargada de solicitar al Presentador todos los datos disponibles de las variables SCADA del proceso de fermentación y además gestiona la visualización de dicha información.</p>

- Presentador

**Tabla 2 - Descripción de la función getFermentation**

<b>getFermentation</b>	
Parámetros	Ninguno
Valor de retorno	Una lista de objetos de tipo Fermentation.
Colaboraciones	Trabaja en conjunto con todas las vistas y todas las implementaciones de los objetos de acceso a datos relativos a la clase de dominio Fermentation.
Descripción	Es la funcionalidad que responde a las peticiones de las vistas enviándoles los objetos con la información de las variables de fermentación obtenidas a partir de la lectura completa de la base de datos del sistema.

- Modelo

**Tabla 3 - Descripción de la función FermentationDAOImplementation**

<b>FermentationDAOImplementation</b>	
Parámetros	Ninguno
Valor de retorno	Ninguno



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

**ISBN: 978-607-95635**

Colaboraciones	Responde a las solicitudes transmitidas por los presentadores ChartsPresenter y FermentationPresenter permitiéndoles el acceso a los objetos con los datos de las variables del proceso de fermentación.
Descripción	Su función principal es el mapeo de las columnas de la base de datos con los atributos de la clase de dominio Fermentation, habilitando la creación de objetos que contengan la data de dicho proceso de negocio. Estos objetos son utilizados como fuente de información para los gráficos de progreso y la tabla histórica.

Por otra parte los componentes del bus de servicios de WSO2 para el acceso a la fuente original de los datos y su persistencia:

- Servicios

**Tabla 4 - Descripción de la función CSVToDatabaseTask**

<b>CSVToDatabaseTask</b>	
Parámetros	Dirección de la fuente de datos, en este caso el archivo de valores separados por coma exportado por el SCADA WinCC (csvDataSourcePath), el carácter utilizado como separador en el archivo especificado (csvColumnSeparator) y la fila donde se debe comenzar la lectura de dicho archivo (startingRow).
Valor de retorno	Ninguno
Colaboraciones	Trabaja en conjunto con las clases CSVConfig y JDBCStoreManager que contienen las configuraciones del archivo .csv y de la base de datos relacional respectivamente.
Descripción	Su función principal es la ejecución de una tarea programada en el bus de servicios de WSO2. El objetivo fundamental es persistir en una base de datos relacional la información contenida en el fichero exportado directamente por el SCADA de los fermentadores del CIM. Se ejecuta en un intervalo especificado por el usuario.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**  
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

**3.3 Funcionalidades del sistema**

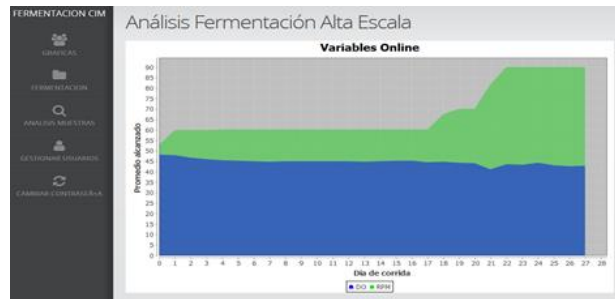
Para cumplir con los objetivos de la investigación y solucionar la problemática planteada, el sistema implementado cumple con las siguientes funcionalidades:

- 1- Almacenar datos históricos de las variables registradas por el SCADA presente en los fermentadores de ANTYTER. La tarea programada en el ESB WSO2 utiliza como fuente de información el archivo de valores separados por coma publicado por el SCADA WinCC y almacena en una base de datos relacional las variables registradas en los fermentadores de ANTYTER.

data_time	flujo_de_oxigeno_valuery	flujo_de_aire_valuery	ph_valuery
Timestamp without time zone	double precision	double precision	double precision
2015-08-26 00:00:01	1.69384597110748	0.943405270574477	6.9541335105896
2015-08-26 00:00:07	1.65501344203949	0.946806013584137	6.95442799072246
2015-08-26 00:00:13	1.64207412166895	0.943891167640686	6.95578145980035
2015-08-26 00:00:19	1.5938333272934	0.941462278366089	6.95372152328491
2015-08-26 00:00:25	1.6040301322937	0.942433893680573	6.95419344711304
2015-08-26 00:00:31	1.64845813220709	0.94486266374588	6.95438098807471
2015-08-26 00:00:37	1.65845516662598	0.941219329833984	6.95477042007446
2015-08-26 00:00:43	1.70721068998077	0.945105612277985	6.95444092559814
2015-08-26 00:00:49	1.65986883640289	0.941462218761444	6.95372152328491
2015-08-26 00:00:55	1.67467844486237	0.94486278289517	6.95419344711304

**Figura 5 - Base de datos del proceso de fermentación**

- 2- Graficar datos históricos del proceso de fermentación en el CIM. El Sistema Informático para el Monitoreo y Análisis de la Fermentación Industrial en el Centro de Inmunología Molecular grafica los datos históricos de las diferentes variables medidas por el SCADA durante toda una corrida del proceso, entre ellas flujo de oxígeno, presión y temperatura.



**Figura 6 - Gráfica de área mostrando las variables medidas por el SCADA en el CIM**

- 3- Registrar resultados de análisis de muestras tomadas al contenido de los fermentadores. El SIMAFI CIM registra los resultados de análisis de muestras tomadas al contenido de los fermentadores, automatizando actividades del proceso de fermentación que actualmente se realizan de forma manual.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**  
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635



**Figura 7 - Gráfica de series de tiempo mostrando los resultados del análisis de muestras**

**4. Diseño experimental y pruebas realizadas al sistema**

Para comprobar la efectividad de la propuesta se diseñaron y aplicaron varias pruebas experimentales que permitieron realizar una valoración acerca de la inmediatez con la que se manejan y transmiten grandes cantidades de datos entre los componentes distribuidos.

En la realización del experimento intervienen tres componentes fundamentales: el módulo de comunicación del SCADA, el bus de servicios de WSO2 y las interfaces de comunicación implementadas como parte de la solución propuesta.

La prueba consiste en medir el tiempo en milisegundos que demora el proceso de envío y recepción desde un publicador hacia varios suscriptores ejecutándose remotamente, y realizando 10 iteraciones para las cantidades 51200, 102500, 205100 y 410200 tuplas leídas de las variables configuradas en el SCADA. La prueba se realizó en tres computadoras con las características explicadas en el epígrafe anterior, y aunque los resultados fueron favorables, pudiera afirmarse que de haberse utilizado un ambiente ideal para sistemas SCADA, en referencia tanto a las características físicas de las computadoras como a las de red, entonces los resultados hubieran sido superiores.

Durante las pruebas se logró evaluar tanto el desempeño de la propuesta desarrollada, permitiendo finalmente validar la solución propuesta y llegar a un grupo de conclusiones a partir de comparar los resultados obtenidos con respecto al tiempo que demora actualmente realizar todo este proceso de forma manual.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Para cada uno de los escenarios se ejecutaron 100 corridas y se obtuvieron los tiempos promedios en cada uno de ellos como se muestra en la siguiente Tabla 10 donde se detallan los resultados del desempeño de la solución de integración desarrollada:

**Tabla 5 - Resultados del experimento**

Escenario	Cantidad de suscriptores	Cantidad de variables	Cantidad de tuplas leídas	Tiempo promedio (ms)
1	1	1	1	0.302
2	1	5	51200	1513
3	2	5	102500	3027
4	2	8	205100	6053
5	10	10	410200	12108

Teniendo en cuenta que el proceso que realizan los tecnólogos, analistas y directivos cuando deben realizar el análisis y monitoreo de una corrida del proceso de fermentación consiste en bajar al piso de la planta operacional, exportar manualmente el archivo .csv con los datos disponibles hasta el momento, copiar el archivo en un medio de almacenamiento portátil, trasladarse al piso de trabajo, procesar el .csv hasta obtener una hoja de cálculos excel, incorporar manualmente a este último los resultados del análisis de muestras, graficas en el excel el progreso de la iteración en curso de la fermentación y finalmente imprimir varias copias de estos gráficos para que de conjunto analistas y directivos puedan estudiarlas y tomar las decisiones operacionales pertinentes, el tiempo mínimo que se podría demorar el más rápido de los operadores siempre sería mayor que un minuto, sin embargo con la arquitectura de integración, esta actividad se realiza en un tiempo máximo de aproximadamente 12.108 segundos, lo que significa que a través de la arquitectura el despacho de los datos ocurre aproximadamente 5 veces más rápido.

A medida que van aumentando la cantidad de tuplas simultáneas que se generan en el SCADA y la cantidad de variables a analizar y responsables a notificar, el tiempo en que se realizan estas notificaciones a través la plataforma va aumentando como se muestra en la Figura 28. Sin



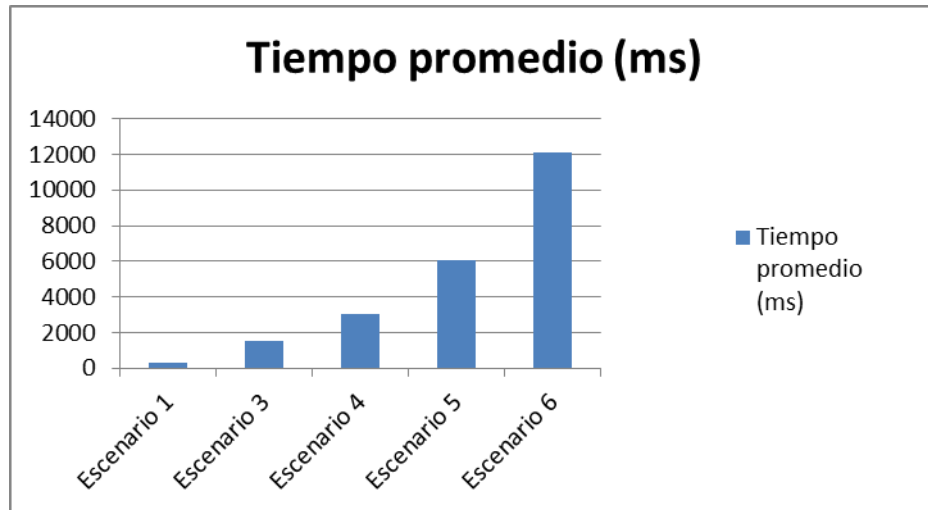


**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**  
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

**ISBN: 978-607-95635**

embargo, si es el operador el encargado de realizar la notificación en el mismo escenario, con la misma cantidad de variables, el tiempo en el que las realiza sería considerablemente mayor.



**Figura 8 - Comportamiento del tiempo en el experimento**

Nótese que para graficar 410276 tuplas de variables leídas, lo cual constituye una cantidad bastante severa, utilizadas simultáneamente por 10 suscriptores, se obtuvo un tiempo promedio aproximado de 12 segundos, lo cual sería imposible de lograr por un operador. Por tanto mientras mayor sea el número de alarmas y responsables a notificar, más grande será la diferencia entre el proceso manual y el proceso automatizado propuesto en esta investigación.

## 5. Conclusiones

Las labores investigativas y productivas desarrolladas en el Centro de Inmunología Molecular están directamente vinculadas al sector biotecnológico, está insertado en un mercado internacional altamente competitivo y es además proveedor principal de biofármacos para la red de salud cubana. Para poder mantener y/o mejorar el nivel de ventas que tiene hoy en día, es necesario que esta empresa aumente y diversifique los productos que fabrica.

Una forma de contribuir a la eficiencia y productividad, es maximizar el aprovechamiento de las tecnologías informáticas. En función de esto se deben informatizar las áreas y los procesos



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

industriales realizados allí. Entre ellos se incluye la fermentación, el sistema informático para el análisis y monitoreo de este proceso tiene numerosos aportes:

- Automatiza parte del proceso, evitando así posibles errores humanos al momento de registrar los datos de los resultados del muestreo.
- Facilita la creación de conocimiento científico, proporcionando las gráficas de los resultados de los muestreos y de los registros del SCADA para detectar patrones de comportamiento y tendencias de las variables asociadas a la fermentación.
- Incorpora una base de datos histórica de las corridas del proceso de fermentación, que podrá ser utilizada posteriormente para añadir a la infraestructura tecnológica del CIM componentes más potentes como pudieran serlo un almacén de datos histórico y uno operacional.

### 6. Referencias bibliográficas

1. **CIM.** Centro de Inmunología Molecular. 2012; Available from: [www.cim.co.cu](http://www.cim.co.cu).
2. **Bello, C.C.** Fases fundamentales de la investigación. 2013.
3. **Sampieri, R.H.,** Metodología de la Investigación. 5ta Edición, 2010.
4. **Beck, K.** Test-Driven Development By Example. Addison-Wesley Professional, 2003
5. **CIM.** Capacidad productiva. 2012; Available from: <http://www.cim.co.cu/capacidad.php>.
6. **IEEE** Defining architecture. Systems and software engineering Architecture description, 2015.
7. **Kruchten, P.,** The Rational Unified Process: An Introduction. 2003, ISBN: 978-0321197702
8. **CIM.** Capacidad Productiva para la producción de Anticuerpos Monoclonales (ANTYTER). 2012; Available from: <http://www.cim.co.cu/antyter.php>.
9. **Llerena, M.R.,** Estado Actual de la Arquitectura Empresarial del Dominio IFA del CIM, D.d.P. DAEIFA, Editor 2013: Habana. p. 29-40.
10. **MSDN.** MVP: Model-View-Presenter The Taligent Programming Model for C++ and Java. 2007.
11. **Díaz, P.,** Ingeniería de la web y patrones de diseño, ed. P. Hall, 2007, ISBN: 84-2054609-7
12. **GoF,** Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, 2004. ISBN: 0-201-63361-2