

## **DISEÑO Y DESARROLLO DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA APLICANDO ARQUITECTURAS ORIENTADAS A SERVICIOS**

**G.M. RODRÍGUEZ\***  
UNRC  
Argentina

**F.H. MAGNAGO**  
UNRC  
Argentina

**Resumen** – Este trabajo presenta una solución al difícil problema de integración de la información dentro de los Centros de Control así como con otros agentes del Mercado de Energía Eléctrica, presentando una implementación de una Arquitectura Orientada a Servicios en un EMS.

Esta implementación, denominada EMS-SOA, propone reducir el impacto de los problemas planteados creando una plataforma de trabajo integrada, otorgando mayor capacidad de integración con otras áreas de la empresa e incluso con otros sistemas. EMS-SOA ha cumplido con esta propuesta y en la práctica a través de dos aplicaciones concretas del EMS se ha probado exitosamente. Las aplicaciones fueron desarrolladas sobre escenarios que contemplan el impacto de la migración desde un sistema existente (sistema heredado) y de un desarrollo nuevo.

**Palabras clave:** Sistema de Gestión de Energía – Modelo Común de Información – Arquitectura Orientada a Servicio – Código Abierto

### **1 INTRODUCCIÓN**

Los problemas de integración de la información dentro de los Centros de Control (CC) así como con otros agentes del Mercado de Energía Eléctrica (MEE) y la dinámica de cambios en las aplicaciones de los Sistemas de Gestión de Energía (EMS, por sus siglas en inglés, *Energy Management System*) requieren aplicar nuevos conceptos y paradigmas en la arquitectura del EMS.

Un EMS está definido como “un sistema de computación comprendido por una plataforma de software que suministra servicios básicos de soporte y un conjunto de aplicaciones que suministra la funcionalidad necesaria para la operación efectiva de las instalaciones de generación y de transmisión eléctrica, a fin de proveer, con la seguridad adecuada, energía eléctrica a un costo mínimo”[1].

Según Dy Liacco [2], en 1972 había 10 CC con EMS en todo el mundo, en el año 1980 ya se contaba con 80 CC y a fines de 1985 existían 200, en la actualidad, debido a la desregulación de los SEP, el crecimiento de los CC con EMS es ilimitado. Este crecimiento claramente ha sido influenciado por dos factores: la estructura de los SEP y los cambios en la industria informática. A partir de la década de 1990 la estructura de los SEP ha sufrido grandes cambios, en particular en nuestro país, debido a la desregulación del MEE [3].

Estos factores han derivado en que el EMS haya experimentado hasta ahora tres generaciones [4]. Bajo la estructura tradicional de los SEP se han desarrollado las dos primeras generaciones de EMS. Ellos tienen funcionalidades similares pero están basados en arquitecturas computacionales absolutamente diferentes; mientras que la última ha debido adaptarse a los grandes cambios presentes desde la desregulación del MEE.

Como consecuencia de estos cambios, desde hace varios años, el Comité Técnico 57 de la IEC, está centrado precisamente en el desarrollo de estándares para la gestión de sistemas de energía y el intercambio de

información asociada. El trabajo está dividido en Grupos de Trabajo (WG, por sus siglas en inglés, *Working Group*), dos de los cuales están desarrollando estándares para la integración de aplicaciones dentro del CC.

Si bien, actualmente, la utilización de estos estándares sirve como una referencia para la transición de un EMS existente en un CC a otro de posterior generación, la decisión de una empresa de servicios eléctricos de adoptar nuevas tecnologías para reemplazar sistemas obsoletos ha resultado, generalmente, una tarea compleja, sobre todo si se trata de procesos críticos de la misma, particularmente el caso del EMS.

Durante este trabajo se presenta una solución a este problema tan complejo, presentando una implementación de una Arquitectura Orientada a Servicios (SOA, por sus siglas en inglés, *Service-Oriented Architecture*) en un EMS, donde las aplicaciones del mismo son publicadas como servicios. El carácter modular de una SOA, también hace que sea fácil poder adaptarse a los cambios del MEE con la simple creación o publicación de servicios sin tener que depender de una macro-estructura compleja [5].

Esta implementación de una SOA en un EMS, denominada EMS-SOA, propone reducir el impacto de los problemas planteados creando una plataforma de trabajo integrada, con una infraestructura sólida y a su vez flexible, otorgando mayor integración con otras áreas de la empresa e incluso con otros sistemas.

Esta plataforma, integra componentes nuevos y existentes del EMS en una SOA aplicando el estándar IEC 61970 e identificando para los componentes de referencia soluciones de Código Abierto<sup>1</sup>.

En este trabajo se presenta la plataforma EMS-SOA y su implementación sobre los dos escenarios posibles. Sistema heredado: Se agregará una capa de funcionalidad EMS-SOA sobre un EMS existente y desarrollo nuevo: Se aplicará toda la solución tecnológica de la plataforma EMS-SOA.

## 2 ARQUITECTURA ORIENTADA A SERVICIOS

### 1.1 Introducción

Una SOA es un concepto de arquitectura de software que define la utilización de servicios para dar soporte a los requerimientos de software del usuario. En esta arquitectura los nodos de la red hacen disponibles sus recursos a otros participantes de la misma como servicios independientes a los que tienen acceso de un modo estandarizado.

Al contrario de otras arquitecturas, SOA están formada por servicios de aplicación débilmente acoplados y altamente interoperables. Para comunicarse entre sí, estos servicios se basan en una definición formal independiente de la plataforma y del lenguaje de programación. La definición de la interfaz encapsula (oculta) las particularidades de la implementación, lo que la hace independiente del fabricante, lenguaje de programación o tecnología de desarrollo. De esta forma, se pretende que los componentes de software desarrollados sean muy reusables, debido a que la interfaz es definida siguiendo un estándar; así, un servicio implementado a través de cierta tecnología puede ser utilizado por otra aplicación en forma transparente. La Fig. 1 muestra los diagramas UML de componentes y secuencia de una arquitectura SOA.

---

<sup>1</sup> Código Abierto es el término con el que se conoce al software distribuido y desarrollado libremente. En la actualidad es utilizado para definir un movimiento nuevo de software (*Open Source Initiative*).

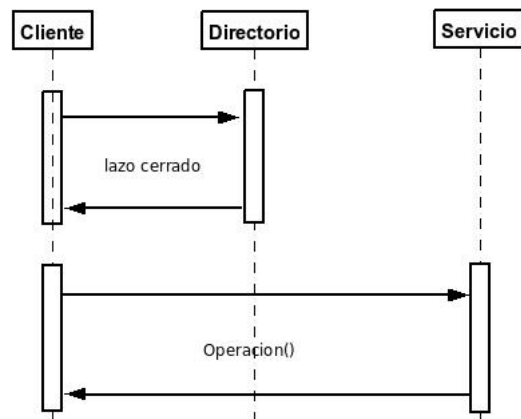
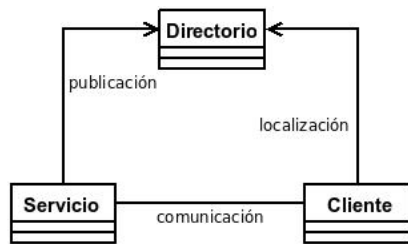


Figura 1-(a): Diagrama de componentes de una SOA. Figura 1-(b): Diagrama de secuencia de una SOA.

## 1.2 Principios

No existe una definición estándar de cuales son los principios de una SOA, sin embargo, existe una creencia generalizada entre los arquitectos de software que una aplicación es “SOA *Compliant*” cuando al menos pueden verificarse los siguientes conceptos [6]:

- Los Servicios deben ser reusables.
- Los Servicios deben proporcionar un contrato formal.
- Los Servicios deben tener bajo acoplamiento.
- Los Servicios deben permitir la composición.
- Los Servicios deben de ser autónomos.
- Los Servicios no deben tener estado.
- Los Servicios deben poder ser descubiertos.

## 1.3 Servicios Web

Un Servicio Web (WS, por sus siglas en inglés, *Web Service*) es un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Distintas aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes, y ejecutadas sobre cualquier plataforma, pueden utilizar WS para intercambiar datos en redes de computadoras como Internet. La interoperabilidad se consigue mediante la adopción de estándares abiertos.

Los Servicios Web se han convertido en el estandarte de SOA, ya que esta tecnología posee un conjunto de características que permiten cubrir todos los principios de una SOA, no como otras posibles tecnologías de implementación como colas de mensajes o CORBA.

# 3 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA EMS-SOA

## 1.1 Plataforma EMS-SOA

EMS-SOA es una plataforma de trabajo de Código Abierto que integra componentes nuevos y existentes del EMS dentro de una SOA. EMS-SOA aplica los conceptos de una SOA ofreciendo sus beneficios y proporcionando una metodología y una plataforma de trabajo para dar soporte a las actividades de desarrollo e integración de componentes dentro de un EMS. Las consideraciones de diseño para su desarrollo han sido:

- Habilitar la integración de aplicaciones y sistemas de distintos proveedores dentro del CC y entre el CC y sistemas externos.
- Aplicar el uso de estándares cuando:
  1. sean orientados hacia las necesidades del usuario,
  2. resuelvan problemas reales y

3. sean auspiciados por firmas reconocidas del ámbito.

- Aplicar las mejores prácticas y la experiencia adquirida de otros desarrollos a través del uso de patrones.

EMS-SOA está definida a través de capas de software para integrar la funcionalidad del sistema. Cada capa aporta componentes que integran los servicios del EMS, así mismo, estas capas contienen una infraestructura común para la composición de estos nuevos servicios además de recursos de monitoreo y control de los mismos. En la Fig. 2 se muestra la estructura de capas que componen la plataforma EMS-SOA.

La descripción de las capas es la siguiente:

- Aplicación básica: Sistemas desarrollados bajo cualquier arquitectura o tecnología.
- Exposición de funcionalidades: Capa donde las funcionalidades son expuestas como Servicios Web.
- Integración de servicios: Capa de intercambio de datos entre elementos de la capa aplicativa.
- Composición de procesos: Capa que define los procesos en términos del dominio del problema.
- Presentación: Capa donde los servicios son desplegados a los usuarios finales.

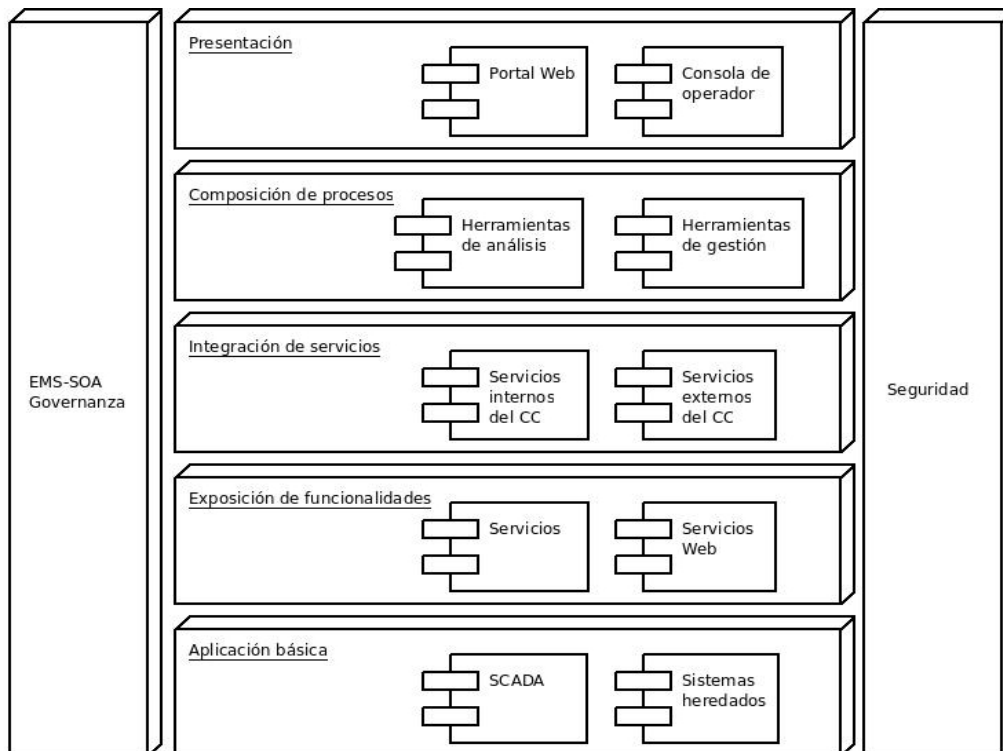


Figura 2: Estructura general de las capas de la EMS-SOA.

Además de las capas anteriormente citadas, se incluyen dos infraestructuras comunes como soporte de la seguridad y la gobernabilidad de la EMS-SOA:

- Seguridad: Infraestructura que suministra un medio para aplicar seguridad a los Servicios Web.
- EMS-SOA Gobernanza<sup>2</sup>: Mecanismo que asegura que los servicios y componentes sean administrados adecuadamente y conforme a los criterios, estándares y procedimientos fijados por la organización.

A nivel usuario, EMS-SOA ofrece una interfaz, basada en Web, que permite operar con el sistema, a modo ilustrativo en la Fig. 3 se muestra una captura de pantalla del portal de acceso Web a los servicios de un EMS (manipulador de alarmas) provisto por EMS-SOA.

---

<sup>2</sup> Gobernanza es un concepto de reciente difusión, dentro de un contexto SOA, es utilizado para designar a la administración y control de los servicios dentro de la misma. Consiste en un proceso independiente o bien de una parte específica de un proceso de gestión.

## 1.2 Tecnologías SOA utilizadas

La tecnología utilizada ha sido seleccionada desde una perspectiva de Código Abierto, obteniendo los siguientes beneficios:

- Mayor visibilidad en la comunidad y ciclos de desarrollo más cortos.
- Mayor calidad del código, ya que la comunidad ayuda en el aseguramiento de la calidad.
- Mayor calidad de los productos por *feedback* temprano.
- Sencillez en la negociación de transacciones de información con desarrollos de Microsoft .NET, Sun Java EE, y IBM WebSphere debido a estar construido con estándares abiertos de la industria.
- Colaboración con otros proveedores y con otras comunidades de Código Abierto y GNU/Linux.

Dentro del conjunto de herramientas software necesarias para alcanzar una solución global se seleccionó LAMP compuesto por GNU/Linux (sistema operativo), Apache (servidor web), MySQL (gestor de bases de datos) y PHP (lenguaje de programación); además de otras herramientas que soportan el desarrollo de aplicaciones SOA: Expat (analyzer sintáctico (parser) de documentos XML), gSOAP (SOAP *toolkits*) y WS-Security (Seguridad en Servicios Web).

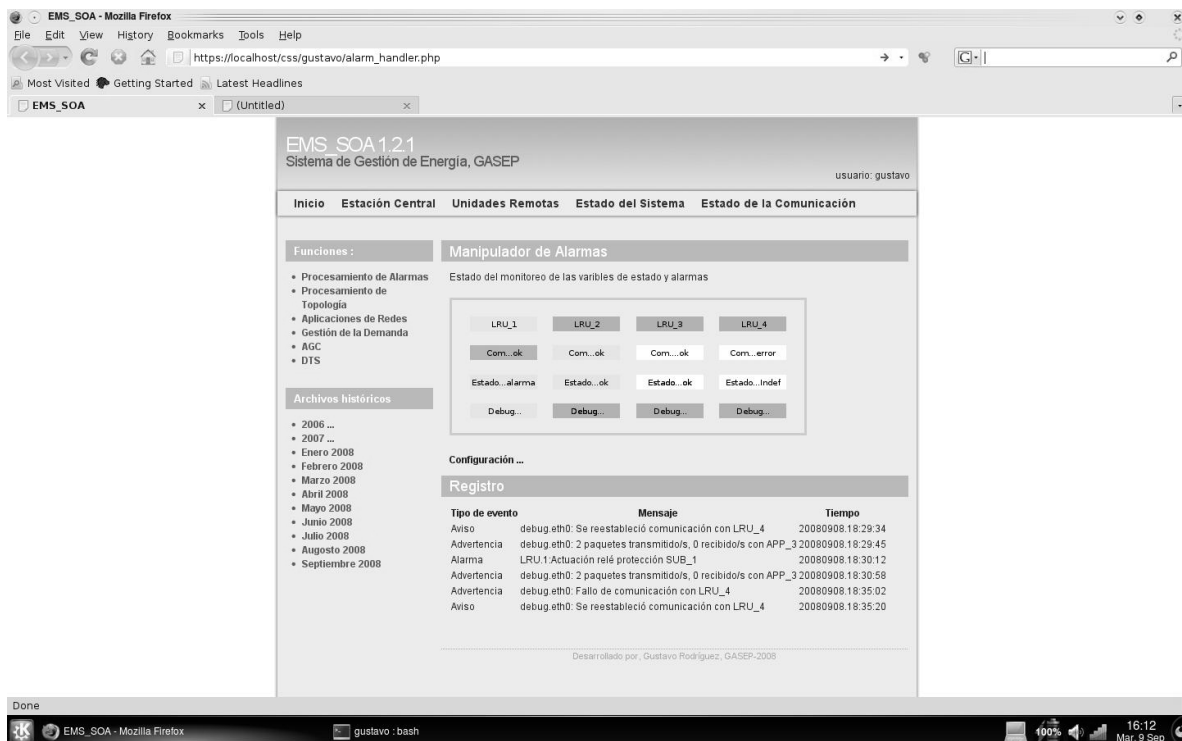


Figura 3: Portal Web de servicios EMS-SOA.

## 4 ESTRUCTURA GENERAL DE LA PLATAFORMA EMS-SOA

Desde el punto de vista del modelo de la arquitectura del sistema, la plataforma EMS-SOA es, esencialmente, un conjunto de artefactos tecnológicos y está compuesto por:

- Un modelo CIM para aplicarse en Servicios Web.
- Una API en C++ para encapsular aplicaciones EMS existentes.
- Un protocolo de comunicaciones entre servicios del EMS.
- Un estilo de arquitectura para las aplicaciones EMS.
- Una estructura de monitorización y administración del contexto EMS-SOA (SOA *Governance*).
- Un protocolo de comunicaciones que suministra un medio para aplicar seguridad a los Servicios Web.
- Un portal de acceso Web a recursos y servicios del EMS.

EMS-SOA, como se explicó anteriormente, está definida en capas donde se integran los servicios del EMS, esta estructura jerárquica ayuda a estructurar las tareas en niveles de abstracciones similares. De igual manera, a nivel funcional, es importante realizar una descomposición de los servicios a través de las capacidades provistas al EMS. En la Fig. 4 se muestra la estructura general de los servicios provistos por EMS-SOA. Este diagrama muestra los servicios implementados y las interfaces de alto nivel entre los componentes dentro y fuera del CC.

### 1.3 Servicios

Los servicios son la base fundamental de la EMS-SOA, son la forma en que se envía y recibe información. En la EMS-SOA, como en cualquier otra SOA, los servicios no son dependientes de la condición de ningún otro servicio. Reciben en la llamada toda la información que necesitan para dar una respuesta.

Debido a que los servicios son “sin estado”, pueden ser secuenciados (orquestrados) en numerosas secuencias para realizar la composición de los procesos en términos del dominio del problema. Es decir, esta orquestación termina definiendo los servicios que serán desplegados al usuario final (también llamados servicios de alto nivel).

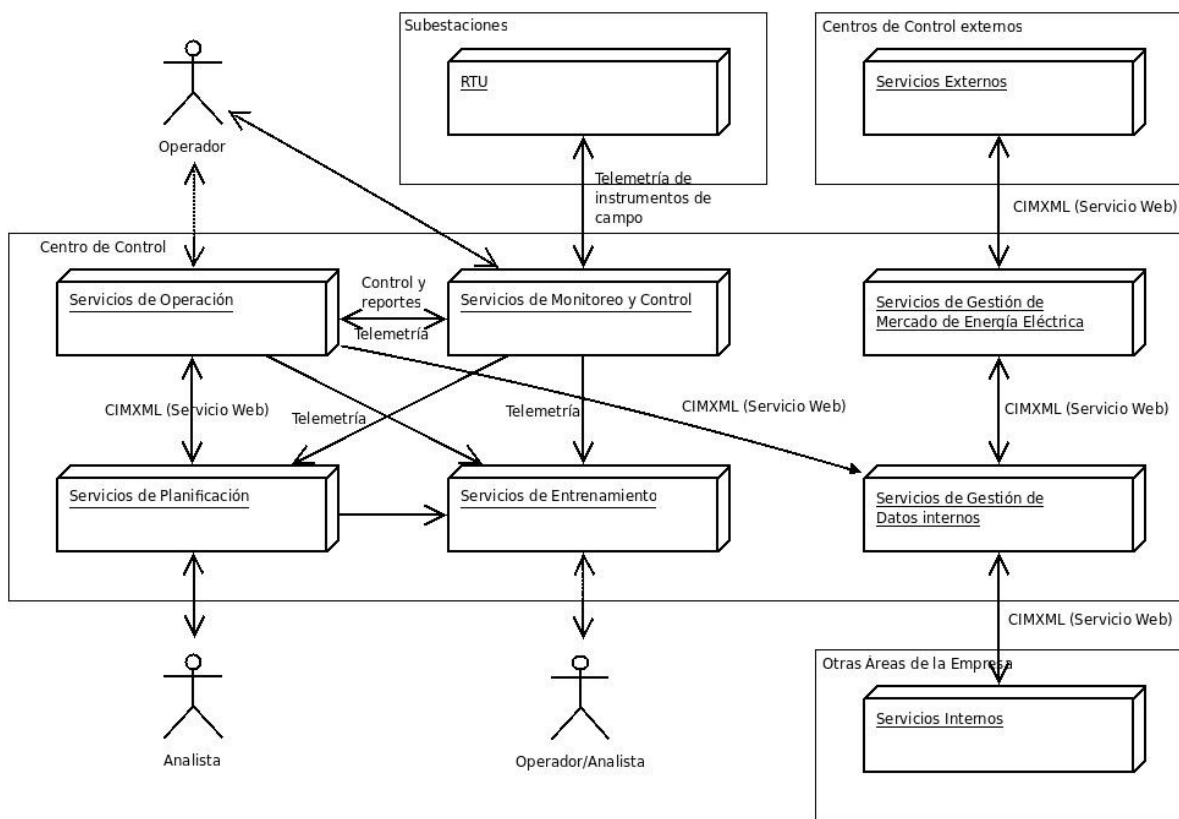


Figura 4: Estructura general de los servicios provistos por EMS-SOA..

Los servicios de alto nivel dentro del CC que se han tenido en cuenta en este desarrollo son descriptos brevemente a continuación:

- **Servicios de Monitoreo y Control (SM&C):** Estos servicios representan el contexto de tiempo real del EMS y ofrecen el monitoreo y control de sistema (M&C). El monitoreo determina el estado actual de los dispositivos y de las alarmas. El control permite cambiar estados a distancia de los dispositivos.
- **Servicios de Operación (SOp):** Estos servicios representan el contexto de corto plazo y publican la información de la ejecución de aplicaciones de redes para estudio y análisis de las prácticas de operación.
- **Servicios de Entrenamiento (SEn):** Estos servicios proveen entornos de entrenamiento para operadores requiriendo simulaciones y herramientas de análisis. Actualmente no está implementado, la sección 8.5 explica en detalle el estado actual de la plataforma.

Los servicios externos del CC son descriptos brevemente a continuación:

- Servicios de Planificación<sup>3</sup> (SPI): Estos servicios representan el contexto de mediano y largo plazo y publican los estudios de planificación y simulación de redes para evaluar diferentes alternativas del sistema.
- Servicios de Gestión de Mercado de Energía Eléctrica (SGMEE): Estos servicios publican la información procesada dentro del CC que debe ser expuesta a los otros agentes de sistema dentro del contexto del MEE.
- Servicios de Gestión de Datos Internos de la Empresa (SGDI): Estos servicios publican la información necesaria dentro de la propia empresa.

Como casos de estudio de este trabajo se presentan, en las siguientes secciones, los SM&C y SOp con aplicaciones desarrolladas sobre escenarios que contemplan el impacto de la migración desde un sistema existente (sistema heredado) y de un desarrollo nuevo.

#### 1.4 Servicios de Monitoreo y Control

Desde un punto de vista operativo, los SM&C son los encargados de recolectar constantemente la telemetría de tiempo real de las LRU's, almacenarla en bases de datos, analizarla, generar alarmas, brindar información al personal del CC y dar instrucciones a las LRU's.

Los SM&C son una parte fundamental de la plataforma EMS-SOA, debido a que es el principal “proveedor” de datos al resto de los servicios. Dentro de los SM&C se encuentran todas las aplicaciones de tiempo real y control en línea del SEP tales como: SCADA, procesamiento de alarmas, procesamiento de topología, etc.

En este servicio se implementó el escenario: Desarrollo nuevo. Este escenario consiste de un CC donde se aplica toda la solución tecnológica EMS-SOA para ofrecer el M&C del CC. Como ejemplo de aplicación del escenario se presenta el manipulador de alarmas (*alarms handler*).

El manipulador de alarmas, se trata de una aplicación multihilo implementada a nivel de servicio de Linux, que recibe la información del estado de las alarmas desde la telemetría recibida por los drivers. Este servicio tiene también un WS que ofrece el estado completo de las alarmas, fundamentalmente al procesador de alarmas que a través de un mecanismo de inferencia determina que alarmas deben ser presentadas al operador y cuales bloqueadas. Además, permite también configurar que variables son alarmas, los umbrales de disparo de las mismas, la tasa de lectura desde los drivers, etc.

En la Fig. 5 se muestra un diagrama con la interacción de los componentes EMS-SOA dentro de los SM&C.

---

3 Si bien los Servicios de Planificación están dentro del CC son considerados externos al no tratarse de una aplicación del EMS utilizada para la operación.

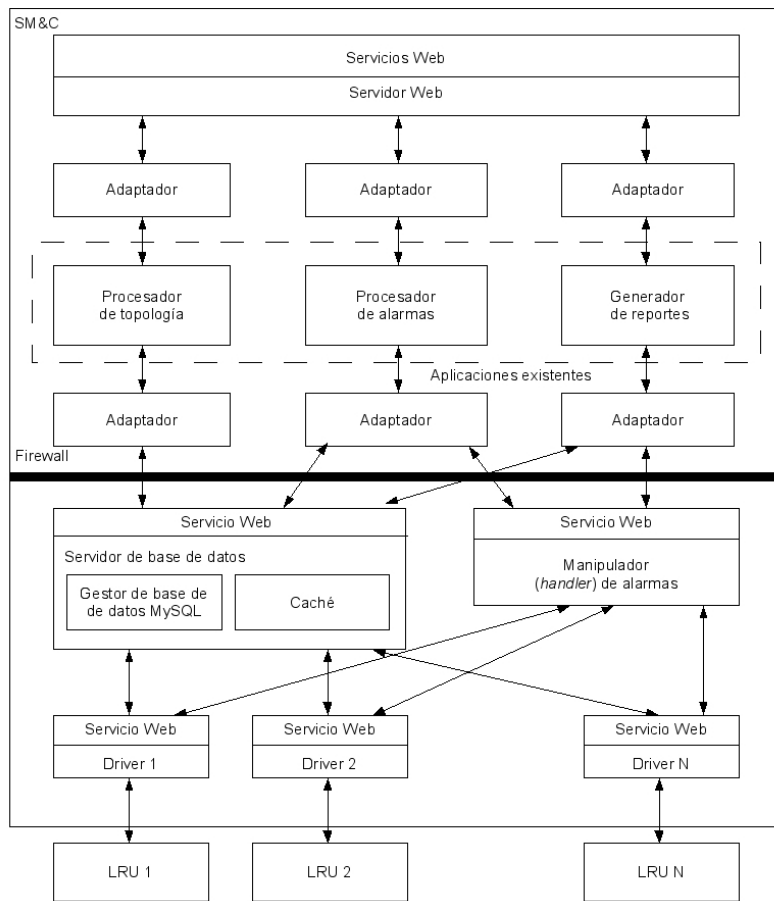


Fig. 5. Servicios de Monitoreo y Control - Escenario: desarrollo nuevo

### 1.5 Servicios de Operación

Los SOp representan el contexto de corto plazo del EMS y ofrecen la ejecución de las aplicaciones dentro del CC que permiten operar el EMS. Estos servicios están directamente relacionados con los SM&C debido a que la operación del sistema se basa principalmente en la recolección de datos de las LRU's.

Además de la interacción con los SM&C, los SOp también interactúan con el resto de los servicios publicando el modelo actual del SEP y los resultados de las aplicaciones de redes.

Dentro de las aplicaciones previstas por los SOp se destacan las aplicaciones de redes (SE, PF, OPF, etc.), gestión de la demanda, predicción de la demanda y gestión económica, las cuales, generalmente, son aplicaciones existentes dentro de un CC. Los SOp proveen estas herramientas y la infraestructura para publicar sus resultados a través de WS.

Los datos ya procesados dentro de SM&C son recibidos por los SOp para modelar el SEP y publicar un modelo de tiempo real del mismo. Este modelo es utilizado luego por las aplicaciones para realizar sus cálculos. Debido a que cada aplicación requiere del modelo del SEP información específica, SOp publica el modelo del SEP a través de un CIMXML sobre el WS, de tal forma que las aplicaciones puedan “pedir” la porción del modelo que necesiten.

## 5 CONCLUSIONES

En este trabajo se describió la plataforma de trabajo de Código Abierto desarrollada EMS-SOA. Esta arquitectura integra componentes nuevos y existentes del EMS dentro de una SOA, aplicando el estándar IEC 61970 e identificando para los componentes de referencias soluciones Código Abierto. Se presentaron

las tecnologías utilizadas para esto, así como su estructura general sobre la base de aplicaciones concretas tales como el manipulador de alarmas y el estudio de PF.

La clave de la plataforma EMS-SOA es servicios independientes con interfaces definidas que puedan ser llamadas para realizar sus funciones de una forma estándar, sin que el servicio tenga conocimiento de la aplicación que lo llama, y sin que la aplicación necesite conocimiento de cómo el servicio realiza realmente sus tareas.

EMS-SOA representa el estado del arte de la arquitectura del EMS de tercera generación y se espera, así como ya está ocurriendo en otras disciplinas de informática aplicada, que en el futuro cercano el uso de este tipo de plataformas sea el lenguaje común entre aplicaciones de EMS.

Entre los principales beneficios de la EMS-SOA se pueden mencionar que mejora en los tiempos de realización de cambios en procesos, facilita la evolución a modelos de negocios basados en tercerización. Facilita la realización de modelos de negocios en colaboración con otros entes (socios, proveedores) y permite reemplazar elementos de la capa aplicativa SOA sin interrupción en el proceso de negocio.

## 6 REFERENCIAS

- [1] T. Berry, "Standards for energy management system application program interfaces", In *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, 2000. Proceedings. DRPT 2000. International Conference on, 2000.
- [2] T. E. Dy-Liacco, "Control centers are here to stay", *IEEE Computer Applications in Power*, pp. 15-18, Oct. 2002.
- [3] F. Magnago and Diego Moitre, *Programación de la Operación Óptima de Sistemas Eléctricos de Potencia*. Río Cuarto, Córdoba, Argentina, Editorial de la Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto, 2003.
- [4] W. Xingping, Z. Yang, W. Xiwei, "A New Generation EMS", In Proceedings of the International Conference on Power System Technology (PowerCon 2002), IEEE Publishing, 2002.
- [5] Q. Chen, H. Ghenniwa, and W. Shen, "Web-services infrastructure for information integration in power systems", in *Power Systems, Proceedings of IEEE PES 2006*, Montreal, Canada, Junio 2006.
- [6] T. Erl, *SOA Principles of Service Design*. Prentice Hall Service-Oriented Computing Series, USA, 2007.