

# Arquitectura de Software Orientada a Servicios para Redes Inalámbricas de Sensores

Enrique Alejandro Amezcua Zúñiga, Jesús Israel González Partida,  
Pedro C. Santana-Mancilla y Juan Contreras-Castillo

Universidad de Colima, Av. Universidad 333, Col. Las Víboras,  
Colima, Col. 28040. México  
{believeit.92, gopixc}@gmail.com, {psantana, juancont}@ucol.mx

**Resumen.** Este artículo describe una propuesta de arquitectura de software basada en servicios para redes móviles de sensores. Esta arquitectura hace uso del paradigma orientado a servicios basados en la nube para sistemas middleware de redes inalámbricas de sensores. La arquitectura se ha enfocado en un caso de estudio con la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad de Colima para permitir la recolección de datos de la costa y su posterior análisis para la toma de decisiones.

**Palabras clave:** Redes de sensores, arquitectura de software, boyas marinas, arquitectura basada en servicios, cómputo en la nube.

## 1 Introducción

El monitoreo del medio marino se ha convertido en un campo de interés desde hace ya varios años, una de las razones principales es que los sistemas marinos son vulnerables a la influencia de la actividad humana generada principalmente por el desarrollo industrial, turístico y urbanístico, lo cual puede originar daños severos e irreversibles al ecosistema marino.

El puerto de Manzanillo es uno de los más importantes de la República Mexicana y se considera el principal puerto exportador del país, reconocido mundialmente como el “Puente Mexicano hacia el Pacífico”. A través de él operan rutas a Japón, Hong Kong, Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos y Canadá, entre otros. Además, es el mejor enlace con las zonas industriales y comerciales del país: Jalisco, el Bajío, Estado de México y la Ciudad de México. Es el segundo puerto más importante del Pacífico Mexicano en volumen de carga transportada. Tiene capacidad para recibir buques de 14 metros de calado y 80,000 toneladas de peso muerto (TPM). Sin embargo, tal cantidad de movimiento, tiene un alto riesgo de que ocurra algún accidente que ponga en peligro las costas de Manzanillo, por ejemplo la contaminación del mar debido a derrames.

Como parte de los esfuerzos para tratar de proteger las costas de Manzanillo la Universidad de Colima, a través de la Facultad de Ciencias Marinas (FACIMAR),

emplea un Sistema de Observación Costero (SOC) en la zona marítima de la Bahía de Manzanillo, con el fin de hacer mediciones y análisis de la trayectoria de las corrientes marinas dentro de ese entorno. Este sistema hace uso de una serie de boyas de deriva que se despliegan dentro del área que comprende la bahía para monitorizar el comportamiento de las corrientes marinas en esta zona.

Sin embargo, una de las limitantes que presenta este sistema es el hecho de que sus nodos (cada una de las boyas) no tienen la posibilidad de comunicarse entre sí, y no son conscientes de su entorno ni del resto del sistema, además de que esto implica, que los datos obtenidos no pueden ser analizados en tiempo real, ya que la información que se está monitorizando no se centraliza hasta que las boyas son recolectadas físicamente por el personal de FACIMAR. Finalmente, el SOC solamente está levantando información concerniente a las corrientes marinas, pero es necesario considerar más variables físicas del entorno que contribuyan a mantener las condiciones adecuadas para la conservación de la vida marina. Lo anterior, abre la posibilidad de desarrollar un sistema de monitoreo remoto que pueda ser integrado dentro de los equipos y boyas con las que ya cuenta FACIMAR. Una posible consideración, es la integración de elementos electrónicos que contengan elementos de comunicación. Dada la creciente miniaturización de los componentes electrónicos junto a los avances en las comunicaciones ha permitido el desarrollo de las redes inalámbricas de sensores (WSN, por sus siglas en inglés *Wireless Sensor Networks*), las cuales consisten en un número de pequeños nodos sensores que se comunican de forma inalámbrica [1]. Estos nodos de sensores pueden ser distribuidos en áreas de difícil acceso para el ser humano (como un ambiente marino) pero que no requieren supervisión constante y de esta forma se evita la necesidad de realizar un monitoreo manual.

El proceso del SOC que emplea FACIMAR se describe a continuación:

- Llevar la boya al lugar de monitoreo en lancha por las mañanas.
- Se monitorea con binoculares las boyas a lo largo del día desde la playa.
- Por la tarde se recogen las boyas con lancha.
- Se descargan los datos obtenidos por los sensores en la boya de forma manual y boya por boya.

Si FACIMAR contara con una WSN les permitiría hacer uso de los beneficios de sus nodos, ya que cada uno tiene poder de procesamiento y comunicación. Lo que permitiría que la información obtenida por los sensores se transmita en tiempo real para ser analizada, lo que lleva un ahorro en tiempo y recursos, tanto humanos como económicos.

El presente trabajo describe la propuesta de una arquitectura de software basada en servicios para redes móviles de sensores, aplicada a entornos marinos para ser usados en el SOC de FACIMAR, la cual se pretende sea flexible y modular; que tenga la capacidad de incluir un número mayor de sensores que permitan recolectar una mayor cantidad de valores de variables físicas marítimas, lo que contribuirá al levantamiento oportuno y al procesamiento de información relevante en tiempo real que ayude a prevenir situaciones de riesgo para la Bahía de Manzanillo. En una etapa inicial, cada nodo realizará el monitoreo de los siguientes datos:

- **Temperatura:** Medir la temperatura del mar es de suma importancia, ya que ayuda a predecir ciclones tropicales o huracanes. También es fundamental

para comprender los diferentes tipos de organismos que habitan en él, tales como los peces, crustáceos, algas marinas, entre otros.

- **Salinidad:** La salinidad influye en la distribución de los organismos.
- **Velocidad del viento:** Conocer la velocidad actual del viento que se presenta en el mar ayuda a saber sobre posibles cambios drásticos en el mismo, también es de utilidad en huracanes y tormentas.
- **Latitud y longitud:** Permite conocer la ubicación de cada nodo de la red de sensores para evitar que se salgan de los rangos de ubicación establecidos y no se pierda la boya en la que se instalará.

## 2 Estado del arte

En el ámbito de la aplicación de redes de sensores y la monitorización de ambientes marinos hay varios grupos de investigación que se encuentran trabajando los diferentes temas relacionados. Por ejemplo, [2] presenta el uso de una WSN para la medición del pH con sensores elásticos de magneto para garantizar la seguridad del agua potable. En [3], se presenta una red de sensores para monitorizar la temperatura y salinidad del agua intentando reducir el costo de investigación marina.

Además, entre algunos de los proyectos de gran relevancia podemos mencionar los siguientes:

CORIE es un sistema observación ambiental y predicción (EOFS) por sus siglas en inglés) para el río Columbia, su objetivo es caracterizar y predecir las corrientes de la parte baja del río, el estuario y la parte cercana al océano usando una red de sensores [4].

El proyecto GLASCSWEB desarrolló tecnología para monitorear el comportamiento de los glaciares usando redes de sensores instaladas en el hielo profundo [5].

## 3 Metodología

Para cumplir con el objetivo propuesto, este proyecto siguió la siguiente metodología. Primero, se realizó una revisión del estado del arte sobre las aplicaciones desarrolladas en el área de monitoreo remoto de entornos marinos, del cual se reporta un panorama reducido en la sección anterior. Posteriormente se realizó un estudio de necesidades que tiene el SOC de las variables físicas más relevantes a monitorear dentro del entorno marino así como las necesidades de comunicación de la información.

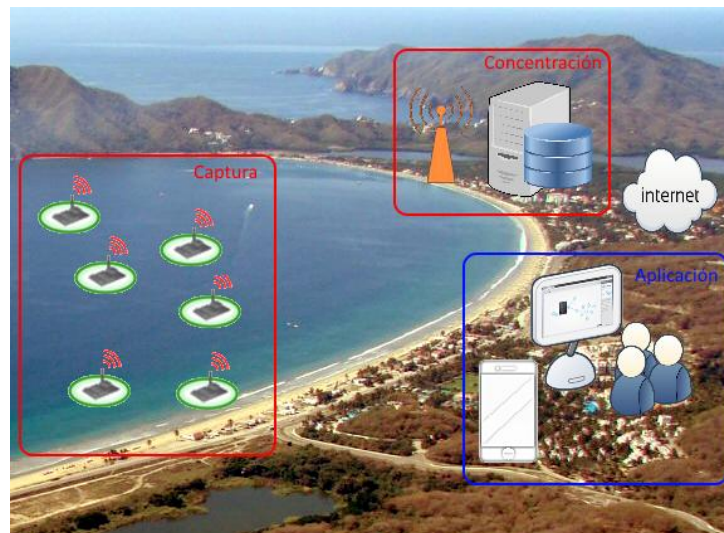
Después se definió un escenario de uso de la plataforma para identificar el área de cobertura y número de boyas de deriva, lo que permitió elegir las tecnologías de comunicación a evaluar, la definición de protocolos y las topologías para la comunicación confiable en el medio marino. Finalmente se desarrolló la propuesta de

arquitectura modular basada en servicios en la nube como propuesta para el SOC de FACIMAR.

## 4 Arquitectura propuesta

Se propone una arquitectura con tres capas (captura, concentración y aplicación) para asegurar que el sistema funcionará correctamente, tal como se muestra en la Fig. 1:

1. **Captura:** Es la operación completa de WSN donde los nodos utilizados para esta red están enviando los datos obtenidos al nodo central para su posterior concentración en el servidor.
2. **Concentración:** Es la capa que se encargará de clasificar y almacenar la información para ser utilizada posteriormente. Además, mediante esta capa, se puede acceder a los datos recabados anteriormente y controlar la red en la capa de captura.
3. **Aplicación:** Son los servicios ofrecidos por el sistema, aquí se manejan las aplicaciones para monitorear y visualizar la información obtenida.



**Fig. 1.** Arquitectura propuesta.

### 3.1 Componentes

Los componentes de la arquitectura son: nodos, nodo central y servidor. A continuación se explica cada uno:

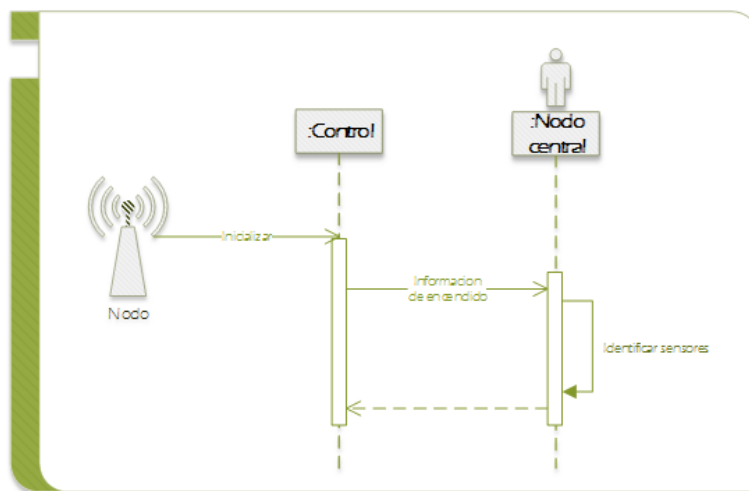
4. **Nodo:** Aquí está contenida la funcionalidad del sensado y son cada una de las boyas de la red encargadas de capturar la información del medio marino. Además, este componente cuenta con subcomponentes encargados de realizar distintas tareas para lograr el objetivo de capturar la información:
  - *Lectura de sensor:* En este se obtienen las lecturas medibles del medio ambiente.
  - *Comunicación:* Es el encargado de enviar y recibir la comunicación entre el nodo de sensado y el nodo central, enviando los datos obtenidos en el subcomponente de lectura de datos, además procesa comandos enviados desde el mismo nodo central para modificar su comportamiento.
5. **Nodo central:** Este componente tiene la tarea de interactuar con los nodos de sensado y transmitir la información obtenida en un nivel de abstracción más alto, con esto nos permite una mayor flexibilidad en la programación de las tareas asignadas a cada nodo. Este componente está localizado en una computadora con acceso directo al servidor, de igual manera este contiene subcomponentes encargados de distintas tareas para lograr los requerimientos establecidos:
  - *Control:* Encargado de administrar los nodos de sensado y responsable de iniciar las actividades de los mismos.
  - *Servicios internos:* Permite la interacción entre los nodos de sensado, tales como envío de comandos específicos a cada uno de los nodos.
  - *Comunicación:* Envía todos los datos obtenidos por parte de los nodos de sensado al servidor, donde se almacena y clasifica cada uno de los datos registrados.
6. **Servidor:** Encargado de administrar todos los datos enviados por parte del nodo central y llevar el registro histórico. El registro incluye los nodos de sensado que están en uso, el tipo de datos que se están usando y las lecturas en tiempo real que realizan las boyas desplegadas en el medio marino. Los subcomponentes del servidor son:
  - *Registro histórico:* Este subcomponente guarda cada lectura de sensado obtenidas por parte de los sensores de la red, también registra la información de funcionamiento del sensor.
  - *Controlador:* Prepara el servidor para iniciar la ejecución de actividades
  - *Comunicación:* Junto con el subcomponente de comunicación del nodo central, permite enviar comandos a cada nodo de sensado.
  - *Servicios web:* Provee los servicios web requeridos para mostrar la información al usuario final, por medio de estos se consultan los detalles de cada uno de los nodos de sensado.

## 5 Resultados

Como resultado de la arquitectura propuesta, se pueden detallar los diferentes servicios basados en la nube con los que contará el SOC de FACIMAR.

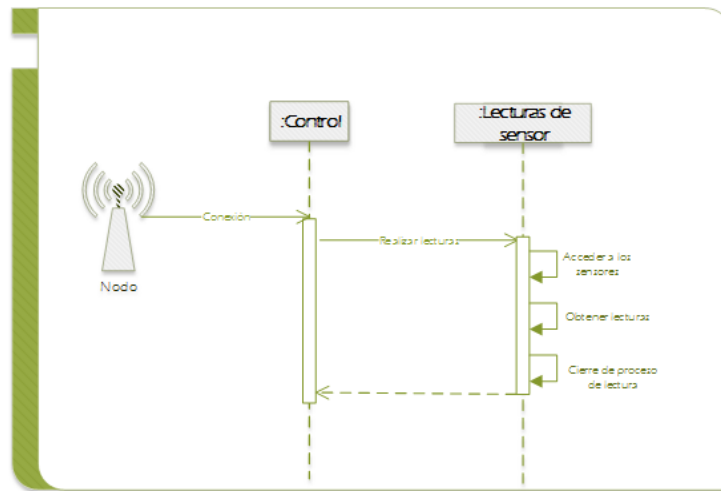
El primer momento dentro de la arquitectura es la obtención y transmisión de los datos de los sensores de cada boya, una vez obtenidos estos datos y transmitidos, si no llegan al nodo principal, las boyas cercanas repetirán esta información hasta un límite de 3 veces para evitar así congestión, se repite este caso las veces que sea necesaria entre las boyas siguientes, esto asegura que la información llegue hasta el nodo principal (nodo receptor), este se encargará de recolectar la información de todas las boyas y mandarlo al servidor principal, una vez llegada la información al servidor principal, este almacenará y generará los servicios web que podrán ser utilizados por el cliente final, donde se mostrará la información obtenida por cada boya.

La conexión entre el nodo (boya) y el nodo central se muestra en la Fig. 2. Durante esta etapa se inicializan los nodos de sensado para realizar la conexión y así verificar que la información se esté transmitiendo correctamente.



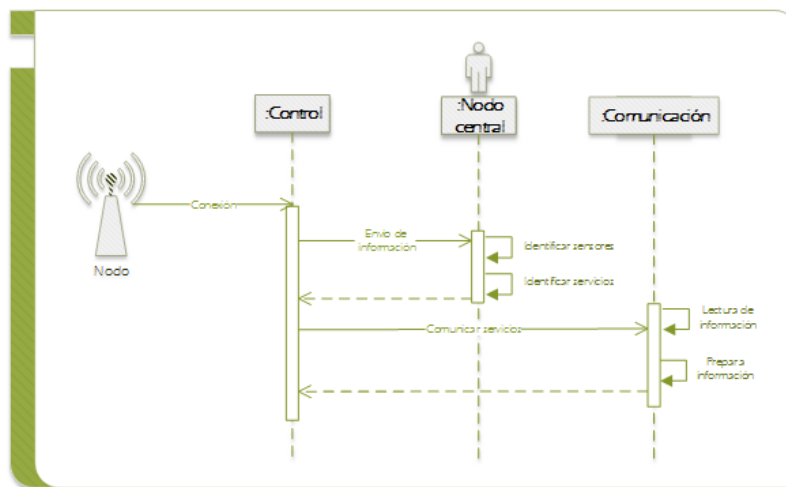
**Fig. 2.** Conexión entre la boya y el nodo central.

Para obtener la lectura de los sensores dentro del nodo boya, se hace uso del componente *Lectura de sensor* de la capa *Nodo*. El cual accede directamente a los sensores para obtener sus lecturas (ver Fig. 3).



**Fig. 3.** Lectura de sensores.

La Fig. 4 muestra que la capa *Nodo central* cuenta con el componente *Control* que se encarga de realizar la comunicación con los nodos haciendo uso del componente de *Comunicación*.



**Fig. 4.** Transmisión de información entre la boya y el nodo central.

Finalmente en la Fig. 5 podemos observar como el componente de *Comunicación* envía la información a la capa *Servidor*.

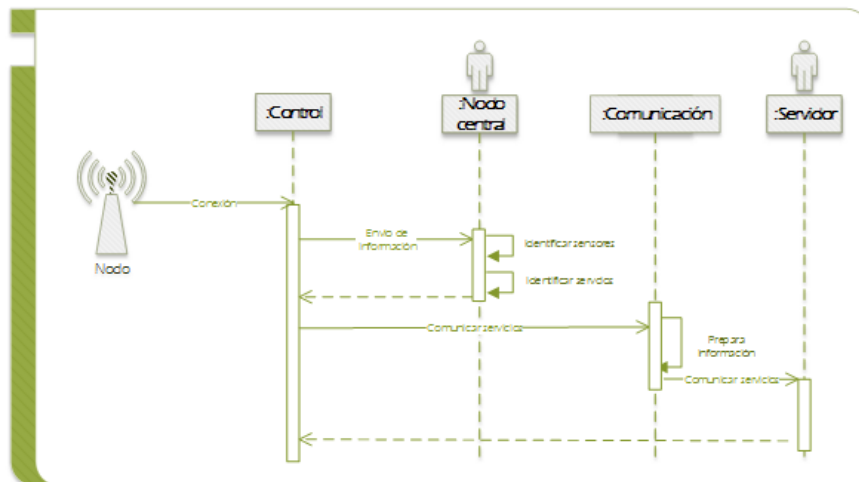


Fig. 5. Transmisión de información hacia el servidor.

## 5 Conclusiones y trabajos futuros de investigación

Este artículo presenta una propuesta de arquitectura para redes inalámbricas de sensores basada en servicios web alojados en la nube que proporcionan mecanismos de comunicación estándar entre diferentes tipos de aplicaciones y permiten la interoperabilidad entre distintos subsistemas. Un sistema de esta naturaleza es muy útil en un SOC como el desarrollado para FACIMAR ya que contará además del sistema de hardware para sensado de información con el software para visualización de la información obtenida. Con esta arquitectura se pretende dar solución a las limitantes actuales del SOC de FACIMAR, ya que sus nodos no tienen la posibilidad de intercomunicarse ya que no se cuenta con un mecanismo que facilite la comunicación a nodos remotos donde se centralice esta información y por lo tanto, los datos no pueden ser analizados en tiempo real.

Como trabajo futuro se encuentra el desarrollo del software para visualización de los datos recolectados en las boyas a generar información que posteriormente será de gran utilidad para determinar las áreas de afectación en la Bahía de Manzanillo en caso de algún desastre. Pero de forma diaria sería posible obtener patrones de corrientes, temperaturas, salinidad, velocidad del viento y latitud y longitud entre otras variables que ayuden a monitorear de forma constante la trayectoria de partículas suspendidas como pueden ser el plancton (base de la cadena trófica en el océano), sedimentos en suspensión y cualquier tipo de contaminante vertido a la bahía. Finalmente se diseñarán



diversos experimentos para evaluar el funcionamiento de las tecnologías y aplicaciones de la plataforma en escenarios reales.

**Agradecimientos.** Este proyecto fue parcialmente financiado por PRODEP por medio del proyecto “*Redes de Sensores para Monitoreo Remoto de Variables Físicas en Ambientes Marinos*” de la convocatoria “*PRODEP 2015 de Integración de Redes Temáticas de Colaboración*”.

## Referencias

- [1] Chawla, H., (2014) “Some issues and challenges of Wireless Sensor Networks”, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* 4(7), pp. 236-239.
- [2] Ong, K. G., Yang, X., Mukherjee, N., Wang, H., Surender, S., y Grimes, C. A. (2004). A Wireless Sensor Network for Long-term Monitoring of Aquatic Environments: Design and Implementation . *Sensor Letters* , 2 (1), 48-57.
- [3] Dunkels, A., Marie Feeney, L., Grönvall, B., y Voigt, T. (2004). An integrated approach to developing sensor network solutions . In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications (SANPA'04)*.
- [4] Dang, T., Frolov, S., Bulusu, N. y Baptista, A. (2007). Near optimal sensor selection in the Columbia river (CORIE) observation network for data assimilation using genetic algorithms. In *Proceedings of the 3rd IEEE DCOSS'07*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 253-266.
- [5] Martinez, Kirk, Basford, Philip J., De Jager, Dirk y Hart, Jane K. (2012) A wireless sensor network system deployment for detecting stick slip motion in glaciers. In, *IET International conference on Wireless Sensor Systems 2012*, London, GB, 18 – 19.