

REDES

INALÁMBRICAS DE SENSORES EN AMBIENTE GRID

CARMEN INÉS BÁEZ PÉREZ
MAURICIO OCHOA ECHEVERRÍA
FRANCISCO ARNALDO VARGAS BERMÚDEZ

Redes inalámbricas de sensores en ambiente GRID / Carmen Inés
Báez Pérez [y otros]; ilustraciones Diana Lizeth Becerra
Castro. -- Tunja : Universidad de Boyacá, 2018.
70 páginas : ilustraciones ; 24 cm.
ISBN 978-958-8642-86-4
1. Redes de sensores inalámbricos 2. Servicios Web
3. Ciberinfraestructura. I. Báez Pérez, Carmen Inés, autora.
II. Becerra Castro, Diana Lizeth, ilustradora.
384.5 cd 22 ed.
A1619709

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango



REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES EN AMBIENTE GRID

CARMEN INÉS BÁEZ PÉREZ
MAURICIO OCHOA ECHEVERRÍA
FRANCISCO ARNALDO VARGAS BERMÚDEZ

©

Presidente de la Universidad de Boyacá

Dr. Osmar Correal Cabral

Rectora

Dra. Rosita Cuervo Payeras

Vicerrector Académico

Ing. MSc. Rodrigo Correal Cuervo

Vicerrector Desarrollo Institucional

Ing. MSc. Andrés Correal

Vicerrectora Investigación

Ciencia y Tecnología

Ing. Mg. Claudia Patricia Quevedo Vargas

Vicerrectora Educación Virtual

Ing. Mg. Carmenza Montañez Torres

**Vicerrector Administrativo
y de Infraestructura**

Dr. Camilo Correal C.

**Decano Facultad de
Ciencias e Ingeniería**

Ing. Msc. Carlos Rafael Lara Mendoza

**Directora Centro de Investigaciones para el
Desarrollo "CIPADE"**

Ft. Mg. Elisa Andrea Cobo Mejía

Los autores

Carmen Inés Báez Pérez

Mauricio Ochoa Echeverría

Francisco Arnaldo Vargas Bermúdez

**Gestión editorial, corrección de texto y
estilo, diseño y diagramación**

División de Publicaciones

Director División de Publicaciones

Ing. D.G. Mg. Johan Camilo Agudelo Solano

Gestión editorial

Lcda. Mg. Natalia Elizabeth Cañizalez Mesa

Corrección de texto y estilo

Lit. Diva Marcela Piamba Tulcán

Ilustraciones

D.G. Diana Lizeth Becerra Castro

Diseño y diagramación

D.G. Rafael Alberto Cárdenas Estupiñan

© **Ediciones Universidad de Boyacá**

Carrera 2ª. Este N° 64-169

Tels.: (8) 7452742 - 7450000 Ext. 3104

www.uniboyaca.edu.co

publicaciones@uniboyaca.edu.co

Tunja-Boyacá-Colombia

ISBN: 978-958-8642-86-4

Esta edición y sus características gráficas son propiedad de la

UB Universidad de Boyacá®

Vigilada Mineducación

© 2018

Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro, por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, especialmente fotocopia, microfilme, offset o mimeógrafo (Ley 23 de 1982)

DOI: <https://doi.org/10.24267/9789588642864>



Presentación

Me es muy grato presentar la publicación de los ingenieros Carmen Inés Báez Pérez, Mauricio Ochoa Echeverría y Francisco Arnaldo Vargas Bermúdez, docentes de la Universidad de Boyacá, quienes se han dedicado a investigar los problemas o inconvenientes presentes en la utilización de tecnologías inalámbricas cuando se trata de comunicar recursos heterogéneos con usuarios que tienen diferentes necesidades.

Ellos han querido presentar un modelo sencillo que sea útil, flexible y escalable, para solucionar los problemas de almacenamiento y procesamiento de gran volumen de datos que se originan en las redes inalámbricas utilizando la computación GRID.

Su propuesta descrita por medio de modelos UML permite tener una arquitectura aplicable, teniendo en cuenta los diversos componentes para su desarrollo, que como los autores lo consignan en las conclusiones, dejan las “bases que permiten desarrollar implementaciones que aprovechen las potencialidades de la computación GRID”, y con ello esperan que se “generen nuevos escenarios sobre los cuales se puedan llegar a tener soluciones innovadoras, para ampliar la perspectiva de uso de los datos recolectados en una Red inalámbrica de Sensores, ofreciendo la posibilidad de plantear a futuro nuevas estrategias para el tratamiento de información geográfica”.

Osmar Correal Cabral

Presidente Universidad de Boyacá

Contenido

Introducción	8
1. Conceptos Generales	11
Redes Inalámbricas de Sensores	13
Partes de un nodo sensor	14
Características de las redes inalámbricas de sensores	14
Servicios web	16
Arquitectura Orientada a Servicios	18
Modelo conceptual de SOA	19
Computación Grid	20
Grid	20
Organizaciones Virtuales (Virtual Organization, VO)	21
Arquitectura de una Grid	22
Tipos de recursos	24
Open Grid Services Architecture (OGSA)	25
2. Aportes del Sensor Web Enablement	29
Especificaciones planteadas por el OGC a través del SWE	30
Modelo de integración de una RIS como un recurso Grid	33
Arquitectura general del modelo propuesto	34
Comparación entre lo propuesto por el SWE y el modelo planteado	36
3. Arquitectura de un Modelo de Integración de una RIS a un Ambiente Grid	39
Modelo de procesos del negocio	40
Límite del sistema	41
Casos de uso general	43
Diagrama de secuencia	45
Diagrama de actividades	46
Caso de uso "Colectar información"	47
Caso de uso "Validación e inserción"	48
Caso de uso "Consultar información"	49
Diagrama de secuencia "Consultar información"	50
Diagramas de actividades	52
Diagrama de clases	58
Diagrama de componentes	60
Diagrama de paquetes	61
Diagrama de despliegue	62
Conclusiones	63
Lista de Referencias	64



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interacción entre los elementos que soportan el planteamiento del modelo.	12
Figura 2. Redes Inalámbricas de sensores.	13
Figura 3. Elementos de un nodo Sensor.	14
Figura 4. Funcionamiento de un Servicio Web.	17
Figura 5. Un sistema que utiliza SOA para solucionar un problema de interoperabilidad.	19
Figura 6. Organización Virtuales.	21
Figura 7. Un sistema que utiliza SOA para solucionar un problema de interoperabilidad.	23
Figura 8. La arquitectura de OGSA.	26
Figura 9. Sensor Web Enablement.	31
Figura 10. Una colaboración típica dentro de un Sensor Web Enablement Framework.	32
Figura 11. Modelo teórico para la integración de una RIS con un ambiente Grid.	35
Figura 12. Comparativo de especificaciones O&M y SCS del SWE con el servicio Grid de persistencia propuesto.	36
Figura 13. Comparativo especificaciones SPS del SWE con el Servicio Grid de manejo de solicitudes.	37
Figura 14. Modelo de proceso del negocio.	41
Figura 15. Límite del sistema propuesto.	42
Figura 16. Límite del sistema del servicio de integración RIS-GRID.	42
Figura 17. Diagrama de casos de uso general.	43
Figura 18. Diagrama de secuencia general.	45
Figura 19. Diagrama de actividades.	46
Figura 20. Diagrama de secuencia Colectar información de sensores.	50
Figura 21. Diagrama de secuencia Validación e Inserción.	51
Figura 22. Diagrama de secuencia Consulta de información.	52
Figura 23. Diagrama de actividades Colectar información de los sensores.	53
Figura 24. Diagrama de actividades Validar e Insertar.	55
Figura 25. Diagrama de actividades Consulta de información.	57
Figura 26. Diagrama de clases.	59
Figura 27. Diagrama de componentes.	60
Figura 28. Diagrama de paquetes.	61
Figura 29. Diagrama de despliegue.	62



Introducción

En la actualidad, las tecnologías inalámbricas ofrecen ventajas frente a las tecnologías alambradas, debido a que permiten una gran movilidad de los agentes involucrados en el proceso de comunicación y el ahorro en instalación de grandes longitudes de medios alambrados. Por ello, las redes de sensores han sido utilizadas junto con este tipo de tecnologías, con la finalidad de formar las redes inalámbricas de sensores.

Pero esta tecnología presenta problemas, algunos de ellos inherentes a los sensores y otros propios del funcionamiento de una red de este tipo, para lo cual se han desarrollado soluciones tecnológicas, tales como protocolos de acceso al medio, algoritmos y protocolos de encaminamiento, entre otras. En la actualidad, se hace uso del poder computacional de la Grid, el cual permite la comunicación entre sensores y computadores, con el fin de estandarizar la interoperabilidad de las tecnologías de información. Además, se busca aprovechar la capacidad de almacenamiento de datos y de procesamiento que ofrece esta tecnología, puesto que las redes inalámbricas de sensores producen cantidades exorbitantes de datos y el tratamiento de estos implica gran capacidad de cómputo.

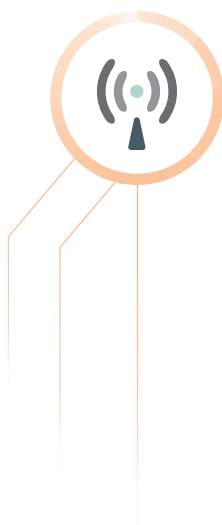
Por otra parte, el *Open Geospatial Consortium* (OGC), que es el organismo encargado de estandarizar todo lo referente al manejo de información geográfica, ha propuesto, mediante la definición de especificaciones, el *Sensor Web Enablement* (SWE), el cual consiste en definir estándares para el tratamiento de los datos generados por las Redes Inalámbricas de Sensores (RIS). Dado lo anterior, y ante la posibilidad de manejar estos aspectos sobre un ambiente computacional Grid, el presente libro plantea un modelo mediante el cual se propone convertir una RIS en un recurso Grid, y de esta manera aprovechar las potencialidades que ofrece.

Este libro inicia con la descripción de las bases teóricas y los referentes tecnológicos, sobre los cuales se soporta la propuesta. Se presenta una descripción sobre Redes Inalámbricas de Sensores y sus características, dado que es el recurso que se propone integrar a un sistema Grid. Adicionalmente, se detalla la estructura y el funcionamiento de los Servicios Web junto con la Arquitectura Orientada a Servicios (SOA), que son la base sobre la cual se fundamenta la computación Grid, tema abarcado al final de este capítulo.

En el capítulo dos, se describen las especificaciones planteadas por el OGC a través del **Sensor Web Enablement** (SWE) que son el referente para el modelo propuesto. Estas especificaciones se detallan de tal manera que brindan al lector la visión general, sobre la cual se fundamenta el modelo planteado. Así mismo, se presenta la arquitectura general del modelo propuesto y una descripción de los procesos que se plantean. Se termina este capítulo con la comparación entre los dos modelos.

El último capítulo trata la arquitectura general propuesta, haciendo uso de diagramas UML. Se realiza una descripción de los diferentes procesos que deben tenerse en cuenta para una implementación óptima del modelo. Los diagramas diseñados van acompañados de una descripción acerca del objetivo y el alcance, los cuales son un referente general para implementaciones particulares que se requieran desarrollar.

Finalmente, se presentan las conclusiones principales que se desprenden de este trabajo, entre las cuales se resalta una estrategia para lograr persistencia en los datos generados por una RIS, con la inclusión de una Grid, como tecnología para lograr dicho objetivo; adicionalmente, el modelo planteado deja las bases sobre las cuales se podrán desarrollar implementaciones comerciales particulares, ofreciendo nuevas posibilidades para el aprovechamiento de los datos recolectados por la RIS, en diferentes áreas de la ciencia.





CONCEPTOS GENERALES



El modelo de integración RIS-GRID se basa en los fundamentos teóricos de la computación Grid, las redes inalámbricas de sensores y los sensores, los cuales han sido incorporados en algunos modelos. Tal es el caso del modelo planteado por el **Sensor Web Enablement** (SWE), que ha tomado los aspectos definidos por el **Open Geospatial Consortium** (OGC), con el objeto de brindar soluciones a las problemáticas que genera el gran volumen de datos censados por las redes inalámbricas de sensores. Para hacer esto posible, se implementan las soluciones, usando los principios de los servicios web para garantizar la interoperabilidad de los diferentes dispositivos y tecnologías que intervienen en el proceso de censado, transporte, almacenamiento y análisis para la toma de decisiones.

Una de las limitaciones de los servicios web es la falta de persistencia, por eso, en este documento encontrará una propuesta del uso de servicios Grid para mejorar este aspecto.

En la Figura 1 se presenta la interacción que se da entre los diferentes actores que intervienen en todo el proceso.

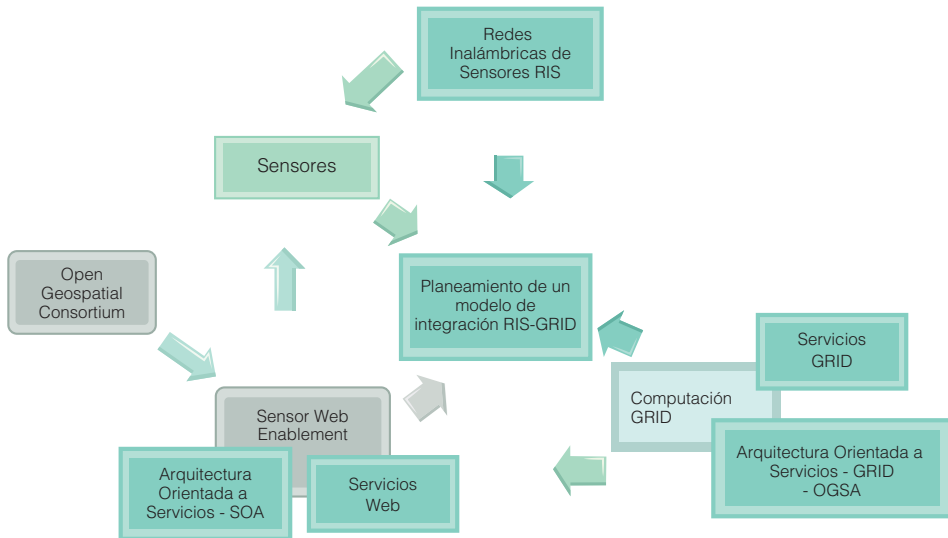


Figura 1. Interacción entre los elementos que soportan el planteamiento del modelo.

Fuente. Los Autores

Allí se observa el uso de las redes inalámbricas de sensores, las cuales se utilizan para transmitir los datos censados, por medio de tecnologías inalámbricas; por otro lado, los sistemas distribuidos ofrecen las capacidades de almacenamiento que requiere el gran volumen de datos generados por las RIS.

Uno de los organismos que ha estado trabajando sobre diferentes soluciones que buscan el aprovechamiento de los datos censados, es el OGC. Por medio de su propuesta del SWE, hace uso de los servicios WEB para garantizar la interoperabilidad ante la heterogeneidad de los diferentes elementos involucrados (sensores, software, hardware, arquitectura, entre otros) en el tratamiento de los datos (adquisición, transporte, monitoreo, almacenamiento y análisis), enfocados en el área ambiental.

Dado lo anterior, se propone la integración de dichos elementos con el objeto de lograr un modelo que supla las falencias de los servicios WEB, por medio de servicios GRID, buscando con ello solución al problema de persistencia. De ahí la importancia de contar con una conceptualización de las temáticas mencionadas, con el fin de entender la manera como el modelo hará uso de algunas de las características que estas ofrecen.

A continuación, se realiza un análisis general de las diferentes tecnologías que se involucran en el proyecto.

Redes Inalámbricas de Sensores

Las Redes Inalámbricas de Sensores (RIS) están constituidas por cientos, miles o millones de nodos sensores, que se colocan cerca del fenómeno a monitorear en un área geográfica específica.

En este tipo de redes inalámbricas, los nodos están dotados de un módulo de medición (sensor) que realiza la toma de datos del fenómeno a monitorear (humedad, temperatura, movimiento, entre otros). Esta información debe ser llevada por la red a un sitio central donde se procesa y analiza, tal como se muestra en la Figura 2.

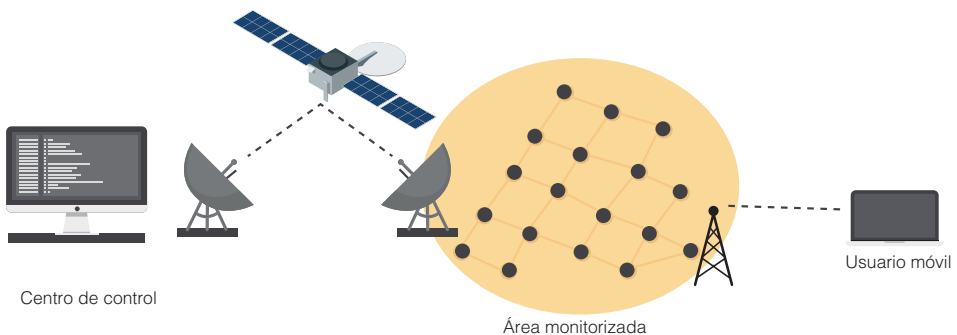


Figura 2. Redes Inalámbricas de sensores. Fuente. Ochoa y Pérez, 2008.

Partes de un nodo sensor

El nodo sensor tiene un módulo de transmisión que utiliza normalmente alguna de las tecnologías para redes inalámbricas de área personal (Zigbee, Bluetooth, Ultrawideband, entre otras), con las cuales se envía la información codificada en forma de señal, a otro nodo que está en el área de cobertura, para que este lo retransmita a otro, y así de manera sucesiva hasta que la señal llegue al sitio central de procesamiento (Dingwen, Salil, y Matthias, 2016).

Además de los módulos de medición o actuador, y los módulos de comunicación, los nodos sensores cuentan con un módulo para preprocesamiento de información, conformado por memoria y controlador, como se puede ver en la Figura 3.

Los circuitos electrónicos que conforman el nodo sensor requieren de energía, por lo cual poseen una fuente de alimentación que en la mayoría de los casos son baterías o paneles solares (Mehta y Pal, 2017).

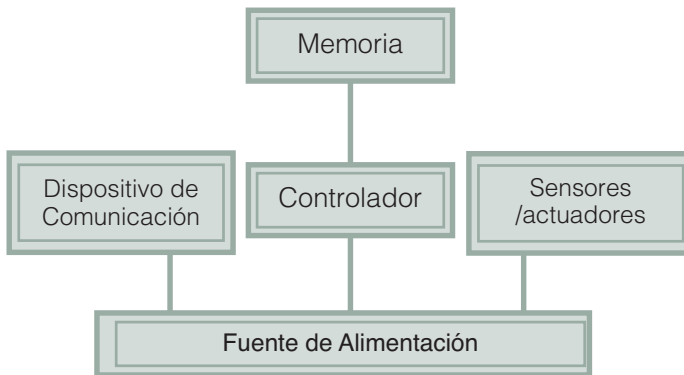


Figura 3. Elementos de un nodo Sensor. Fuente: Ochoa y Pérez, 2008

Características de las redes inalámbricas de sensores

)))

Los procesos de censado y de comunicaciones consumen mucha energía. En algunas ocasiones es difícil el acceso a los sitios donde se instalan los nodos para reemplazar las baterías, por lo cual, las investigaciones se han enfocado en crear mecanismos optimizados para un bajo consumo de energía en procesos de encaminamiento y protocolos de capa enlace, entre otros (A., Bruneo, Distefano, y Longo, 2017).

-))) Los nodos generalmente son pequeños, para poderlos disponer en áreas de observación sin que interfieran con el entorno.
-))) Además de la función de censado en su área de cobertura, los nodos deben servir de encaminadores para que la señal de cualquier nodo pueda llegar al centro de procesamiento de información (nodo sumidero - SYNK) (Gungor y Hancke, 2013).
-))) Los nodos trabajan de una manera colaborativa. Al establecerse la red, cada nodo ubica a los nodos que están en su área de cobertura de transmisión, para que posteriormente puedan servir de puente en la ruta que deben seguir las señales que se envíen al nodo sumidero. Cuando un nodo sale de funcionamiento (por condiciones ambientales, agotamiento de la fuente de alimentación, daño de hardware, entre otros) y hace parte de la ruta de encaminamiento, la red debe reconfigurar su topología lógica para habilitar otro camino entre los nodos sensores y el nodo sumidero (Ammari, 2014).
-))) Estas redes pueden crecer en número de nodos en forma exponencial, si la condición del área del fenómeno a monitorizar lo exige y el área de observación lo permite. Por lo anterior, las redes pueden llegar a tener gran cantidad de nodos, que la red debe estar en capacidad de gestionar (Rawat, Singh, Chaouchi, y Bonnin, 2013).
-))) Las redes inalámbricas de sensores son un tipo de red inalámbrica Ad-Hoc, con la particularidad de que su objetivo primordial es permitir su comunicación de forma inalámbrica y facilitar que la información recolectada por cada nodo se pueda enviar a un sitio externo para su procesamiento y análisis. Las tecnologías de comunicación más utilizadas en este tipo de redes son ZigBee y Bluetooth; en algunas ocasiones WiFi (Kart y Andreas, 2005).

Continuando con la integración expuesta en la Figura 1, el siguiente aspecto que se debe abordar es el referente a servicios web.

Servicios web

Los servicios web o **Web Services** (World Wide Web Consortium, s.f) se caracterizan porque operan como un servicio que ofrece una funcionalidad específica y pueden ser consumidos por un usuario desde la web. Se basan en el concepto de computación de sistemas distribuidos, que permite la creación de aplicaciones bajo el modelo cliente/servidor, mediante una plataforma independiente del lenguaje y utilizando protocolos abiertos como HTTP, lo cual garantiza la interoperabilidad entre diferentes sistemas, plataformas y arquitecturas tecnológicas.

Otra definición es “sistema de software diseñado para permitir **interoperabilidad** máquina a máquina en una **red**. En general, los servicios web son solo **APIs Web (sic)** que pueden ser accedidas en una red, como **internet**, y ejecutadas en un sistema de hosting remoto” (Alegsa, 2010, par. 2).

De acuerdo con *IBM developerworks*,

El término “servicios web” designa una tecnología que permite que las aplicaciones se comuniquen en una forma que no depende de la plataforma ni del lenguaje de programación. Un servicio web es una interfaz de software que describe un conjunto de operaciones a las cuales se puede acceder por la red a través de mensajería XML estandarizada. Usa protocolos basados en el lenguaje XML, con el objetivo de describir una operación para ejecutar o datos para intercambiar con otro servicio web. (IBM, s.f., par. 2)

En conclusión, los servicios web buscan garantizar la interoperabilidad entre sistemas, asegurando de esta manera el intercambio de información y el uso de funcionalidades, independiente de la arquitectura sobre la cual se trabaje.

Los servicios web usan el protocolo SOAP (**Simple Objects Access Protocol**), lenguaje XML para comunicarse y HTTP como protocolo de transporte para realizar las peticiones y respuestas. Mientras que las tecnologías distribuidas, tales como CORBA, EJB y COM/DCOM, entre otras, son muy dependientes debido a que están muy acopladas a clientes y servidores, los servicios web están orientados a usar clientes que no tienen un conocimiento previo del servicio hasta que se les invoca, es decir, existe un fuerte desacoplamiento entre cliente y servidor del servicio.

Los servicios web se caracterizan porque no manejan información de estado, en otras palabras, no recuerdan valores de una llamada a otra; por eso se llaman servicios sin memoria.

A continuación, se describe cómo funciona un servicio web. Los servicios web utilizan XML, en el cual están involucrados dos conceptos básicos como son:

- WSDL (**Web Services Description Language**) se utiliza para describir **servicios Web** en formato XML (Kanimozhi, Kannana, Selvmani y Vijay Kumar, 2015).

- UDDI (**Universal Description, Discovery and Integration**) es un formato XML que se utiliza para describir servicios web y SOAP (**Simple Object Access Protocol**), siendo este último un **protocolo estándar** que define cómo dos objetos en diferentes procesos pueden comunicarse por medio de intercambio de datos **XML** (Kanimozhi, Kannana, Selvmani y Vijay Kumar, 2015).

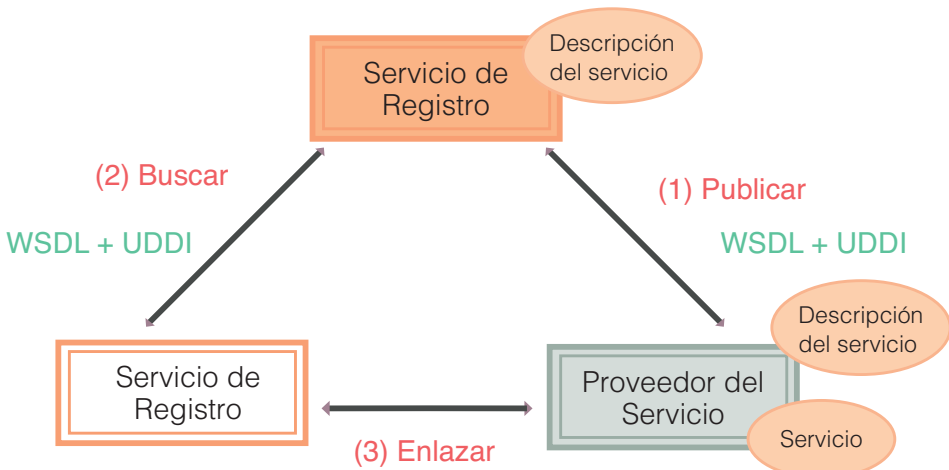


Figura 4. Funcionamiento de un servicio web. Fuente. Universidad de Alicante, 2014.

La Figura 4 presenta una descripción del funcionamiento de un servicio web. El UDDI busca diferentes API que les permiten a los usuarios consultar a los proveedores que proporcionan un servicio particular (Aktas, 2011). Los servicios se comunican usando mensajes, generalmente codificados mediante el protocolo SOAP.

Existe una arquitectura que, basada en servicios web, busca garantizar la interoperabilidad entre los diferentes componentes. Esta arquitectura se conoce como Arquitectura Orientada a Servicios, la cual se describe a continuación:

Arquitectura Orientada a Servicios

SOA (Service Oriented Architecture, Arquitectura Orientada a Servicios) es considerada como una tecnología innovadora, que permite interoperabilidad entre sistemas y de esta forma admite obviar problemas tecnológicos de arquitecturas diferentes, sistemas operativos heterogéneos o diferentes lenguajes de programación (Salinas, 2011).

Existen diferentes tipos de arquitecturas SOA, entre las que se encuentran:

- “Jini: propuesta por Sun Microsystems. Permite el desarrollo de aplicaciones bajo lenguaje java” (Valera, 2012, p. 25).
- DSSP (**Decentralizes Software Services Protocol**), protocolo basado en software.
- UPnP (**Universal Plug-and-Play**), conjunto de protocolos de comunicaciones que permite descubrir otros dispositivos de red.
- DPWS (**Device Profile for Web Services**) es un conjunto de restricciones para implementar servicios de mensajería, descubrimiento, descripción y evento de servicios web seguros (Kanimozhi, Kannana, Selvamani y Vijay Kumar, 2015).

“El trabajo de una SOA es establecer tanto las propiedades funcionales como no funcionales que incluyen escalabilidad, fiabilidad, flexibilidad y garantía de calidad del servicio (QoS)” (Valera, 2012, p. 26). La Arquitectura Orientada a Servicios surge como una solución a la integración de aplicaciones heterogéneas, que ofrece como una característica “servicios autónomos y granulares” (Quispe, 2012, p. 14), buscando la independencia tanto de las aplicaciones como de la tecnología.

SOA propone la división en servicios de las tecnologías de información que puedan ser configuradas y reutilizadas para responder a las necesidades cambiantes de las empresas. Ofrece la posibilidad de intercambiar información en sistemas legados en funcionamiento y que requieren brindarla a nuevos sistemas o con otros sistemas ya instalados. Esto hace posible la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos, tanto a nivel de plataformas como a nivel de estructura y arquitectura del sistema, así como permitir compartir información con sistemas no propietarios de las empresas, como proveedores, *outsourcing*, entre otros.

SOA se desarrolla e implementa sobre estándares que garantizan la interoperabilidad de los sistemas, brindando a sus usuarios la posibilidad de interconectar casi cualquiera y haciendo que las empresas evolucionen de acuerdo con el nivel de competitividad que se impone actualmente en todos los ámbitos empresariales. En la Figura 5 se presenta un ejemplo de una arquitectura SOA definida por **Microsoft**.

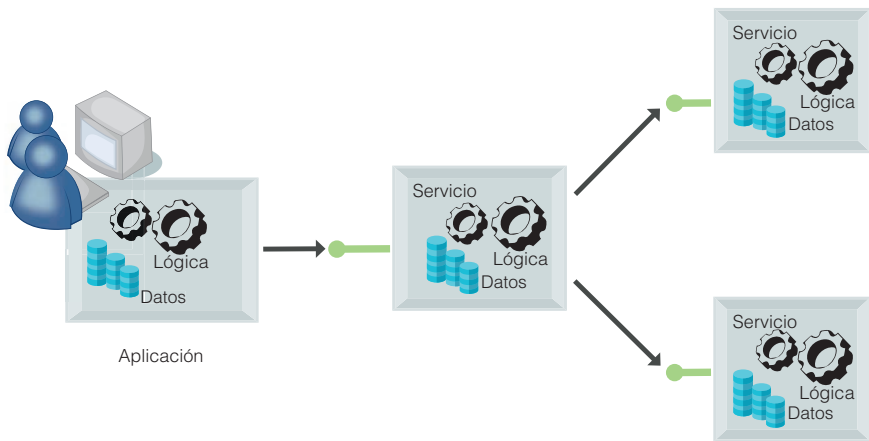


Figura 5. Un sistema que utiliza SOA para solucionar un problema de interoperabilidad.
Fuente: Microsoft, s.f.

Una arquitectura como SOA ofrece desde soluciones sencillas para permitir la interoperabilidad entre sistemas contables y académicos, por ejemplo, hasta otros más complejos que involucren diversos procesos dentro de una misma organización y la interacción con software de otros agentes externos.

Modelo conceptual de SOA

Este concepto es basado sobre un estilo de arquitectura que define el modelo de interacción en tres partes primarias:

- Proveedor de servicios, quien publica una descripción del servicio y proporciona la implementación de este.
- Consumidor de servicios, que puede utilizar el Identificador Uniforme de Recursos (URI) para la descripción del servicio directamente, o la puede encontrar en un registro.
- Corredor del servicio, que proporciona y mantiene el registro del servicio.

De otra parte, la computación Grid es una forma de computación distribuida que ofrece la capacidad de almacenamiento y procesamiento requeridas por el modelo planteado en la Figura 1, dado el volumen de datos generados por las RIS; de ahí la importancia de realizar una descripción de las principales características de este tipo de computación.

Computación Grid

La continua necesidad de realizar labores que implican grandes volúmenes de recursos computacionales, tales como procesamiento y almacenamiento de datos, ha obligado a la permanente búsqueda de alternativas tecnológicas que permitan solventar dicha necesidad. Es por ello que se han creado diferentes soluciones (Vargas, 2012). Entre las cuales se pueden mencionar: **Intranet Computing**, **Internet Computing**, **Computing Portal**.

Sin embargo, todas estas alternativas de solución presentan grandes inconvenientes, tales como costos elevados en adquisición de equipos con grandes características, poca capacidad de ancho de banda en las redes que los unían en su época, entre otros. Es por ello que se ha creado la **Grid Computing** o malla computacional, que es tal vez una de las soluciones más robustas que se conoce en la actualidad (Martínez J. C., 2005). A continuación, se describirán sus fundamentos teóricos.

Grid

“¿Solución a grandes y complejos problemas computacionales?, este interrogante será solucionado una vez se haya culminado el siguiente análisis a la base teórica de esta tecnología, el cual iniciará por el concepto de ésta” (Vargas, 2012).

Blázquez (2016) define a la Grid como “una Super-Red de dispositivos de diferente naturaleza que trabajasen juntos y de forma coordinada compartiendo sus recursos de computación y memoria” (p. 2). También, se puede indicar que en la Grid convergen recursos (computadores, equipos de comunicaciones, software, servicios) que pueden estar ubicados en diferentes espacios geográficos, los cuales prestan un servicio específico a determinadas tareas, de acuerdo con un requerimiento (Khana, Nazir, Ahmed Khana, Shamshirband, y Chronopoulos, 2017).

Es importante resaltar que, dentro de los recursos, llámese hardware o software, se encuentran los servidores, computadores, sensores, entre otros.

Pero ¿qué hace posible que estos dispositivos interactúen de manera precisa? El software (Cárdenas Montes, 2007). Dentro de este se puede mencionar a **Globus Toolkit**, el cual es considerado como el estándar de facto para esta tecnología. Dicho software permite la interrelación de forma segura y además ofrece características necesarias para el óptimo funcionamiento de todos los agentes involucrados en este proceso.

Lo anterior surge debido a la necesidad de aprovechar los recursos computacionales de las empresas que muchas veces son subutilizados y, por otro lado, también debido a que existen empresas que no tienen la capacidad tecnológica para realizar labores propias de su misión. Es por ello que, en la computación Grid, varias organizaciones o empresas participan haciendo disponibles sus recursos computacionales al formar organizaciones virtuales. Estas ofrecen a las empresas la posibilidad de realizar sus actividades de forma transparente, es decir, como si contara con la infraestructura necesaria y suficiente para ello, obviamente proporcionando los mecanismos de seguridad necesarios para proteger sus recursos (información, software, hardware). (Vargas, 2012)

Organizaciones Virtuales (Virtual Organization, VO)

Según Jiménez Castellanos (2009), las VO "Consisten en una agrupación de recursos de varios individuos y/o organizaciones distintas que colaboran para alcanzar una meta común" (p. 59). En estas se implementan políticas para permitir el funcionamiento armonioso, eficiente y eficaz de los procesos inherentes a su funcionamiento; procesos como seguridad, balanceo de carga, paralelismo, fiabilidad, administración de recursos, entre otros. Una mayor ilustración se puede observar en la Figura 6, en donde se visualiza cómo trabajan las organizaciones virtuales.

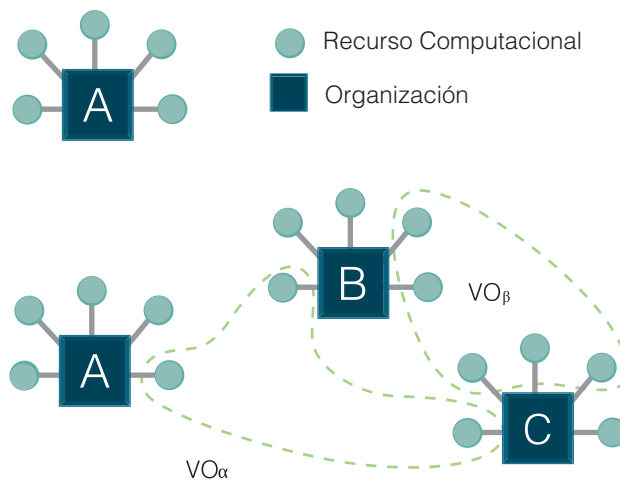


Figura 6. Organizaciones Virtuales. Fuente. Borja Sotomayor, 2004.

Esta estructura de trabajo

trae consigo problemas inherentes a su funcionamiento, algunos de ellos tales como definir qué recursos forman parte de la organización virtual y cuáles no, balanceo de carga, paralelismo saber por parte de una organización si sus recursos están siendo utilizados de manera maliciosa" (Borja, 2004, citado por Vargas, 2012, p. 44).

Estos problemas son solucionados por la computación Grid. Además, permite la gestión de todos los recursos que se comparten, tales como ancho de banda, software, equipos especiales, licencias, entre otros. Estos recursos deben ser virtualizados con la finalidad de formar una VO, como se observa en la Figura 6.

Las organizaciones proveen cierta cantidad de recursos a una VO con el fin de permitir una colaboración en la ejecución de procesos que demandan alta cantidad de recursos, entre los cuales están el procesamiento y el almacenamiento. Esto a su vez permite definir por parte de las instituciones qué recursos compartir, puesto que no necesariamente el pertenecer a una organización virtual implica que todos los recursos que poseen las instituciones vayan a ser parte de ella (Vargas, 2012).

Lo anterior se logra haciendo uso de la web, pero no se debe confundir la funcionalidad de esta, que es "un servicio para compartir información a través de Internet" (Aguilar, 2006, p. 1) y la Grid, que es "un servicio para compartir potencia de cálculo y capacidad de almacenamiento a través de la red" (Aguilar, 2006, p. 1): estos dos son los recursos más escasos en este ámbito de la ciencia.

Arquitectura de una Grid

Obviamente, como toda infraestructura eficiente y eficaz, la Grid también posee una arquitectura que permite su estructuración, organización y funcionalidad de forma clara, detallada, de fácil interpretación y gestión por parte de los involucrados en el proceso de compartir recursos computacionales (Vargas, 2012).

A continuación, se describe cada uno de los componentes propuestos por Santinelli y Andre (s.f., citado por Vargas, 2012).

- **Infraestructura.** En esta se logran encontrar recursos como computadores, clúster, servidores, sistemas de almacenamiento en red, bases de datos y todos aquellos que se encuentren dentro de dicha clasificación.

- **Conectividad.** Incluye todo aquello que tiene que ver con las comunicaciones y la seguridad, por ejemplo: protocolo TCP/IP, certificados X.509, seguridad SSL, entre otros.
- **Recurso.** Es importante contar con mecanismos para gestión del recurso, puesto que, en un instante, diferentes trabajos (**Jobs**) pueden requerir el mismo recurso; es allí donde esta capa toma importancia, controlando la información acerca de este.
- **Recursos.** Maneja la gestión de varios recursos, teniendo para ello presente información como directorio de recursos, planeación (**Scheduling**), monitorización y contabilidad.

Dicha arquitectura se observa en la Figura 7, en donde se puede visualizar la relación que tiene cada uno de estos componentes anteriormente mencionados.

El funcionamiento de la arquitectura descrita para una Grid es posible gracias al software que permite realizar todas las acciones pertinentes para redundar en un buen trabajo. Este software es conocido como *middleware*, y dentro de sus características ofrece el transporte de información del cliente al servidor y del servidor al cliente. Dicha labor era llevada a cabo de forma Ad-Hoc en los inicios de esta tecnología, pero actualmente ha cambiado gracias a la creación del estándar Arquitectura Abierta de Servicios Grid (**Open Grid Services Architecture**, OGSA).

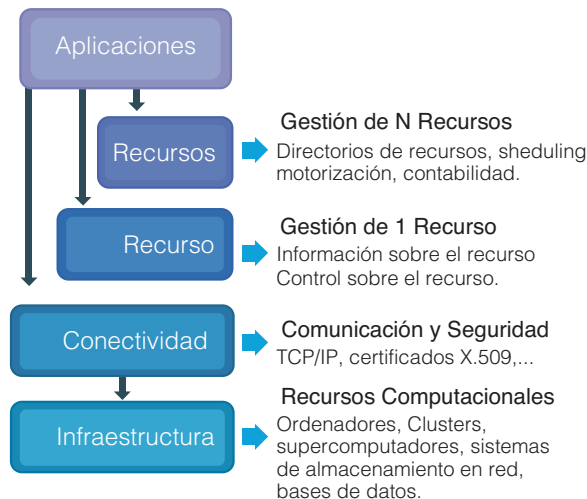


Figura 7. Un sistema que utiliza SOA para solucionar un problema de interoperabilidad.
Fuente: Microsoft, s.f.

La falencia de OGSA es que se ocupa únicamente de definir los instrumentos que necesitan los servicios individuales, por lo que surge un inconveniente al invocar estas operaciones. Por eso, se hizo uso del gran potencial que ofrecen los Web Services (Servicios Web, WS), pues estos permitieron solucionar dicho problema en cierto porcentaje, debido a que también presentaban debilidades que no permitían el funcionamiento eficiente de la OGSA. Como consecuencia de todo esto surgen los servicios Grid, que son especificados por el estándar OGSi (Open Grid Services Infrastructure, Infraestructura Abierta de Servicios Grid). En ellos se encuentran algunas implementaciones de OGSi tales como Phyton, OGSi:Lite, OGSi.Net y Globus Toolkit, entre otros (Borja Sotomayor, 2006, citado por Vargas, 2012; Vázquez Poletti, 2004).

Cabe anotar que OGSi ha sido reemplazado por un estándar más depurado como lo es el Marco de Recursos para Servicios Web (Web Services Resource Framework, WSRF). Con ello se logra el objetivo que no pudo concretar OGSi, que es el de integrar las mejoras de OGSi con los servicios web, siendo su primera implementación el Globus Toolkit 4, más conocido como GT4. (The Globus Alliance and IBM, 2008; Vázquez Poletti, 2004, citado por Vargas, 2012).

Como se ha anotado en varias oportunidades, todo esto está encaminado a compartir recursos computacionales, por lo tanto, es muy importante realizar una descripción de algunos de estos, quizá los más importantes o los más escasos en el medio. Para ello se realiza a continuación una tipificación de los mismos.

Tipos de recursos

- *Computación.* Uno de los recursos computacionales más solicitados o utilizados en la Grid es el procesamiento (Barrios, 2005). Este recurso es muy importante debido a que permite la ejecución de procesos a unas velocidades muy altas, redundando en la oportuna obtención de resultados para el aprovechamiento de estos en la toma de decisiones o en la alimentación de otros procesos de orden científico, tecnológico, entre otros. Esto es posible gracias a las diferentes características (velocidad, arquitectura, procesamiento, entre otras) ofrecidas por el agente principal que permite llevar a cabo dicha actividad, el cual es conocido como procesador. Este presenta tres formas básicas para emplearse, las cuales son expuestas en Khana, Nazir, Ahmed Khana, Shamshirband, y Chronopoulos (2017).

- Almacenamiento¹. Este tipo de recurso es el más utilizado después del procesamiento (Barrios, 2005).

Es importante debido a que es muy escaso, teniendo en cuenta el volumen de datos que se producen en la actualidad en muchas de las actividades realizadas por el hombre. Es aquí donde se encuentran los Grid de datos, que proporcionan las facilidades y características necesarias para el almacenamiento de datos en una infraestructura Grid, en la cual las máquinas que conforman las organizaciones virtuales ofrecen una gran cantidad de recursos como disco, memoria y otros dispositivos de almacenamiento permanente, todos estos empleados para el almacenamiento de datos. (Vargas, 2012, p. 49)

A continuación, se hará una descripción más detallada de OGSA.

Open Grid Services Architecture (OGSA)

Borja (2004) y Touriño (2006) definen que la organización encargada de regular las estandarizaciones manejadas en la computación Grid es el Foro Global de Grid (**Global Grid Forum**, GGF), el cual definió OGSA, que a su vez representa una evolución hacia una arquitectura de sistemas basada en conceptos y tecnologías de servicios web.

Cabe destacar que OGSA es una arquitectura basada en los estándares existentes de servicios web (XML, SOAP y WSDL) (Vázquez Poletti, 2004) y que también se utiliza para definir muchos estándares de Grid.

Objetivos de OGSA.

- Ofrecer facilidades para interacción entre recursos heterogéneos, debido a que las plataformas que posee cada una de las organizaciones que hacen parte de una Grid, utilizan recursos con características diferentes (heterogeneidad), lo cual hace un poco más compleja la interacción entre estas. Afortunadamente, la arquitectura propone dicha facilidad.

¹ Este recurso, en la presente investigación, cobra especial importancia, puesto que la labor de captura de datos realizada por los sensores requiere de un gran espacio de almacenamiento para poder ofrecer a los científicos e investigadores la posibilidad de consultar información de diferentes periodos de tiempo, y así permitir que realicen los procesos necesarios para el cumplimiento de los objetivos de sus trabajos, según en el ámbito en que se labore.

- Brindar calidad de servicio (QoS). Debido a que la topología de Grid es a menudo compleja y la interacción de sus recursos es normalmente dinámica, es importante que proporcione servicios robustos y ocultos, tales como autorización, control de acceso y delegación.
- Definir las interfaces abiertas publicadas. La OGSA es una norma abierta manejada por el cuerpo de normas de GGF. Para la interoperabilidad de diversos recursos, los **servicios Grid deben construirse en interfaces y protocolos estándares**.
- Verificar cuáles tecnologías de integración estándar existen y aprovecharlas para el buen funcionamiento de las operaciones realizadas en la Grid (Romero Luezas, 2006, citado por Vargas, 2012).

Arquitectura.

Como se puede observar en la Figura 8, OGSA está conformada por cuatro capas principales.

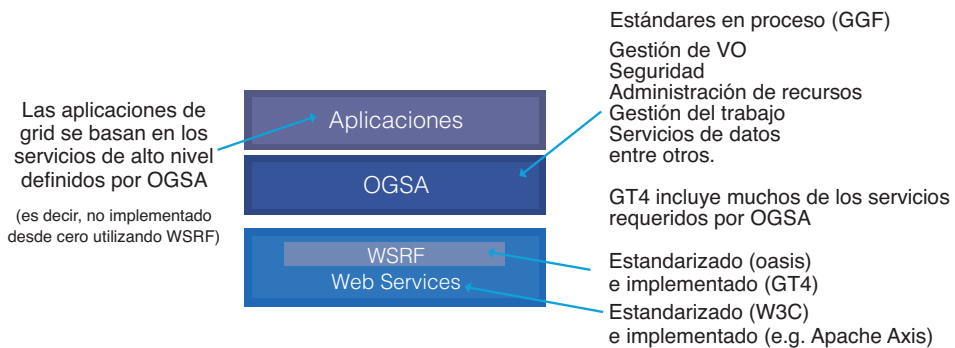


Figura 8. La arquitectura de OGSA. Fuente. Touriño, 2006

Para un mejor entendimiento de las capas de OGSA, se debe abordar cada una de ellas en forma individual, tal y como a continuación se realiza.

Capa de los recursos físicos y lógicos. Cuando se habla de recursos de la Grid, no se debe pensar solo en los procesadores, se debe tener un conocimiento mucho más amplio de todos los recursos que se pueden compartir en una Grid. Algunos de ellos son servidores, almacenamiento y red, en lo que refiere a la parte física. Sobre estos últimos se encuentran los recursos lógicos, los cuales proporcionan una función adicional, virtualizando y agregando los recursos en la capa física. El propósito general del software intermedio, como los sistemas de archivos, los gestores de bases de datos y los gestores de flujos de trabajo, es proporcionar estos servicios abstractos sobre la Grid física.

Capa de servicios web. En esta se debe tener en cuenta un principio muy importante de OGSA, el cual es que todos los recursos de la Grid son lógicos o físicos, y son modelados como servicios. Es por ello que la especificación abierta de infraestructura de servicios Grid (OGSI-WSFR) define servicios Grid y los construye sobre las tecnologías estándar. Además, aprovecha los mecanismos de servicios web como XML y WSDL para especificar interfaces, conductas e interacción para todos los recursos de la Grid (Foster, Kesselman, y Tuecke, 2001; Touriño, 2006).

Capa de servicios de Grid. La capa de servicios web, con sus extensiones de WSRF, provee una infraestructura base a la próxima capa de arquitectura de servicios Grid. El **Global Grid Forum** define muchos de estos servicios de Grid de arquitectura, en áreas como ejecución de programas, servicios de datos y servicios centrales (Foster, Kesselman, y Tuecke, 2001; Touriño, 2006).

Capa de Aplicaciones de Grid. A medida que se desarrollen servicios de arquitectura de Grid, las nuevas aplicaciones de la Grid, que utilicen uno o más servicios de esta arquitectura, aparecerán. Dichas aplicaciones se conocen como capa principal de la arquitectura de OGSA (Foster, Kesselman, y Tuecke, 2001).

Los conceptos tratados proveen los fundamentos para abordar la arquitectura y el funcionamiento de los estándares propuestos por el OGC a través del **Sensor Web Enablement** (SWE), los cuales se describen en el siguiente capítulo. En el mismo se realiza una comparación entre las especificaciones propuestas por el SWE, las cuales son el referente de la propuesta de integración de una red inalámbrica de sensores como un recurso Grid.





**APORTES
DEL SENSOR
WEB ENABLEMENT**



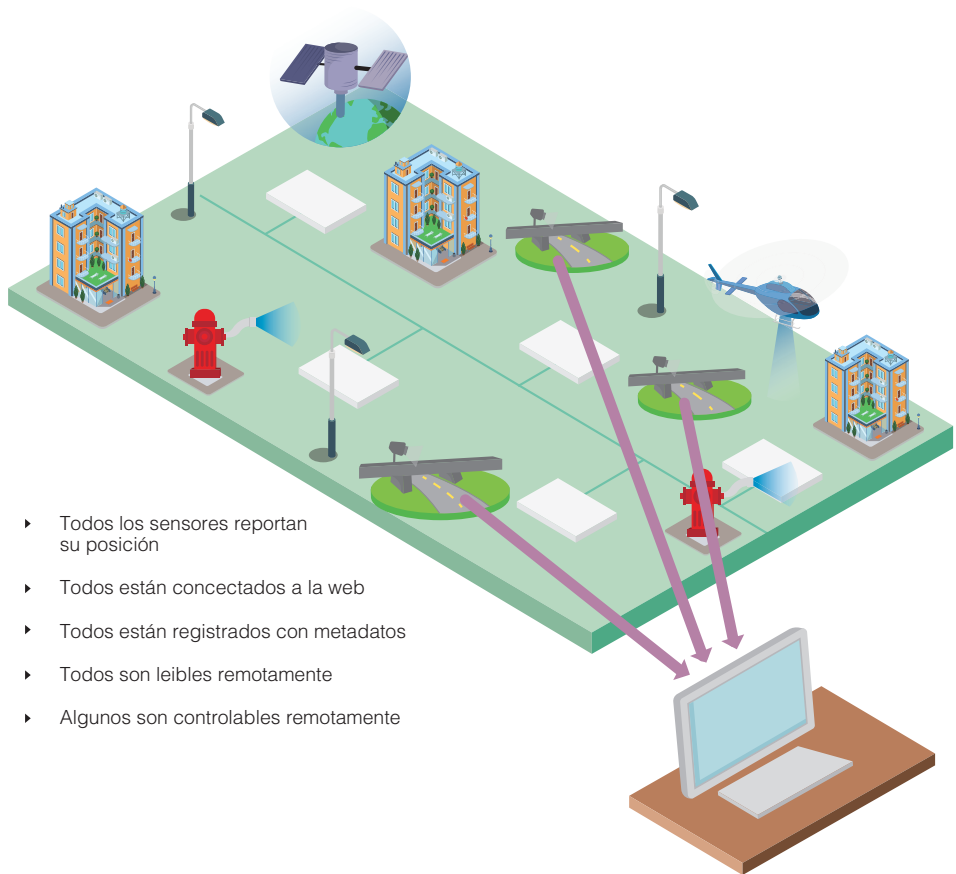
Especificaciones planteadas por el OGC a través del SWE

EL OGC, por medio de los estándares del Sensor Web Enablement (SWE), promueve a los desarrolladores para que usen los repositorios de datos generados por los sensores, accesibles vía web. Se toman como referente los estándares del SWE, dado que se convirtió en un estándar de facto, con lo cual se garantiza que el modelo que se propone en el capítulo 3, está fundamentado en las mejores prácticas de esta área del conocimiento.

El Open Geospatial Consortium (OGC)

fue fundado en 1994 para hacer de la información geográfica una parte integral de la infraestructura mundial de información. Los miembros del OGC (usuarios y proveedores de tecnología) desarrollan de forma colaborativa estándares de interfaz y los estándares asociados, así como buenas prácticas, que permiten a los desarrolladores crear sistemas de información que pueden fácilmente intercambiar información geográfica e instrucciones con otros sistemas de información. Los requisitos varían desde planificaciones complejas y control de satélites de observación terrestre a la visualización de sencillas imágenes cartográficas en la web, así como la codificación de la localización en apenas unos pocos bytes para geoetiquetado y mensajería. (Open Geospatial Consortium, 2014, par. 1).

Sensor Web Enablement busca a través de internet ofrecer un conjunto de servicios para tratamiento, manejo y acceso a información geográfica, recolectada a través de sensores distribuidos a nivel mundial, con el fin de tomar decisiones en diferentes áreas relacionadas con el clima, meteorología, entre otros. Esta dinámica se puede observar en la Figura 9.



- ▶ Todos los sensores reportan su posición
- ▶ Todos están conectados a la web
- ▶ Todos están registrados con metadatos
- ▶ Todos son leíbles remotamente
- ▶ Algunos son controlables remotamente

Figura 9. Sensor Web Enablement. Fuente: Iniesto Alba y Carballo Cruz, 2004.

Como se puede observar en la Figura 9, en la SWE convergen diferentes fuentes de generación de datos que buscan la implementación de mecanismos que permitan tener acceso a ellos, con el objeto de procesarlos y obtener información y conocimiento, para de esta manera predecir situaciones que puedan impactar tanto a la comunidad como al medio ambiente. Por ejemplo, el monitoreo de inundaciones, el monitoreo ambiental, la evaluación de riesgos, entre otros (Open Geospatial Consortium, 2014).

Para que esto sea posible, el SWE ha propuesto la creación de servicios web, los cuales buscan garantizar la interoperabilidad de los diferentes dispositivos y tecnologías. Así mismo, por medio de la propuesta de estándares propios y el uso de estándares propuestos por otros organismos de estandarización, se busca habilitar completamente las redes de sensores para el tratamiento de la información censada vía web.

Partiendo de la propuesta expuesta en Sensor Web Enablement Architecture Document, la cual se puede observar en la Figura 10, se analizaron los principales componentes e interacciones desde una visión general de la arquitectura (Botts, Robin, Davidson y Simonis, 2006).

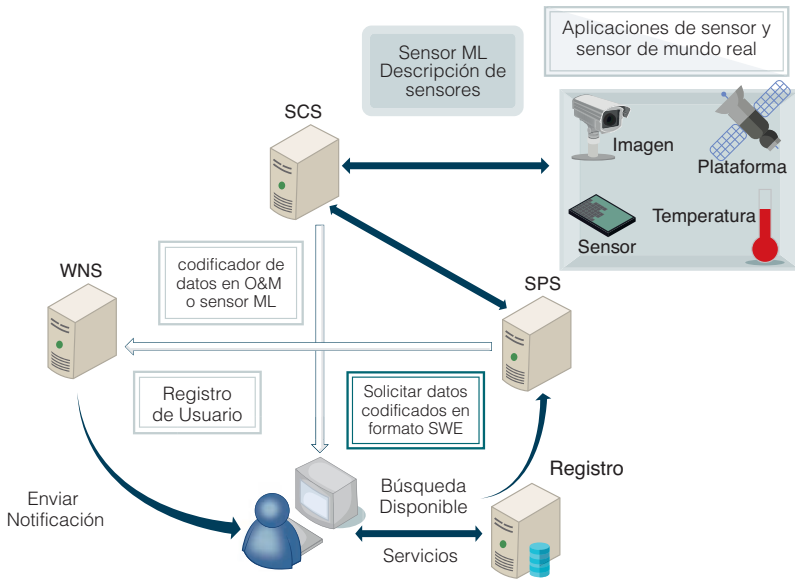


Figura 10. Una colaboración típica dentro de un Sensor Web Enablement Framework.
Fuente: Botts, Robin, Davidson y Simonis, 2006.

El objetivo principal de la investigación que genera el presente libro, consiste en proponer un modelo que permita convertir la RIS en un recurso Grid, para lo cual se tomaron como referentes las especificaciones planteadas en el SWE (como se observa en la Figura 10) y se describen a continuación:

- Observaciones y Medidas (O&M): Define la descripción general de las características que deben tener las mediciones que se ingresarán a la base de datos (recurso de persistencia dentro de la Grid).
- Servicio de Colección de Sensores (SCS): Usado para buscar las observaciones que se quieren consultar, y como un mecanismo para la comunicación entre el usuario final y el sistema donde se encuentran almacenadas las observaciones.

- Servicio de Planificación de Sensores (SPS): Proporciona los mecanismos que permiten acceder a la información censada, con el fin de dar respuesta a las peticiones del usuario, previa validación de la misma.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se presenta a continuación el modelo propuesto, el cual se describirá de forma general, enfatizando en los aportes y ajustes que propone con respecto al planteado por el SWE

Modelo de integración de una RIS como un recurso Grid

Una Red Inalámbrica de Sensores - RIS (*Wireless Sensor Network* - WSN) puede considerarse como un conjunto de nodos (sensores) distribuidos geográficamente alrededor de un fenómeno que desee monitorearse, por lo cual se requiere una capacidad de cómputo y almacenamiento mínimos, y el envío de información se realiza a través de redes inalámbricas (Escolar, s.f.).

Uno de los componentes principales de una RIS es el SYNK, que es un nodo sumidero y/o **Gateway**, a donde todos los nodos sensores envían la información recolectada. Del SYNK posteriormente se pueden extraer los datos de la RIS, mediante archivos planos o mediante conexiones directas con otras redes, donde se realizará el procesamiento y el almacenamiento final de los datos. En una red típica de sensores, cada nodo del sensor funciona libremente y tiene un microprocesador y una cantidad pequeña de memoria para el proceso de señal, para así programar una tarea específica. Cada nodo del sensor se comunica inalámbricamente con algunos otros nodos locales dentro de su gama de la radiocomunicación (Guibas, 2004, citado en Báez, Vargas y Ochoa, 2014).

Las redes inalámbricas de sensores pueden llegar a generar miles de datos, los cuales requieren ser almacenados y procesados con el fin de generar información que apoye la toma de decisiones.

Por otra parte, y como ya se expuso en el capítulo anterior, la computación Grid tiene como uno de sus pilares el compartir la capacidad de cómputo, las bases de datos y otras herramientas, de forma segura (Globus consortium, n.a), buscando aprovechar la disponibilidad de recursos heterogéneos de la capacidad instalada que se encuentra en las organizaciones, y aprovechando este potencial para resolver problemas que demandan gran capacidad de procesamiento y almacenamiento (Allcock y Foster, s.f.; Wolfgang, s.f.; Edinburgh, 2005-2008, citado en Báez, Vargas y Ochoa, 2014).

El modelo propone la integración de una RIS como un recurso computacional de una Grid, mientras se tiene como punto de unión el SYNK o sumidero de los datos. El objetivo es lograr un tratamiento adecuado para los datos captados por dicha red y con ello ofrecer los mecanismos de recuperación y tratamiento de la información recolectada. De esa forma se optimizan los procesos que requieren de dicha información en diferentes áreas de aplicación (Báez Pérez, Vargas Bermúdez y Ochoa Echeverría, 2014).

Arquitectura general del modelo propuesto

El modelo se plantea para realizar la integración de la Red Inalámbrica de Sensores con el ambiente Grid. Este se basa en el uso de un **Gateway**, el cual debe tener configurada la interfaz que permite la recolección de los datos generados por la RIS para ser transportados a la Grid.

La Figura 11 presenta el modelo teórico general propuesto. Este modelo plantea el diseño de la interfaz entre estos dos ambientes y dos servicios Grid: uno para el mapeo de los datos tomados desde el **Gateway** y su transporte al medio de persistencia, y otro para permitir el manejo de las solicitudes de los datos que realicen los usuarios a través de un portal Grid.

Previamente al proceso de mapeo se realiza lo siguiente:

- Captura de datos por parte de los nodos sensores. Como se indica en el Capítulo 1, cada nodo cuenta con un mecanismo (sensor) para captar los datos del fenómeno a monitorear y también realiza un preprocesamiento de dicha información con el fin de seleccionar los datos adecuados para enviar al **Gateway**.
- Transmisión de los datos desde el nodo sensor hasta el **Gateway**. El nodo que captura la información retransmite al nodo más cercano, para lo cual emplea los protocolos de enrutamiento que se han implementado en la red inalámbrica de sensores, con el objeto de seleccionar la mejor ruta para llegar al **Gateway** y con ello optimizar el ahorro de energía en el proceso de transmisión y ampliar la vida útil de la red. En este proceso cada nodo actúa como un nodo de retransmisión de información.

El proceso de mapeo de los datos tomados desde el **Gateway** y su transporte al medio de persistencia se realiza de la siguiente manera:

- Dadas las limitantes de espacio que hay en el **Gateway**, se sugiere crear un archivo plano con la estructura requerida (por ejemplo, identificador del sensor, fecha y hora de la lectura, valor de la lectura), de acuerdo con las características de la variable censada.
- Este archivo de texto será recorrido fila a fila y cada una de estas será almacenada en una base de datos relacional centralizada que se encuentra en ambiente Grid, a la cual se puede acceder a través del componente de persistencia que emplee el **middleware** seleccionado. Dicho proceso será realizado por un servicio Grid de persistencia, efectuando las respectivas validaciones. Este servicio se debe programar para ejecutarse de manera automática de acuerdo con el volumen de datos que genere la red inalámbrica de sensores.
- A partir de ese momento los datos podrán ser consumidos por el servicio de manejo de solicitudes, el cual permite que cuando el cliente se conecte al sistema Grid por medio de un portal, se validen las credenciales y la solicitud de ingreso de este. Una vez el cliente esté dentro del sistema Grid, podrá ejecutar las operaciones que, de acuerdo con su perfil de usuario, tiene autorizadas.

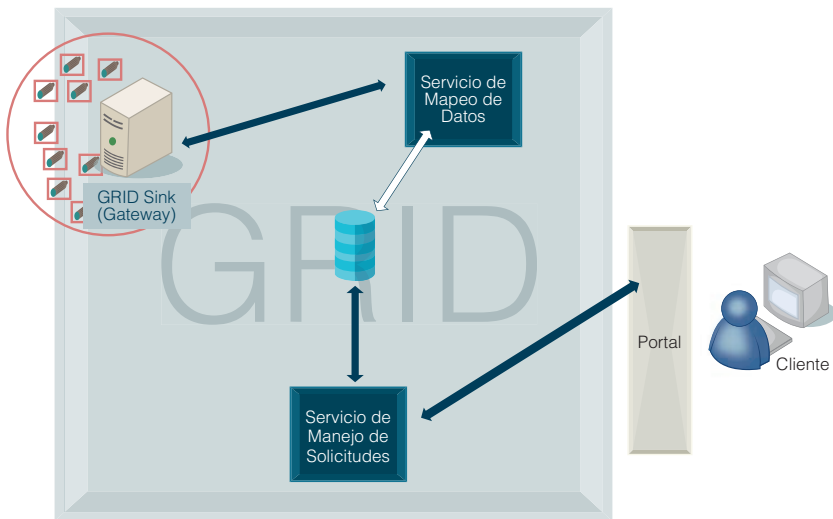


Figura 11. Modelo teórico para la integración de una RIS con un ambiente Grid.
Fuente: Los Autores

Comparación entre lo propuesto por el SWE y el modelo planteado

Partiendo de las especificaciones del SWE y del modelo propuesto, a continuación se presenta un comparativo entre los dos, con el fin de resaltar la propuesta realizada.

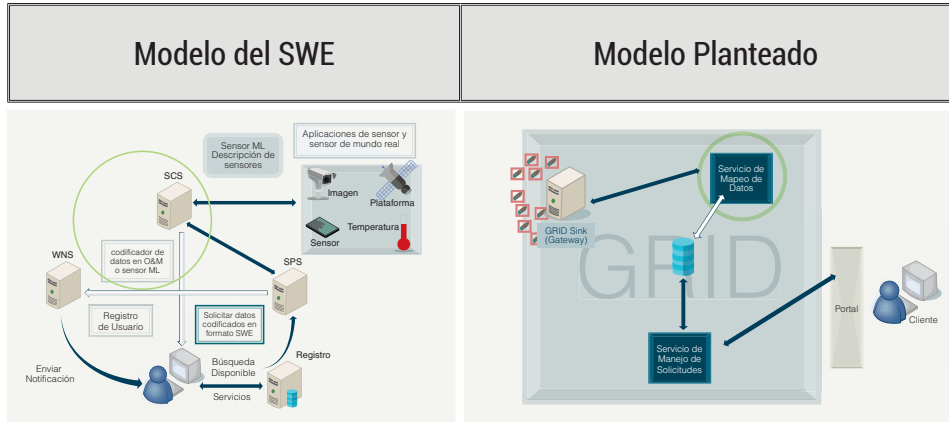


Figura 12. Comparativo de especificaciones O&M y SCS del SWE con el servicio Grid de persistencia propuesta. Fuente. Basados en Figuras 10 y 11.

Como se puede observar en la parte derecha de la Figura 12, en el círculo color verde está el servicio de persistencia del modelo propuesto, el cual toma como referentes las especificaciones de O&M y de SCS. Esta propuesta se realiza teniendo en cuenta que las funcionalidades descritas por el SWE en estas especificaciones, se integran para ser implementadas en el servicio Grid de persistencia.

Partiendo de la descripción de la especificación O&M, el servicio Grid de persistencia propuesto implementa los mecanismos necesarios para validar y dar formato a los datos, con el objeto de almacenarlos en el recurso de persistencia en Grid. Por otra parte, las especificaciones del servicio de colección de sensores deben ser implementadas por este mismo servicio, puesto que es necesario realizar las respectivas consultas en el SYNK para filtrar los datos que se requieren ser transportados a la Grid.

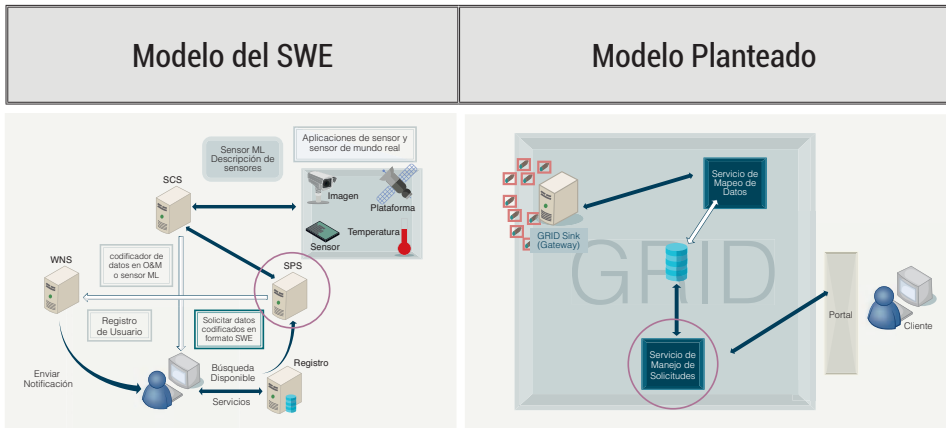
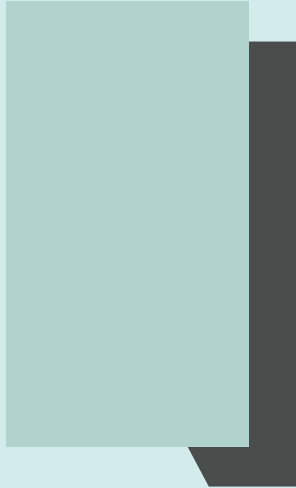
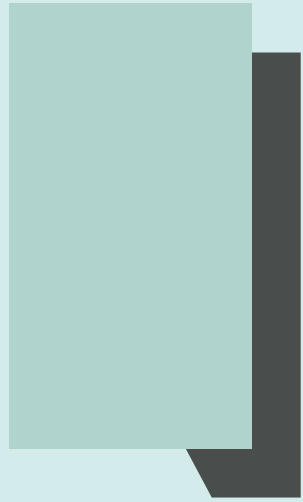
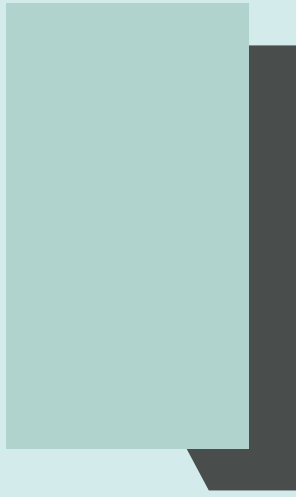


Figura 13. Comparativo especificaciones SPS del SWE con el Servicio Grid de manejo de solicitudes. Fuente. Basados en Figuras 10 y 11.

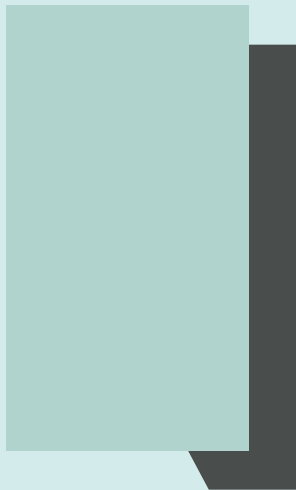
Como se puede observar en la parte derecha de la Figura 13, en el círculo color rojo aparece el servicio de manejo de solicitudes del modelo propuesto, que toma como referente el SPS, así como se observa en la parte izquierda de la misma figura, también en el círculo de color rojo.

Esta propuesta se realiza teniendo en cuenta que las funcionalidades descritas por el SWE en esta especificación, se integran para ser implementadas en el servicio Grid de manejo de solicitudes, con el objeto de brindar a los usuarios los mecanismos que permitan conocer los datos requeridos, de acuerdo con sus necesidades de información.





**ARQUITECTURA
DE UN MODELO
DE INTEGRACIÓN
DE UNA RIS A
UN AMBIENTE
GRID**



Este capítulo se centra en el desarrollo de la vista lógica de la arquitectura. Se incluyen los aspectos fundamentales y se detallan aquellos que se consideran relevantes para el entendimiento y el detalle de esta².

Modelo de procesos del negocio

A continuación, en la Figura 14 se ilustra el modelo de proceso del negocio, con el cual se busca dar una visión general de sus principales componentes.

La propuesta es crear un servicio Grid que se encargue de leer los datos censados (almacenados en el Gateway), con el fin de validarlos de acuerdo con unos parámetros previamente establecidos, para que puedan ser insertados en el medio de persistencia seleccionado (puede ser un archivo plano, una base de datos o cualquier medio que permita su almacenamiento para el posterior tratamiento).

Teniendo en cuenta que el sistema de persistencia puede estar distribuido, se deben implementar los mecanismos necesarios dentro del servicio Grid, para garantizar su adecuada inserción y posterior acceso a los mismos; esto dependerá del middleware sobre el cual esté implementado y del sistema de persistencia seleccionado.

Después de almacenar los datos en el sistema de persistencia, se ejecutará un segundo servicio Grid, el cual tendrá implementadas las operaciones necesarias de acuerdo con el tratamiento que se le quiera dar a los datos almacenados. Esto depende del propósito específico del sistema implementado.

² Los diagramas presentados ya fueron publicados en la Revista I3+ Volumen No. 2, marzo – agosto de 2014.

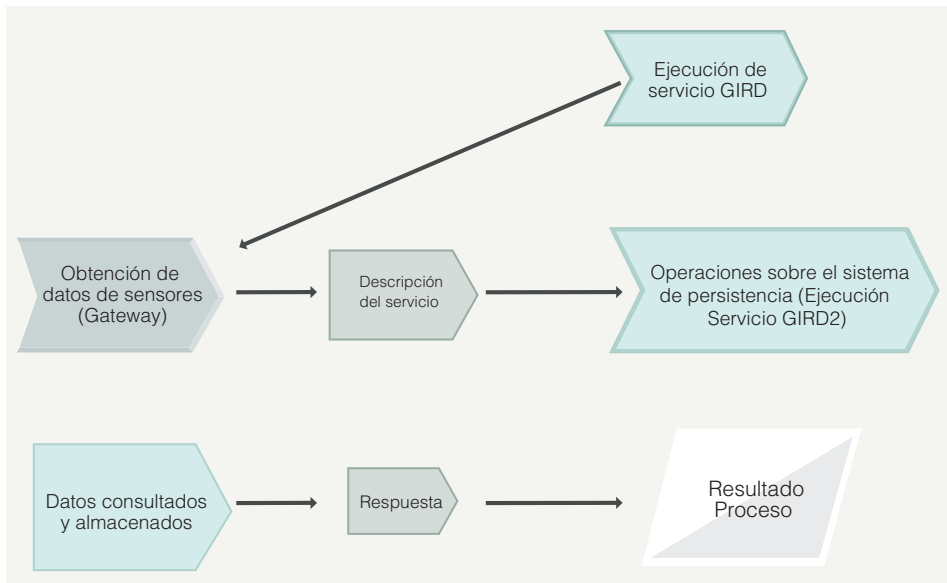


Figura 14. Modelo de proceso del negocio. Fuente. Los Autores.

Límite del sistema

Una vez identificado el modelo general del proceso de negocio, se empieza con el detalle del sistema y se desarrollan los modelos de caso de uso, que permiten un entendimiento más detallado del mismo, esto con el fin de identificar los requisitos (Avella Ibáñez, Gómez Estupiñán, Caro Pineda, 2011).

El primer modelo es el límite del sistema, el cual se presenta en la Figura 15. Allí se describe la forma como el servicio Grid de gestión de información de la RIS interactúa: primero con el **Gateway** para obtener los datos colectados de la RIS, y después con el sistema de persistencia donde se almacenan los datos dentro del ambiente Grid para ser consultados por el usuario.

Teniendo en cuenta que es un sistema genérico, se identifican tres actores principales: el **Gateway**, el cual se encarga de coleccionar los datos generados en cada sensor y mantenerlos almacenados temporalmente, mientras el servicio Grid de gestión de información de RIS los captura; el sistema de persistencia, que es el mecanismo en el cual se almacenan los datos de manera permanente; y el usuario, que es la entidad que interactúa con el sistema dependiendo del rol asignado.

A continuación, se realiza una descripción más detallada del caso de uso, presentando las principales funcionalidades del servicio Grid. Esto se puede observar en la Figura 16.

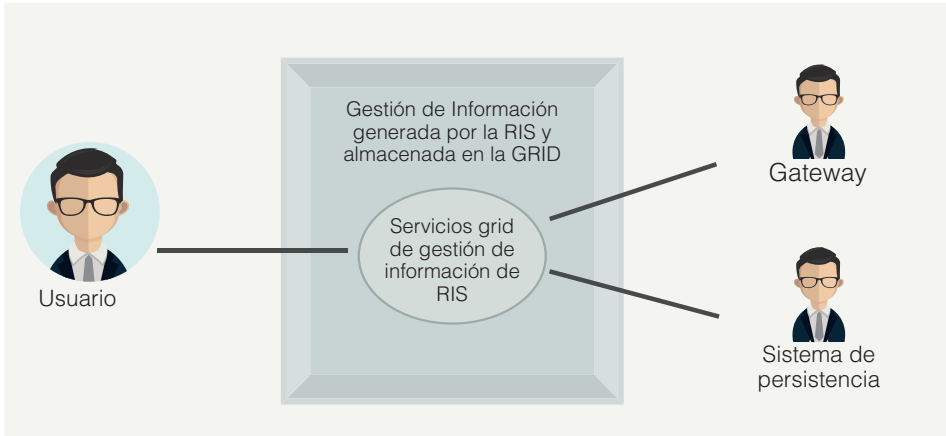


Figura 15. Límite del sistema propuesto. Fuente. Los Autores.

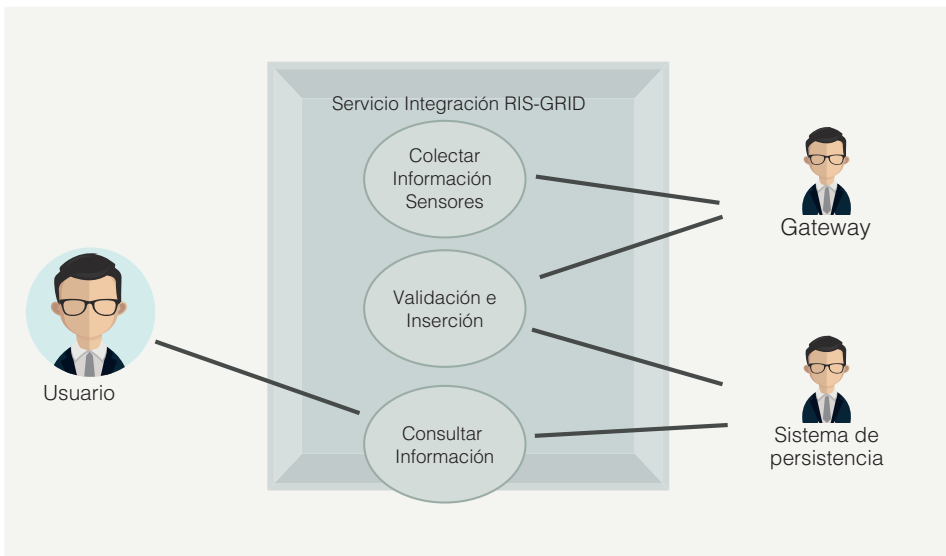


Figura 16. Límite del sistema del servicio de integración RIS-GRID. Fuente. Los Autores.

El servicio de integración deberá implementar una funcionalidad que permita coleccionar la información de los sensores, almacenada en el **Gateway** de la Red Inalámbrica de Sensores; tan pronto se recolectan los datos censados, se deberá realizar un proceso que ejecute la validación de estos (validación sintáctica), con el fin de enviarlos al sistema de persistencia. Una vez se encuentren almacenados los datos, de acuerdo con la finalidad del sistema, se implementará la funcionalidad que permita la consulta de dicha información.

A través de la representación de modelos, tales como casos de uso, implementación, despliegue, entre otros (Báez Pérez y Suárez Zarabanda, 2013), se realizará la descripción de los procesos requeridos.

Casos de uso general

La Figura 17 presenta los módulos principales que se deberán implementar para el desarrollo del sistema. Primero se presenta “Colectar información de sensores”, el cual adquiere los datos censados por la RIS, que han sido almacenados en el **Gateway**, para luego validarlos de acuerdo con el formato preestablecido, teniendo en cuenta el propósito para el cual serán tratados. Una vez validados los datos, se insertarán en el sistema de persistencia seleccionado. Finalmente, los datos almacenados en el sistema de persistencia estarán disponibles para ser consultados. El proceso de coleccionar la información es el encargado de pasar los datos mediante un servicio Grid al ambiente Grid.

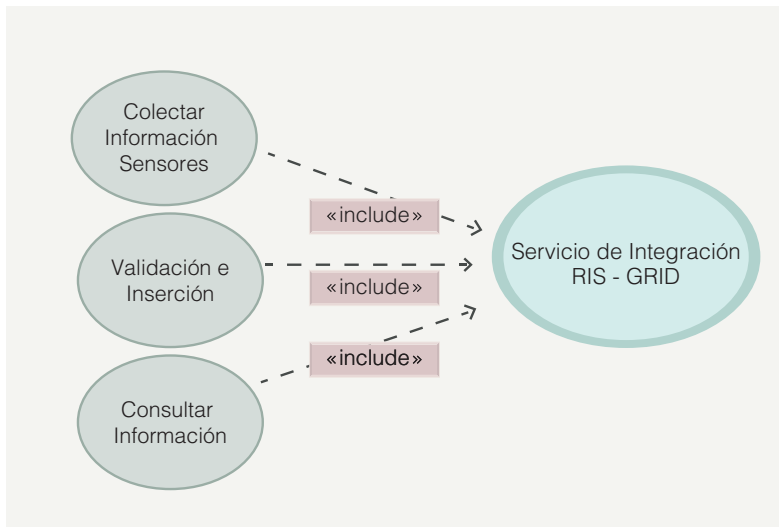


Figura 17. Diagrama de casos de uso general. Fuente. Los Autores.

Con el fin de lograr un mejor entendimiento del proceso, a continuación, se detalla el caso de uso, en la Tabla 1.

Tabla 1

Descripción del caso de uso general

Caso de uso	General	Identificador	CU_1
Propósito	Permite la captura de los datos almacenados en el <i>Gateway</i> , y la validación e inserción de estos en el sistema de persistencia.		
Curso Típico de Eventos			
Precondiciones Datos almacenados en el <i>Gateway</i> . Sistema de persistencia configurado.			
Poscondiciones Mensaje de proceso realizado correctamente.			
Usuario 1. El servicio de integración RIS-Grid se ejecuta periódicamente, según parametrización establecida.	Solución 2. El servicio consulta los datos almacenados en el <i>Gateway</i> . 3. El servicio valida los datos. 4. El servicio inserta los datos en el sistema de persistencia. 5. El sistema de persistencia retorna un mensaje de ingreso de los datos al servicio.		

Diagrama de secuencia

Mediante el diagrama de secuencia (el cual muestra una interacción, busca representar la secuencia lógica del proceso y dar una visión sobre la forma en que el sistema se ejecuta) se amplía la descripción de la funcionalidad del servicio Grid. La Figura 18 presenta el diagrama general, que permite tener una visión sobre la ejecución del proceso.

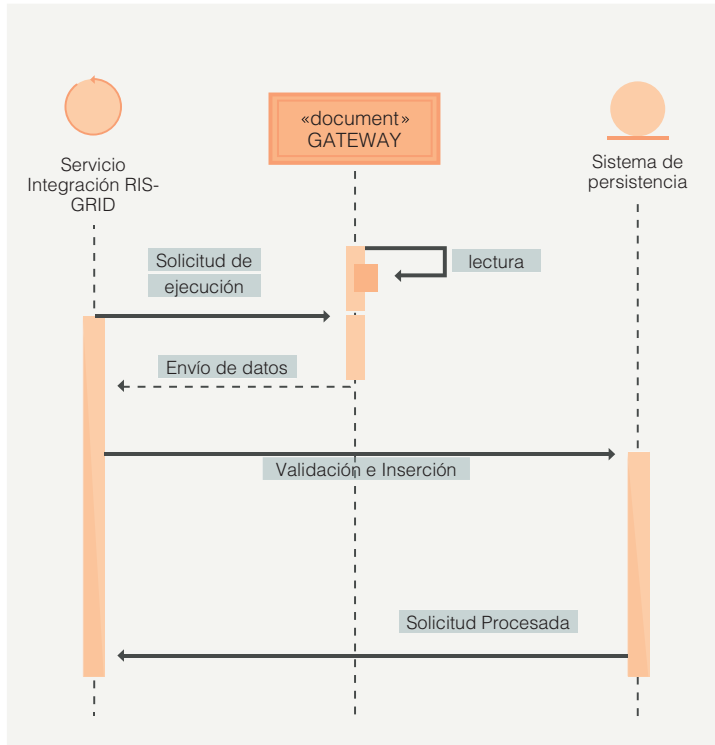


Figura 18. Diagrama de secuencia general. Fuente. Los Autores.

El servicio de integración realiza la solicitud de ejecución recibida en el **Gateway**, y se encarga de leer los datos para que sean enviados al servicio Grid. Una vez se reciben los datos, el servicio se encarga de validarlos de acuerdo con los formatos preestablecidos; luego se envían para ser insertados en el sistema de persistencia. Una vez son insertados, el servicio Grid recibe un mensaje de solicitud procesada y allí se termina la ejecución del servicio. Es importante aclarar que el servicio Grid se ejecuta de acuerdo con la parametrización establecida cuando se configura el sistema.

Diagrama de actividades

Las funcionalidades descritas de manera general en el caso de uso se detallan a través del diagrama de actividades. En este diagrama (Figura 19) se presenta la secuencia lógica que se debe seguir para ejecutar el servicio Grid, así como las acciones que se deben realizar en caso de no cumplir con las condiciones mínimas necesarias para la ejecución del servicio.

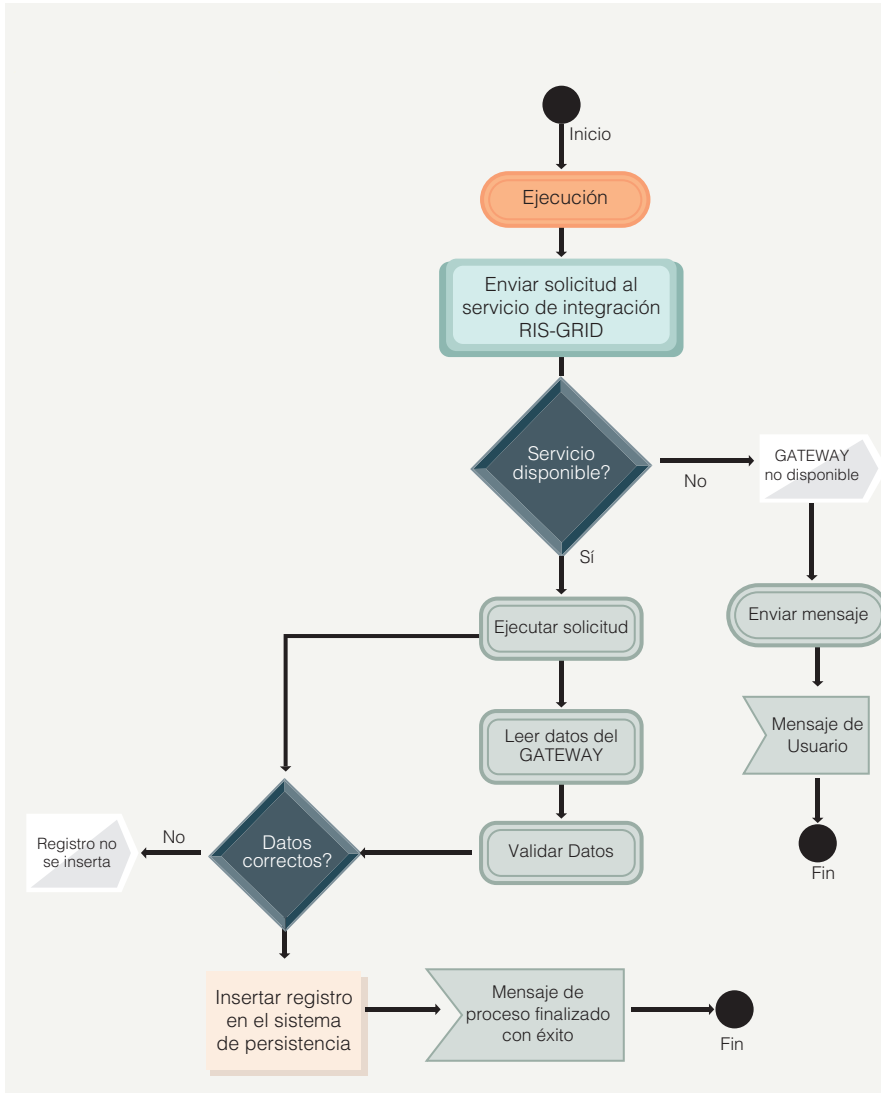


Figura 19. Diagrama de actividades. Fuente. Los Autores.

Una vez se inicia la ejecución del servicio Grid para la recuperación de datos del **Gateway** y posterior almacenamiento en el sistema de persistencia, se deben tener en cuenta las siguientes condiciones: validar que el servicio esté disponible para poder ejecutar la solicitud y que la solicitud lee los datos del **Gateway**, para lo cual se debe implementar un procedimiento que realice un barrido fila a fila del archivo plano en el cual están guardados los datos. A medida que se van leyendo los datos, también se van validando de acuerdo con el esquema definido, para verificar si son correctos o no, y realizar su inserción en el sistema de persistencia. Los datos que no corresponden al formato definido por el sistema de persistencia son desechados. En caso de que el **Gateway** no esté disponible, el sistema envía un mensaje al usuario informando sobre dicha novedad.

Luego de presentar el funcionamiento general del modelo propuesto, se procede a detallar cada uno de los casos de uso que conforman el sistema.

Caso de uso “Colectar información”

Primero se describe el caso de uso “Colectar información de sensores”, el cual se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2

Caso de uso Colectar información de sensores

Caso de uso	Colectar información de sensores	Identificador	CU_1.1
Propósito	Permite la lectura de los datos almacenados en el Gateway.		
Curso Típico de Eventos			
Precondiciones	Ubicación del Gateway. Datos almacenados en el Gateway.		
Poscondiciones	Encontrar el Gateway. Datos capturados.		

Usuario	Solución
1. El servicio de integración RIS-Grid se ejecuta periódicamente según parametrización establecida.	2. El servicio busca la ubicación del <i>Gateway</i> . 3. El servicio verifica que existen datos almacenados en el <i>Gateway</i> . 4. El servicio consulta los datos almacenados en el <i>Gateway</i> .

Es necesario tener en cuenta que, de acuerdo con el objetivo final del sistema que se vaya a implementar, se deben identificar los parámetros que optimizan el tiempo de colección de los datos, con el objeto de garantizar un mayor tiempo de vida útil del sensor. También, se debe perfeccionar la ruta que conecta cada sensor con el **Gateway**, con el objeto de hacer más eficiente y eficaz el proceso de enrutamiento, actividad que debe ser realizada por el administrador de la red de sensores.

Caso de uso "Validación e inserción"

Ahora se describe el caso de uso "Validación e inserción", el cual se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Descripción del caso de uso Validación e inserción

Caso de uso	Validación e inserción	Identificador	CU_1.2
Propósito	Permite verificar la integridad de los datos leídos		
Curso Típico de Eventos			
Precondiciones	Datos capturados.		
Poscondiciones	Datos validados.		

Usuario	Solución
1. El servicio de integración RIS-Grid valida la integridad de los datos y los inserta en el sistema de persistencia.	2. Lectura del archivo. 3. Verifica que los datos están en el formato adecuado. 4. Verifica que los datos están completos. 5. Los datos incompletos son desechados. 6. Los datos completos pasan al siguiente proceso. 7. Búsqueda y ubicación del sistema de persistencia. 8. Inserción de los datos en el sistema de persistencia. 9. Envío mensaje de inserción correcta.

Para ser presentados al usuario final, los datos deben ser claros y consistentes con los parámetros a monitorear. Por ello se debe definir un formato acorde y verificar su integridad y consistencia antes de ser almacenados en el sistema de persistencia.

Caso de uso “Consultar información”

Ahora se describe el caso de uso “Consultar información”, el cual se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4

Descripción del caso de uso Consultar información.

Caso de uso	Consultar información	Identificador	CU_1.3
Propósito	Permite verificar la integridad de los datos leídos		
Curso Típico de Eventos			
Precondiciones	Datos almacenados en el sistema de persistencia.		
Poscondiciones	Resultados a las consultas realizadas.		

Usuario	Solución
1. El servicio de consulta recibe solicitudes y regresa respuesta.	2. El usuario realiza las solicitudes de información. 3. El servicio procesa las solicitudes. 4. El servicio accede al sistema de persistencia. 5. Se extrae la información solicitada. 6. Se organiza la información en formatos legibles por el usuario. 7. Se retornan las respuestas al usuario.

Los datos almacenados en el sistema de persistencia serán útiles en la medida en que el usuario los analice y explote para la toma de decisiones en la situación problema que esté abordando. De esta manera logrará un uso efectivo de los mismos.

Diagrama de secuencia "Consultar información"

Con el propósito de describir el intercambio de mensajes y presentar un detalle de la secuencia necesaria a seguir para implementar el sistema, se presentan los diagramas de secuencia de cada caso de uso a continuación:
 En la Figura 20 se presenta el diagrama de Colectar información de sensores.

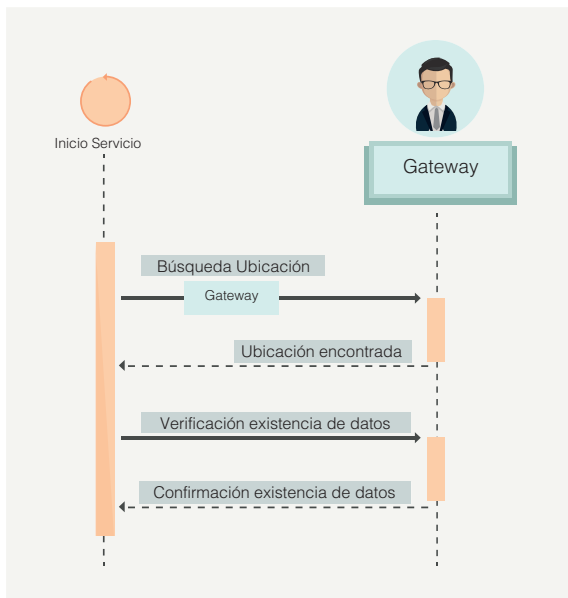


Figura 20. Diagrama de secuencia Colectar información de sensores. Fuente. Los Autores.

Una de las actividades que inicia el desarrollo del proceso es coleccionar la información emitida por los sensores, la cual se encuentra almacenada en el **Gateway** en un archivo plano. La primera tarea que debe realizar el servicio Grid es identificar la ubicación del **Gateway**; luego el servicio Grid recibe la ubicación del **Gateway** y procede a verificar si existen datos en el mecanismo de almacenamiento. Si estos existen, se envía un mensaje indicando la existencia, y si no existen se envía un mensaje al usuario, indicando dicha novedad. Si la ubicación del **Gateway** no es encontrada, se procede a enviar un mensaje indicando la novedad.

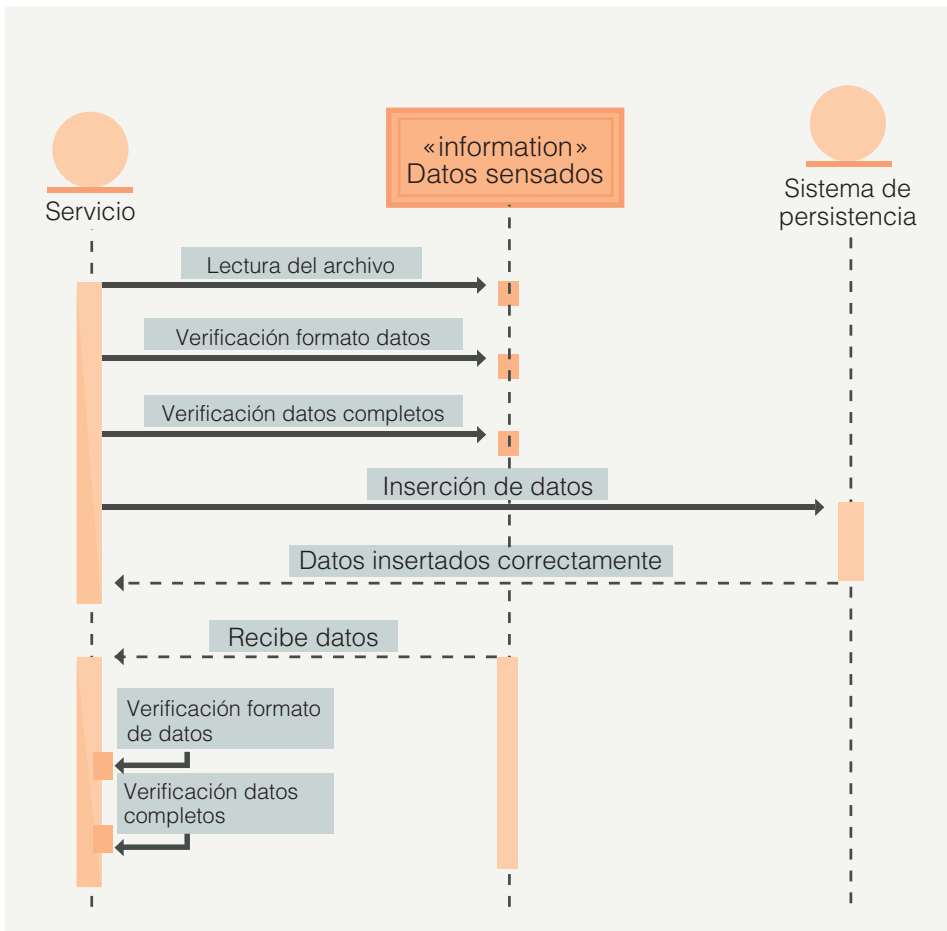


Figura 21. Diagrama de secuencia Validación e Inserción. Fuente. Los Autores.

El servicio Grid lee el archivo plano almacenado en el **Gateway** y verifica que el formato y los datos sean los adecuados. Luego procede a realizar la inserción de estos en el sistema de persistencia. Lo anterior se ejecuta hasta que se procesen todos los datos del archivo plano.

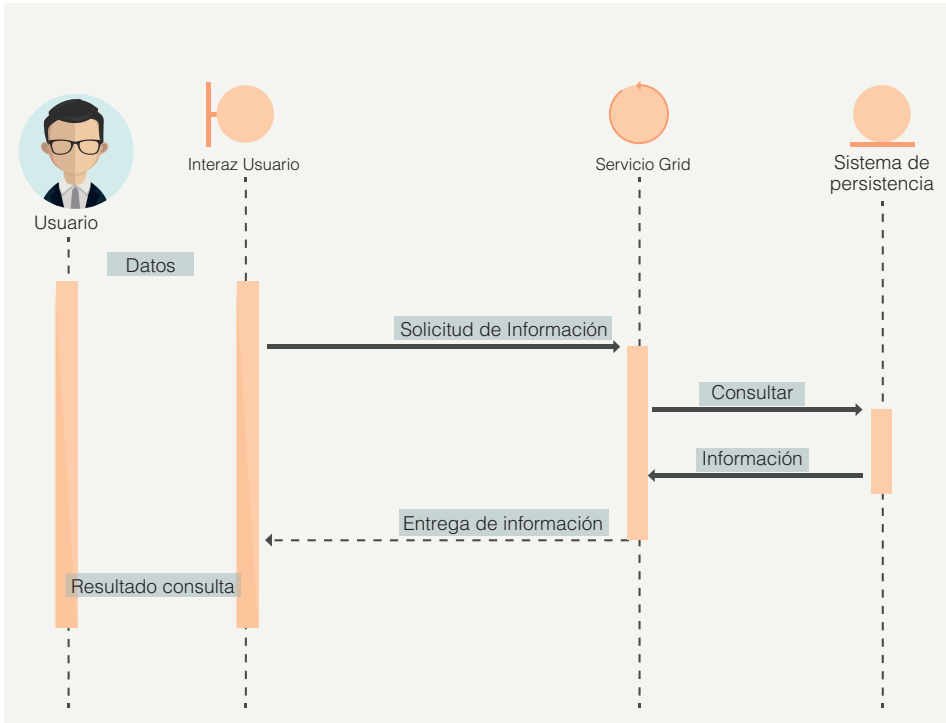


Figura 22. Diagrama de secuencia Consulta de información. Fuente. Los Autores.

A través del portal, el usuario ingresa los parámetros de búsqueda y el servicio Grid, basado en estos, realiza la consulta en el sistema de persistencia y ejecuta la entrega de los resultados al usuario.

Diagramas de actividades

Para continuar con el esquema del sistema, se diseñan los diagramas de actividades, en los cuales se muestran de forma más detallada los principales procesos y se especifica la secuencia lógica y las validaciones que deben implementarse para entender el funcionamiento minucioso del sistema.

En la Figura 23 se presenta el diagrama de actividades “Colectar información de los sensores”, que inicia con el envío de la solicitud de ejecución del servicio GRID. Esta solicitud se ejecuta dependiendo de la parametrización que se define en el sistema. Es importante tener en cuenta el propósito específico que tendrá el sistema, para determinar el tiempo adecuado que se debe programar para la ejecución del servicio.

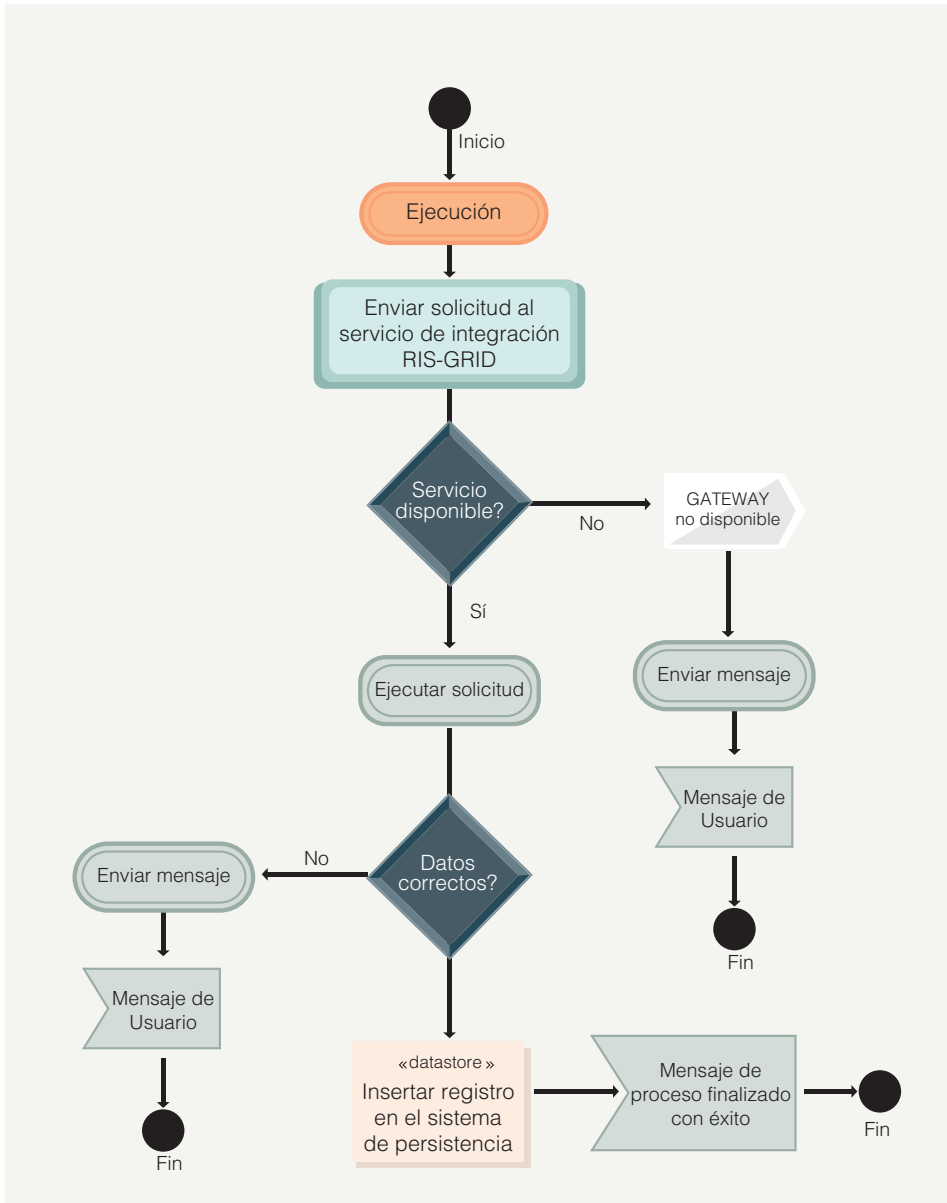


Figura 23. Diagrama de actividades Colectar información de los sensores. Fuente. Los Autores.

El servicio verifica si el **Gateway** está disponible para la entrega de datos. En caso de ser negativa la disponibilidad, le informa al usuario sobre la imposibilidad de ejecutar la operación y finaliza. Se llama el servicio nuevamente en el siguiente tiempo de ejecución. En caso de estar disponible el **Gateway** para la recolección de datos, el servicio, previa validación de la seguridad del sistema, lee los datos del **Gateway** y valida que se encuentren en forma correcta, de acuerdo con el formato de los datos. Si la validación es correcta, continúa con el proceso de inserción de los datos en el sistema de persistencia seleccionado y le informa al usuario acerca de la inserción de estos.

En el diagrama de actividades Validación e inserción (Figura 24) se envía la solicitud de ejecución al servicio de integración RIS-Grid y se verifica si el servicio está disponible. En caso de que no esté disponible, se le envía un mensaje al usuario. El servicio se puede ejecutar según programación de los parámetros establecidos o a solicitud del usuario. En todo caso, esto dependerá de la finalidad con la que se implemente el servicio.

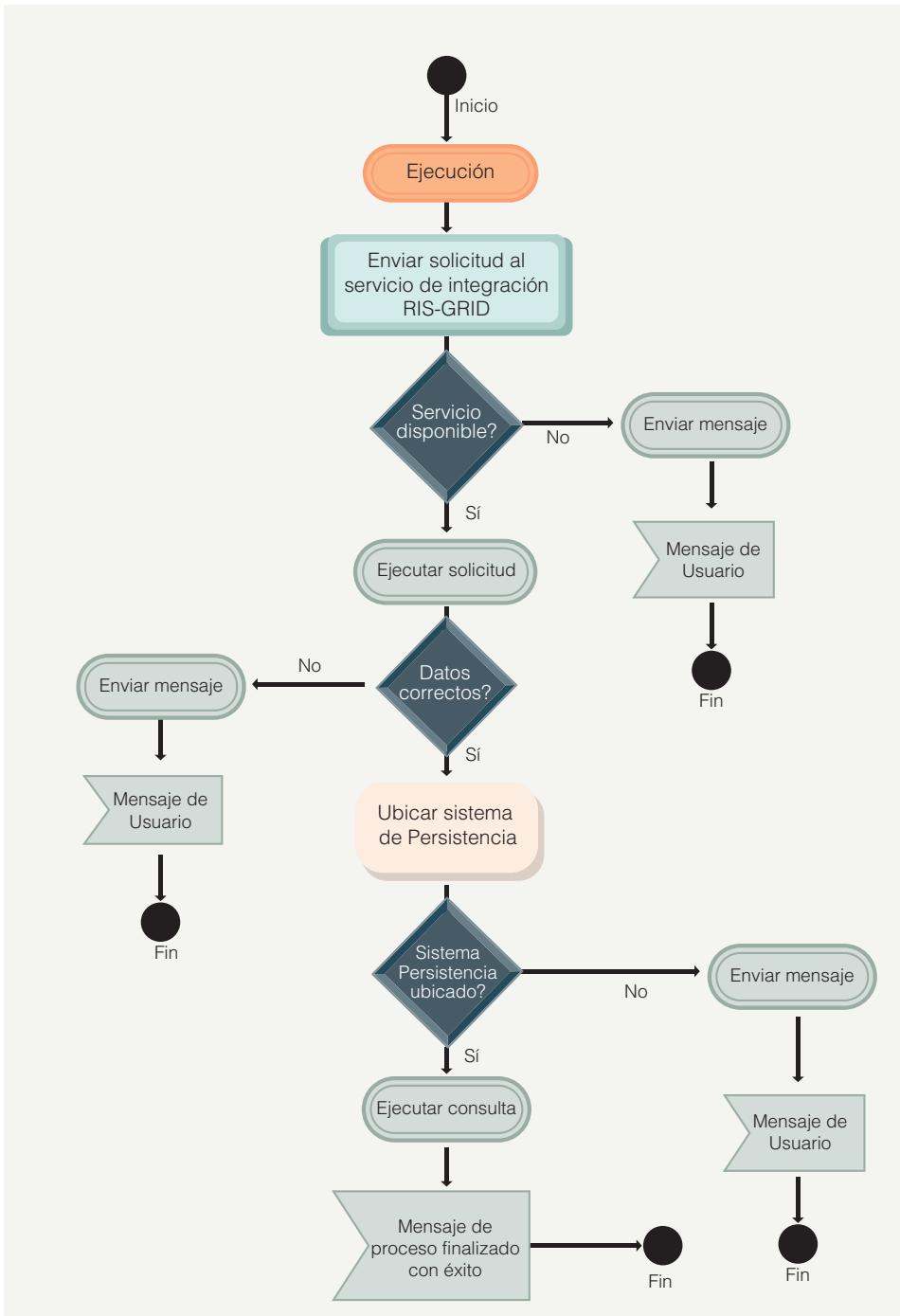


Figura 24. Diagrama de actividades Validar e Insertar. Fuente. Los Autores.

Si el servicio está disponible, se ejecuta la solicitud, para lo cual se debe verificar que los datos enviados en ella son correctos. Luego de la validación, se ubica el sistema de persistencia con el fin de insertar los datos en este, y se le informa al usuario sobre la inserción.

Con el fin de poder consultar la información almacenada en el sistema de persistencia dentro de la Grid, y debido a que el usuario se encuentra fuera de esta, se deberá contar con todos los mecanismos necesarios de validación y autenticación que garanticen la seguridad dentro del sistema Grid.

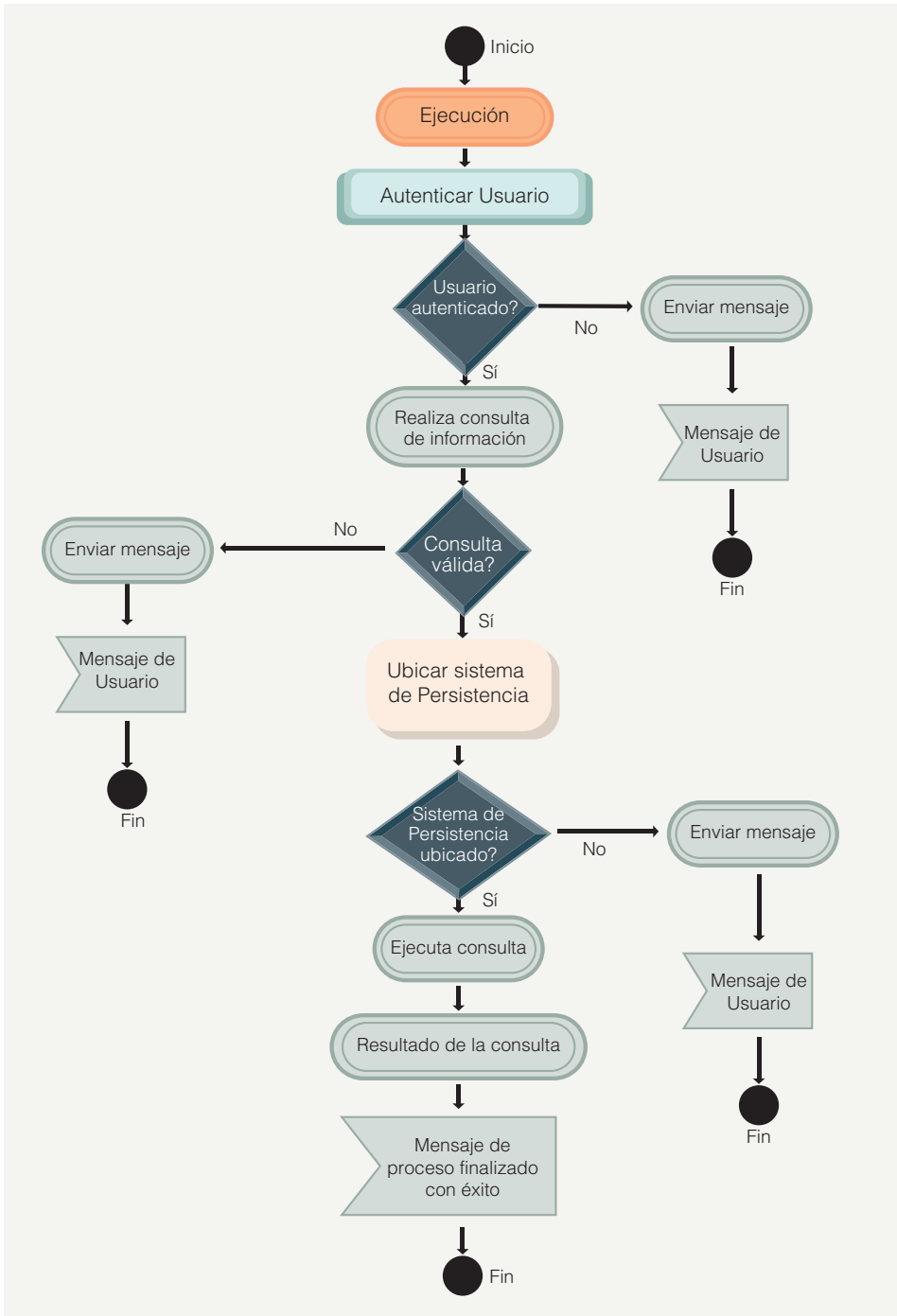


Figura 25. Diagrama de actividades Consulta de información. Fuente. Los Autores.

El diagrama que se presenta en la Figura 25 muestra los pasos principales que se deben realizar para el ingreso del usuario a la Grid, iniciando por la validación de la seguridad del usuario que está solicitando la información. Una vez validado el usuario, él tiene la opción de realizar la consulta que requiera, de acuerdo con el propósito del sistema. La consulta es enviada para ser procesada por la Grid, y el servicio Grid valida los datos necesarios, ubicando el sistema de persistencia para ejecutar la consulta y entregar el resultado de esta al usuario final. En caso de no ubicar el sistema de persistencia, se le informa mediante un mensaje al usuario.

A continuación, se presenta el diagrama de clases diseñado de forma genérica, con el fin de que sea ajustado de acuerdo con el propósito específico del sistema a implementar.

Diagrama de clases

Con el fin de identificar las principales clases que se deberán tener en cuenta en el sistema Grid, se presenta un diagrama de clases, que se observa en la Figura 26, donde se incluyen las que se deberán manejar dentro del sistema junto con sus métodos. Es importante anotar que los métodos `get()` y `set()` deberán implementarse dependiendo del sistema específico que se desarrolle. Adicional a lo presentado en el diagrama de clases, se deberán diseñar las clases relacionadas con la recolección de datos específicos, de acuerdo con el propósito del sistema que se implemente.

- La clase **GridService** se encarga de realizar la funcionalidad del servicio Grid, a través de las relaciones de asociación con las otras clases, intercambiando datos que permitirán realizar el proceso de manera eficaz.
- La clase **InsertarInfo** ofrece los métodos y atributos necesarios para realizar la inserción de los datos en el sistema de persistencia.
- La clase **InfoPersistencia** permite la validación de los datos que serán almacenados en el sistema de persistencia.
- La clase **ConsutarInfo** recibe los parámetros de búsqueda y realiza la consulta de los datos dentro del sistema de persistencia.

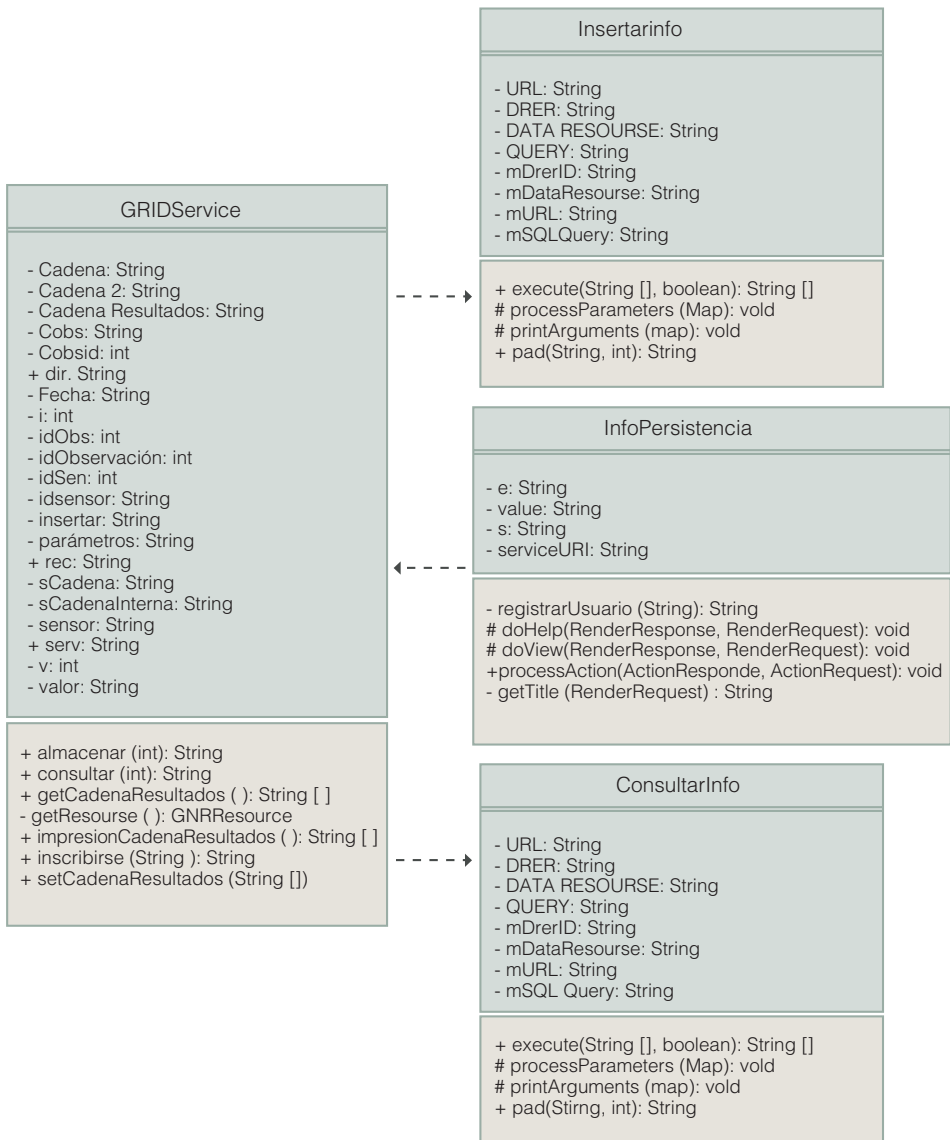


Figura 26. Diagrama de clases. Fuente. Los Autores.

Diagrama de componentes

Con el fin de presentar una visión de alto nivel del sistema, se diseña el diagrama de componentes, el cual es ilustrado en la Figura 27. Este muestra los principales componentes del sistema y la forma de interacción entre los mismos, con el objeto de organizar los elementos del software.

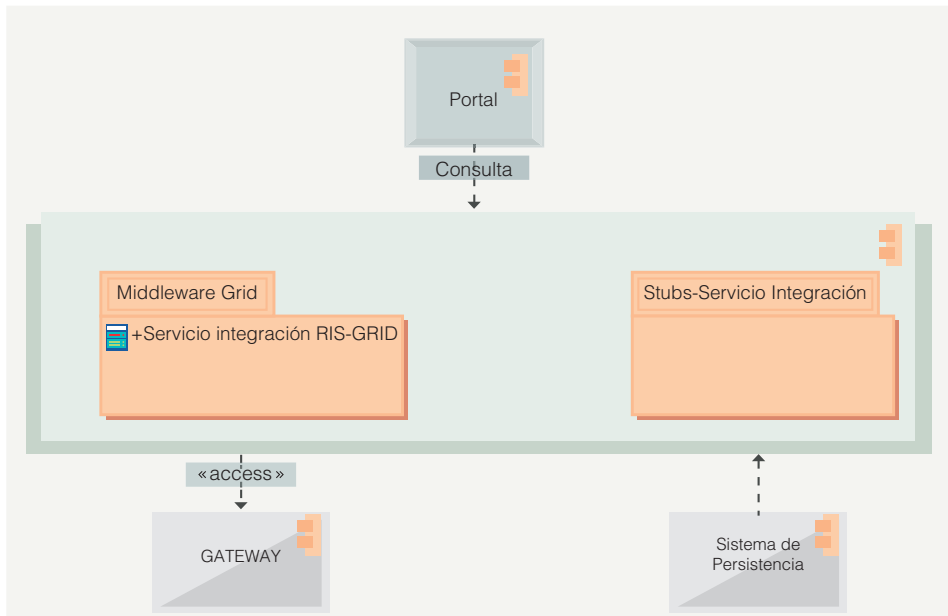


Figura 27. Diagrama de componentes. Fuente. Los Autores.

Como lo permite visualizar el diagrama, el usuario se conectará con el sistema por medio de un portal web, y realizará todos los procedimientos de validación y autenticación. Una vez ingrese al sistema Grid, el usuario podrá invocar al servicio de integración con el fin de realizar las consultas necesarias.

Diagrama de paquetes

Por medio del diagrama de paquetes se presenta una abstracción lógica de la organización del sistema, con el fin de brindar una mejor descripción sobre él. La Figura 28 presenta la forma como se propone estructurar el sistema.

Para su empaquetamiento, se propone la creación de dos paquetes llamados **Middleware Grid** y **Persistencia**, que contienen los componentes que, a su vez, incluyen las clases que permiten el funcionamiento óptimo del sistema.

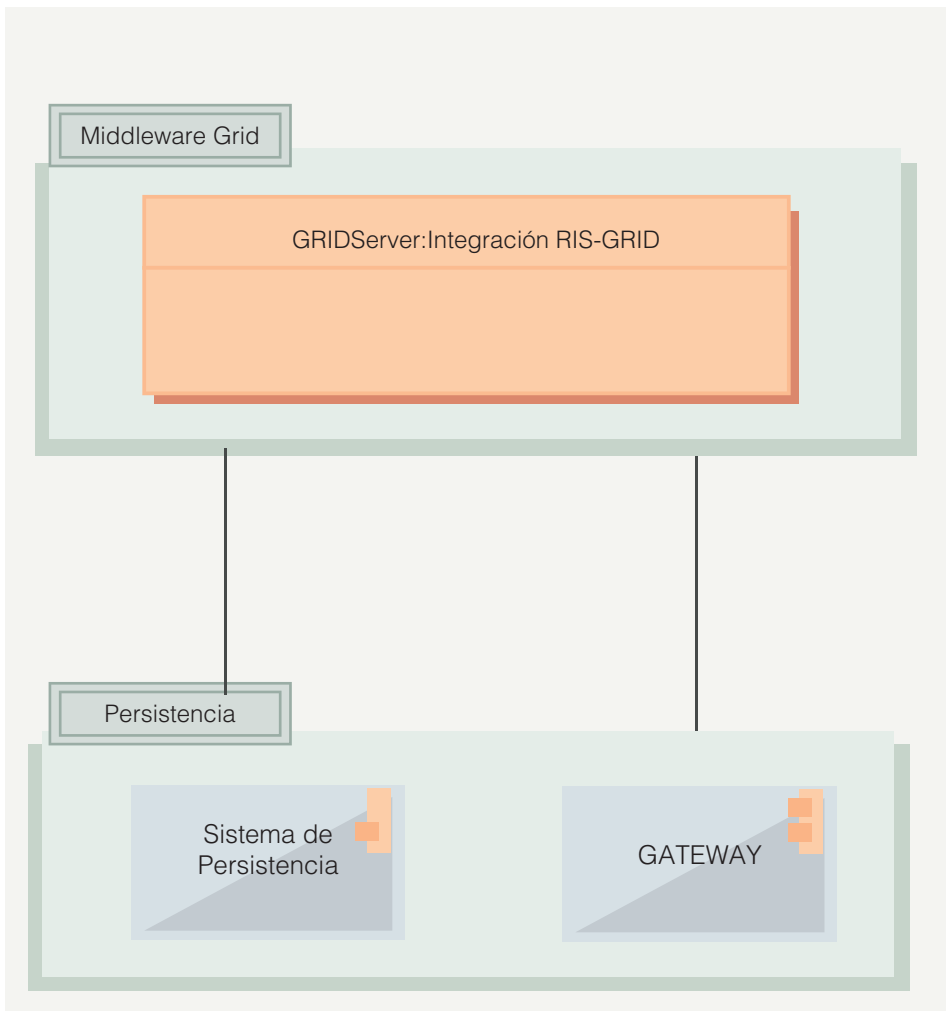


Figura 28. Diagrama de paquetes. Fuente. Los Autores.

Diagrama de despliegue

El diagrama de despliegue de la Figura 29 presenta la forma como se relacionan los componentes principales, partiendo del servidor Grid, donde se implementará el sistema Grid sobre un *middleware* que puede ser Condor, **Globus Toolkit** u otro. Así mismo, presenta la relación que existe entre el servidor Grid y el servidor de red, el cual proporciona todos los servicios necesarios para la autenticación: es quien genera los certificados de seguridad y establece la relación de confianza, para garantizar que el sistema Grid sea seguro. Por otra parte, se presenta la relación entre el sistema Grid y el sistema de persistencia.

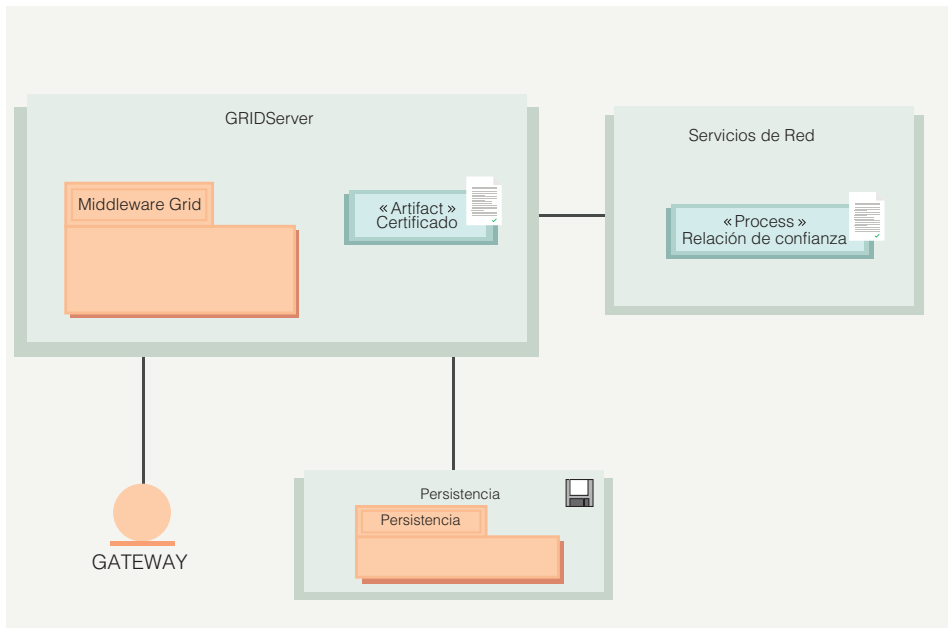


Figura 29. Diagrama de despliegue. Fuente. Los Autores.

Como se puede observar, se han dejado plasmados los diferentes diagramas que conforman la arquitectura del sistema, con el fin de que puedan servir como base para la implementación de un sistema específico, de acuerdo con condiciones particulares de aplicación.

Lo presentado no es una descripción exhaustiva de los diferentes procesos que se deben implementar, dado que eso depende del propósito específico del sistema y la arquitectura sobre la que se implementará el mismo.



Conclusiones

Las Redes Inalámbricas de Sensores han generado nuevas oportunidades para el monitoreo in-situ de diferentes fenómenos en tiempo real, que en ocasiones puede llegar a ser hostil para el ser humano o de difícil realización con otro tipo de tecnologías. Sin embargo, estas redes no cuentan con las características necesarias para el almacenamiento y el procesamiento del gran volumen de datos que captan, lo cual lleva a plantear la incorporación de tecnologías adicionales para suplir estas deficiencias, como es el caso de la computación Grid, generando con ello nuevas posibilidades de aprovechamiento de los datos recolectados.

Partiendo del OGC como organismo referente a nivel mundial en el manejo y el tratamiento de información geográfica, el modelo planteado se fundamenta en los estándares definidos por esta entidad a través de las especificaciones del SWE, el cual las describe por medio de servicios web. Dadas las limitantes que estos servicios tienen para el manejo de persistencia, la propuesta descrita en este libro se enfoca en suplirlas con el uso de servicios Grid. Además, se realiza un paralelo entre las funcionalidades ofrecidas por el SWE y el modelo propuesto, de tal manera que se brinda al lector la fundamentación sobre la cual se desarrolla y se presenta una perspectiva general de lo que, a través del desarrollo de la propuesta, se busca mejorar.

La arquitectura planteada se describe por medio de modelos UML, con el fin de dar una visión acerca de los componentes a tener en cuenta para el desarrollo de una aplicación cuyos cimientos estén sobre estos aspectos, y que por medio de la incorporación de las características propias de la solución a implantar permitan la creación de un producto óptimo.

De las características que identifican la computación Grid, se resalta el aprovechamiento de recursos computacionales heterogéneos (procesamiento, almacenamiento, comunicaciones, infraestructura, entre otros), lo cual ofrece una mayor disponibilidad de estos, convergiendo en disminución de los tiempos de respuesta y creando la posibilidad de realizar un tratamiento más extenso de los datos almacenados. Por esta razón, el modelo propuesto se basa en estas características para lograr un mejor aprovechamiento de los datos censados por la RIS.

Con el planteamiento del modelo propuesto se dejan las bases que permiten desarrollar implementaciones que aprovechen las potencialidades de la computación Grid, y generen nuevos escenarios sobre los cuales se puedan llegar a tener soluciones innovadoras, para ampliar la perspectiva de uso de los datos recolectados en una Red Inalámbrica de Sensores, ofreciendo la posibilidad de plantear a futuro nuevas estrategias para el tratamiento de información geográfica.



Lista de Referencias

- Aguilar, G. C. (2006). Grid computing para cálculo intensivo. Buenos Aires. Aktas, M. (10 de noviembre de 2011). IBM. Recuperado de: <http://www-306.ibm.com/software/solutions/soa/>
- Aktas, M. (10 de noviembre de 2011). IBM. Recuperado de: <http://www-306.ibm.com/software/solutions/soa/>
- Alegsa. (2010). Diccionario de informática. Recuperado de: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/servicio%20web.php>
- Ammari, H. M. (2014). The Art of wireless Sensor Network 1. Fundamentals. New York: Springer.
- Avella Ibáñez, C. P., Gómez Estupiñán, J. F. y Caro Pineda, S. (2011). Aplicación de Inspecciones y pruebas de Software. Tunja: Universidad de Boyacá.
- Báez Pérez, C. I., Vargas Bermúdez, F. y Ochoa Echeverría, M. (2014). Propuesta de un modelo de integración de una red inalámbrica de sensores en un ambiente computacional GRID. (U. d. Boyacá, Ed.) I3+, Investigación, Innovación e Ingeniería. Facultad de Ciencias e Ingeniería, 1(2), 76-100.
- Báez Pérez, C. I. y Suárez Zarabanda, M. I. (2013) Proceso de desarrollo de software basado en la articulación de RUP y CMMI priorizando su calidad. Tunja: Universidad de Boyacá.
- Barrios, V. V. (2005). Grid computing.
- Blázquez Micieces, F. R. (18 de junio de 2016). Caso de negocio: e-anthill Grid. Recuperado de: <http://docplayer.es/56948904-Universidad-politecnica-de-madrid-e-t-s-ingenieros-informaticos.html>
- Borja Sotomayor, L. (2006). Globus Toolkit 4 programming java services. Morgan Kaufmann Publishers.
- Borja Sotomayor, L. (2004). Introducción a la computación Grid. Madrid, Madrid, España.
- Botts, M., Robin, A., Davidson, J. y Simonis, I. (2006). Sensor Web Enablement Architecture Document. Open Geospatial Consortium Inc. OpenGIS®.
- Cárdenas Montes, M. (2007). Desarrollo de computación Grid basada en software libre. Conferencia Internacional de Software Libre 3.0.

- Dingwen, Y., Salil, S. K. y Matthias, H. (2016). Instrumenting Wireless Sensor Networks – A survey on the metrics that matter. 45-62.
- Foster, I., Kesselman, C. y Tuecke, S. (15 de noviembre de 2001). The Anatomy of the Grid. Enabling Scalable Virtual Organizations. Recuperado de: <http://www.globus.org/research/papers/anatomy.pdf>
- Gungor, V. y Hancke, G. (2013). Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- IBM. (s.f.). IBM developerworks. Recuperado de <http://www.ibm.com/developerworks/ssa/webservices/newto/service.html>
- Iniesto Alba, M. J. y Carballo Cruz, P. (2004). Sensor Web Enablement: Todos los sensores conectados a la Web. En: Congreso Nacional De Topografía Y Cartografía (VIII: 2004: Madrid).
- Jiménez Castellanos, A. (Febrero de 2009). Desarrollo de un sistema de mediación semántica, basado en ontologías, de bases de datos heterogéneas sobre tecnologías Grid. Recuperado de http://oa.upmes/9781/1/TFC_AnaJimenez-Castellanos.pdf
- Kanimozhi, S., Kannana, A., Selvamani, K. y Vijay Kumar, A. (2015). A novel approach to discovery web services using wsdl and uddi. International Conference on Intelligent Computing, Communication & Convergence, 480-488. Recuperado de https://ac.els-cdn.com/S1877050915006328/1-s2.0-S1877050915006328-main.pdf?_tid=10da39e9-2d0b-4265-9354-69c242b1ef42&acdnat=1520514832_ad3413b4cdac b4348eeeadb9a90d2ed5
- Kart, H. y Andreas, W. (2005). Protocol and architectures for wireless sensor networks. Estados Unidos: Jhon Wiley y Sons, Ltd.
- Khana, S., Nazir, B., Ahmed Khana, I., Shamshirband, S. y Chronopoulos, A. T. (2017). Load balancing in Grid computing: Taxonomy, trends and opportunities. 99,111.
- Martínez, J. C. (2005). La unión hace la fuerza. 10.
- Mehta, K. y Pal, R. (2017). Energy Efficient Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey. International Journal of computer applications, 41-46.
- Microsoft. (s.f.). Ejemplo de SOA. Recuperado de <http://www.microsoft.com/spanish/msdn/comunidad/mtj.net/voices/art143.asp>
- Ochoa, M. y Pérez, J. N. (2008). Desde las tecnologías inalámbricas al enrutamiento en redes inalámbricas de Geosensores. Gerencia Tecnológica Informática, 23-36.

- Open Geospatial Consortium. (2014). Open Geospatial Consortium. Recuperado de: <http://www.opengeospatial.org>
- Puliafito, A. P., Bruneo, D., Distefano, S. y Longo, F. (2017). *Ad-hoc, Mobile, And Wireless Network*. Cham, Switzerland: Springer.
- Quispe Ortega, L. M. (2012). SOA (Service Oriented Architecture) Arquitectura Orientada a Servicios. Recuperado de: <http://www.slideshare.net/Mache007/arquitectura-orientada-a-servicios-soa-12818946>
- Rawat, P., Singh, K., Chaouchi, H. y Bonnin, J. M. (2013). Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies. *The Journal of Supercomputing*, 1-48.
- Romero Luezas, A. (13 de abril de 2006). Sistema de información distribuido para Grid basado en búsqueda jerarquizada de recursos y adhesión federativa de nodos. Recuperado de: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/44a39b54394af.pdf>
- Salinas, E. C. (2011). Arquitectura orientada a servicios para software de apoyo para el proceso personal de software. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 19(1), 13.
- Santinelli, M. y Andre, G. (s.f.). ¿Qué es la computación Grid? Recuperado de: http://www.tyr.unlu.edu.ar/tyr/TYR-trab/2004/computacion_grid-santinelli-andre.pdf
- The Globus Alliance and IBM. (07 de marzo de 2008). The WS-Resource Framework. Recuperado de: <http://www.globus.org/wsrf/>
- Touriño, J. (2006). Globus Toolkit 4. Conferencia Latinoamericana De Informática 32: 44. Santiago de Chile.
- Universidad de Alicante. (26 de junio de 2014). Obtenido de <http://www.jtech.ua.es/j2ee/publico/servc-web-2012-13/sesion01-apuntes.html>
- Valera, A. J. (2012). Aplicación de la Arquitectura Orientada a Servicios Universal Plug-and-Play para facilitar la integración de Robots Industriales en líneas de producción. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 24-31.
- Vargas Bermúdez, F. A. (2012). *Modelo de persistencia de la información geográfica en ambiente Grid*. Berlín: Editorial Académica Española.
- Vázquez Poletti, J. L. (2004). Análisis de la arquitectura de Globus Toolkit 4. World Wide Web Consortium. (25 de mayo de s.f). World Wide Web Consortium. Recuperado de <http://www.w3c.es/Divulgacion/GuiasBreves/ServiciosWeb>



Este libro se terminó de imprimir
en el mes de noviembre de 2018
en Búhos Editores Ltda.

