



Proyecto CONACYT de Laboratorios Nacionales LN 295081, Octubre de 2017

Diseño e Implementación de la Base de Datos Espacial para las Imágenes Satelitales del LANOT, integrando tecnología BIG DATA.

Marco Antonio López Vega^a; Stéphane Couturier^a

Resumen ejecutivo

La construcción de una Bases de Datos Espaciales tiene como uno de los principales problemas la integración de imágenes "Raster", que a diferencia de los datos vectoriales requieren de mayor espacio para su almacenamiento. La tecnología Big Data no sólo permite la integración de diversas fuentes de información, también admite la gestión y almacenamiento de datos de gran tamaño. Diseñamos e implementamos una configuración optimizada (Linux CentOS – Hadoop - MongoDB) para el almacenamiento y la recuperación en línea de datos Raster en el laboratorio LANOT, además de crear los metadatos del acervo histórico de las imágenes satelitales adquiridas en el Instituto de Geografía UNAM acorde con el estándar ISO 19115 de datos espaciales, mismas que sirven de referencia a los metadatos de las imágenes satelitales del laboratorio LANOT.

1. Introducción

El problema para el almacenamiento de datos espaciales no es nuevo, desde hace ya décadas [1] se han implementado diversas metodologías para la integración de datos tanto vectoriales como "Raster". Una de las primeras bases de datos de tipo relacional que enfrentó este problema fue ORACLE [1]. En el caso de esta tecnología se crearon nuevos tipos de datos que se ajustaban precisamente a la naturaleza y esencia de la

a. Laboratorio de Análisis GeoEspacial (LAGE), Instituto de Geografía, UNAM

información espacial. La creación de índices espaciales para la rápida respuesta a consulta en los dos tipos de datos permitió un desempeño óptimo de dichas bases de datos.

Para inicios del año 1999 la empresa ESRI proporcionó otra forma de trabajo para los datos espaciales [2]. Las diversas experiencias tanto de esta empresa como la de ORACLE se conjugaron para implementar soluciones escalares que permitieron lidiar con los nuevos retos de almacenamiento de este tipo de datos.

Para el caso de las herramientas Open Source, se han creado diversas opciones que han permitido el almacenamiento de datos. Tenemos como ejemplos a: Postgres, Mysql, Cassandra y MongoDB [3]. La variedad de estas soluciones ha estado enfocada al problema de almacenamiento de los datos, tanto alfanuméricos como espaciales (Vector y Raster).

Actualmente en el ámbito de las bases de datos espaciales que requieren de un gran tamaño de almacenamiento se cuenta con diferentes alternativas, que van mejorando sus capacidades no sólo en el desempeño sino también en las diversas herramientas que integran. Adicionalmente se han implementado estándares internacionales en la construcción de las bases de datos, tanto los referentes a información espacial como a la Administración de proyectos. Los más utilizados son: El ISO-TC211 [4] y el IEEE-1490-2011 [5].

2. Antecedentes

Desde enero de 1996 el Instituto de Geografía de la UNAM cuenta con la Estación Receptora de Imágenes de Satélite (ERISA) que integra una antena receptora de imágenes y tres servidores para la recepción y procesamiento de la información.

Las imágenes que se reciben son las siguientes:

Tabla 1. Imágenes recibidas.

| Satélite | Imagen | Periodicidad | Tamaño(en Mbytes) |
|----------------|---------------------|---------------|-------------------|
| TIROS-NOAA [6] | NOAA-12 (Histórico) | 1x24 Diurna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-12 (Histórico) | 1x24 Nocturna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-14 (Histórico) | 1x24 Diurna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-14 (Histórico) | 1x24 Nocturna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-15 (Histórico) | 1x24 Diurna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-15 (Histórico) | 1x24 Nocturna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-16 (Histórico) | 1x24 Diurna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-16 (Histórico) | 1x24 Nocturna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-18 | 1x24 Diurna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-18 | 1x24 Nocturna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-19 | 1x24 Diurna | 75 Mbytes |
| TIROS-NOAA | NOAA-19 | 1x24 Nocturna | 75 Mbytes |
| GOES [7] | GOES | 96x24 | 20 bytes |

Descripción de la problemática o necesidad

El sistema ERISA recibe a diario una gran cantidad de información proveniente de la antena receptora de imágenes de satélite TERASCAN, dicha información se respalda en cintas magnéticas para su posterior uso. El proceso de recuperación para el procesamiento de las imágenes es muy lento y hasta el año 2015 sólo se contaba con un sistema en línea para visualizar las últimas imágenes recibidas en formato "gif".

En agosto de 2017, en el ámbito de dos proyectos CONACYT ("VISTA-C": 208637 de fondo mixtos CONACYT - INEGI; y "LANOT": 295081 de Laboratorios Nacionales), se adquirieron tres antenas de recepción satelital para ERISA; una para transmisión de productos satelitales regionales de utilidad pública (Geonetcast, red internacional GEOSS), otra de la constelación de satélites meteorológicos GOES-16, y otra de la constelación de satélites de cobertura vegetal SUOMI NPP. La generación de productos secundarios tanto como sus variables climáticas y ambientales, a partir de las imágenes recibidas, no podía llevarse a cabo, debido

a las necesidades de almacenamiento y al problema de gestionar una gran cantidad de datos.

Fue necesario un sistema de almacenamiento de tipo espacial que permita tener el acervo total de imágenes del sistema ERISA en línea y que además proporcione una forma rápida de recuperación para la generación de productos secundarios de las imágenes recientemente adquiridas.

2.1 Necesidades de almacenamiento

Tabla 2. AVHRR 1996 a 2010

| Cálculos desde el año 1996 hasta el 2010 | AVHRR | Mbytes |
|--|-------|----------------------------|
| Tamaño en Megabyte por día recepción: | | 900 |
| Tamaño en Megabyte por mes | | 27000 |
| Tamaño en Megabyte por año | | 324000 |
| Tamaño en Gigabyte | | 316.4 |
| Tamaño en Gigabyte por 14 años (1996-2010) | | 4429.68 4.32 Terabyte |

Tabla 3. AVHRR 2010 a 2013

| Cálculos del año 2010 al 2013 | AVHRR | Mbytes |
|-------------------------------|-------|-------------------------|
| Tamaño en Megabyte por día | | 300 |
| Tamaño en Megabyte por mes | | 9000 |
| Tamaño en Megabyte por año | | 108000 |
| Tamaño en Gigabyte por año | | 105.46 |
| Tamaño en Gigabyte por 3 años | | 316.4 0.3 Terabyte |

El tamaño del sistema de almacenamiento que se requiere para este tipo de imágenes es de: 5 Terabyte.

Para poder gestionar información por 15 años o más, se necesitan 5 Terabyte adicionales.

El total del sistema de almacenamiento que se requiere para este rubro es de: 10 Terabyte

Tabla 4. GOES 1996 a 2010

| Cálculos desde el año 1996 hasta el 2010 | Mbytes |
|--|--------------------------|
| Tamaño en Megabyte por hora recepción: | 80 |
| Tamaño en Megabyte por día recepción: | 1920 |
| Tamaño en Megabyte por mes | 57600 |
| Tamaño en Megabyte por año | 691200 |
| Tamaño en Gigabyte por año | 675 |
| Tamaño en Gigabyte por 14 años (96-2010) | 9450 9.22 Terabytes |

Tabla 5. GOES 2010 a 2011

| Cálculos del año 2010 al 2011 | Mbytes | |
|-------------------------------|--------|---------------|
| Tamaño en Megabyte por día | 1920 | |
| Tamaño en Megabyte por mes | 57600 | |
| Tamaño en Megabyte por año | 691200 | |
| Tamaño en Gigabyte por año | 675 | |
| Tamaño en Gigabyte por 1 año | 675 | 0.65 Terabyte |

El tamaño del sistema de almacenamiento que se requiere para este tipo de imágenes es: 10 Terabyte.

Para poder gestionar información por 15 años más, se necesitan 10 Terabyte adicionales.

El total del sistema de almacenamiento para este rubro es de: 20 Terabyte.

El sistema de almacenamiento masivo que servirá como repositorio para la base de datos histórica debe de tener como mínimo un tamaño de 30 Terabyte en disco duro. Además, debe incorporar el flujo de datos derivada de las tres antenas recientemente adquiridas. Por lo que el sistema de almacenamiento debe ser escalable.

3. Esquema de desarrollo para el sistema

Si bien la creación de este tipo de sistemas no es una tarea sencilla, el no implementar un buen esquema puede hacer más complejo su desarrollo. Tomlinson [2], establece un método de planificación para sistemas de información geográfica. Dicha metodología está enfocada para establecerse en un ámbito empresarial y no incluye una integración con administración de proyectos que es necesaria para lograr un mayor grado de éxito en la creación de este tipo de sistemas [8].

Es evidente que la información es una pieza clave dentro del sistema y parte del éxito depende del análisis inicial de ésta.

Otro punto es el esquema de desarrollo que se empleará en la construcción de la Base de Datos. En este proyecto para la construcción de un sistema de almacenamiento de imágenes satelitales AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) se tomarán en cuenta los cinco grupos de procesos que plantea el PMI (Project Management Institute) y las diez áreas del conocimiento que integra [9].

Investigaciones que se han realizado en los últimos años [10], han demostrado el incremento en el uso de PMI en la administración de proyectos en comparación de otros estándares como son PRINCE2 (Projects In Controlled Environments) y PMMM (Project Management Maturity Model). Si bien el establecimiento de su uso no es fácil, un punto crucial es la forma en la cual se transmite el conocimiento a los desarrolladores, es por ello que en este esquema se presentará de una forma sencilla para hacer más fácil su implementación.

3.1 Planeación inicial

Para obtener la información necesaria para la etapa de planeación se deben de realizar las siguientes actividades [11]:

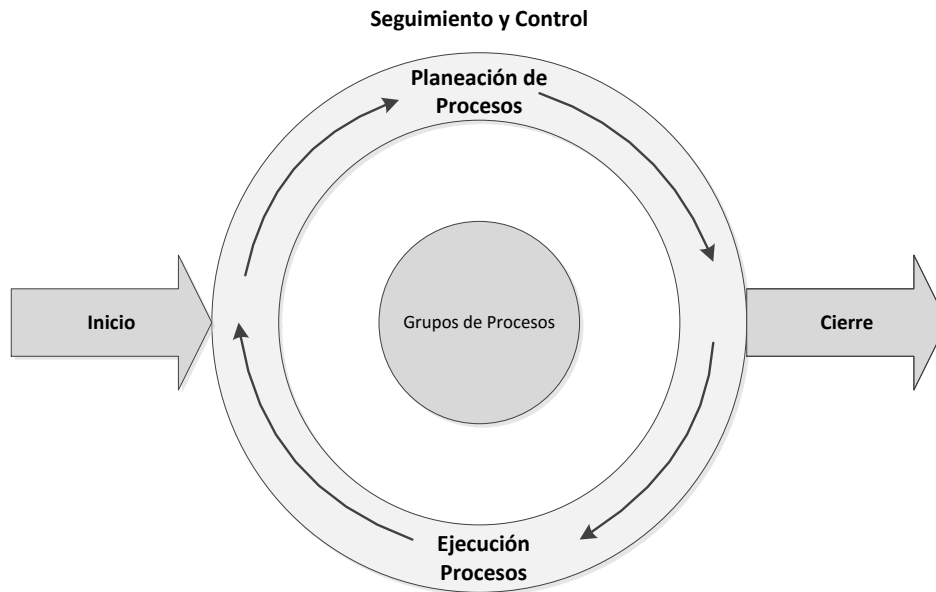
- I. Obtener requerimientos de usuario.
- II. Designar los requerimientos del sistema
- III. Realizar estudio de factibilidad
- IV. Establecer la arquitectura del sistema
- V. Establecer el diseño del sistema

3.2 Integración con administración de proyectos

Una vez que se cuenta con la información necesaria para el desarrollo del proyecto se deben tomar como guía los siguientes grupos de procesos que establece el PMI:

- Inicio
- Planeación
- Ejecución
- Monitoreo y control
- Cierre

La secuencia de estos grupos de procesos es la siguiente:



En esta figura destaca que la secuencia de procesos se ajusta al modelo de mejoramiento continuo de Edward Deming PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) [12].

Para la creación del sistema se propone un esquema que está basado en las características específicas que tiene un proyecto de esta naturaleza.

El esquema propuesto se divide en dos etapas principales:

- I. Pasos preliminares
- II. Desarrollo del sistema

I. Pasos preliminares

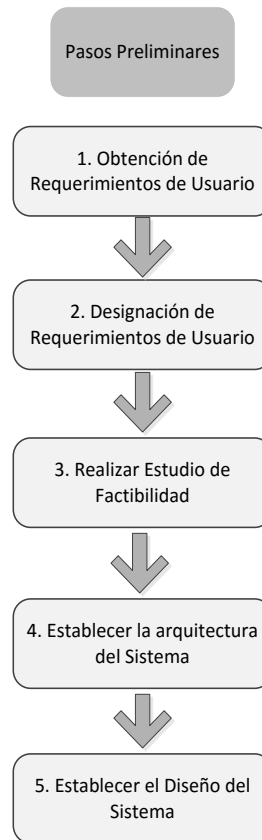


Ilustración 2. Pasos preliminares

Esta primera etapa permitirá emitir un veredicto apegado a la realidad, que proporcione la decisión de si es posible la realización del sistema, ya que en un gran porcentaje de los casos, los desarrolladores omiten este análisis iniciando proyectos que en la mayor parte de los casos termina con muy malos resultados o en el peor de los escenarios termina en el fracaso.

La omisión de la implementación de esta etapa deriva en el fracaso de los proyectos ya que no se cuenta con un análisis detallado previo al desarrollo del sistema, lo que conlleva a errores y malos entendidos entre los elementos que integran el grupo de trabajo, y por lo tanto es una parte importante en el esquema propuesto.

Los dos elementos principales en los que se basa este esquema son la naturaleza de la información de tipo espacial y la aplicación en el mundo real de este tipo de sistemas.

II. Desarrollo del sistema

En esta etapa se realizarán los grupos de procesos mediante los cuales se instalarán y configurarán tanto hardware como software y la integración de los datos en el sistema.

El esquema completo queda de la siguiente forma:

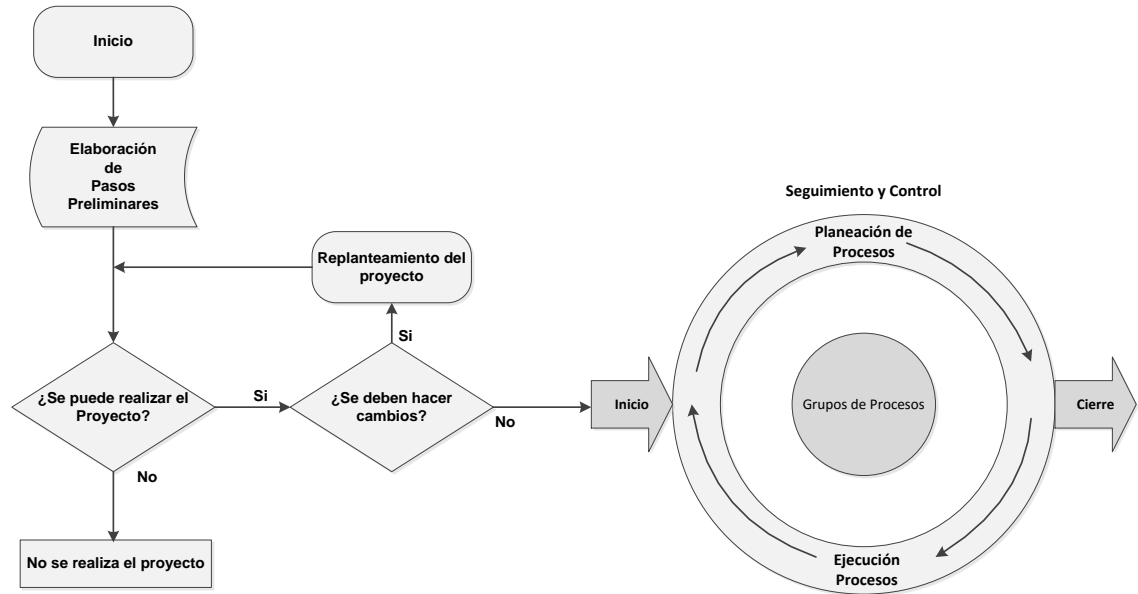


Ilustración 3. Esquema del sistema

4. Implementación

I. Pasos Preliminares

1. Obtención de requerimientos del usuario

Los requerimientos son los siguientes:

- a) Almacenamiento para 30 Terabyte de información
- b) Recuperación rápida
- c) Consultas ágiles
- d) Consultas mediante navegadores de internet
- e) Imágenes asociadas a datos espaciales
- f) Contar con información de: sensor, fecha y hora. Para cada imagen

2. Designación de requerimientos de usuario

Están directamente asociados a los datos.

4. Arquitectura del sistema

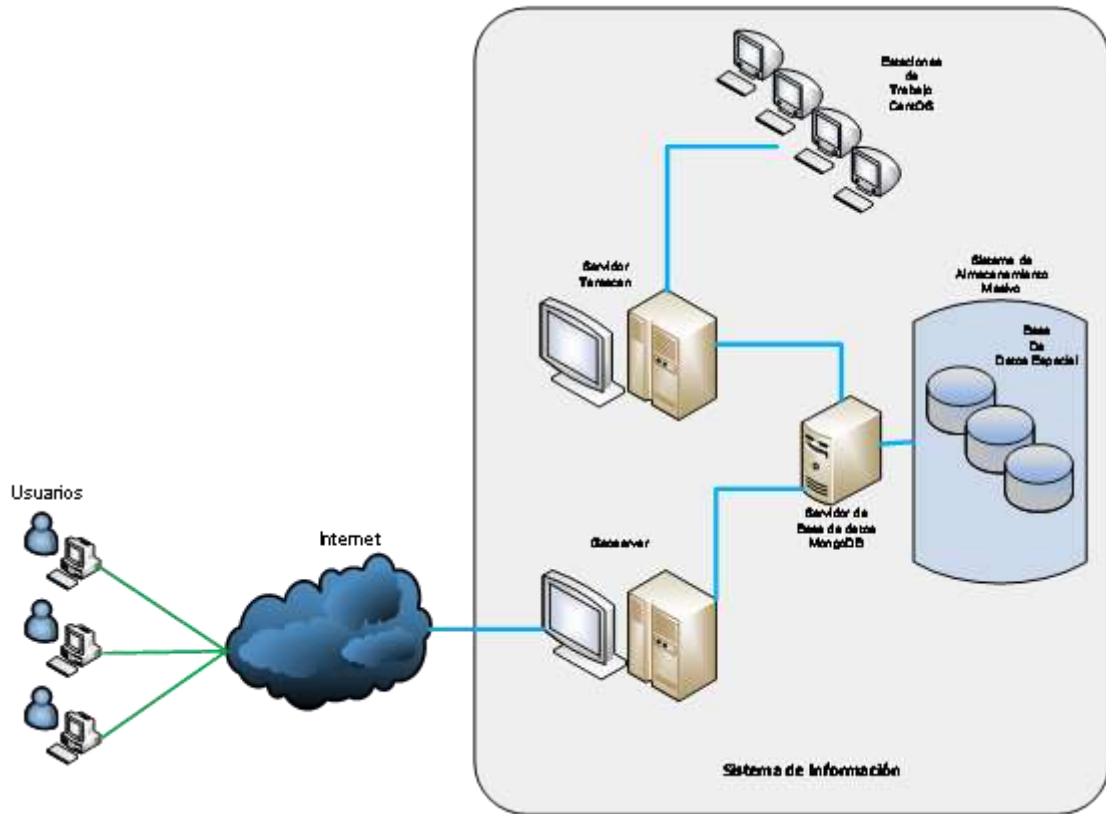


Ilustración 4. Arquitectura del sistema

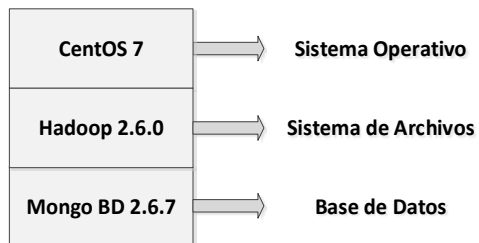


Ilustración 5. Diagrama del sistema

4. Diseño del sistema

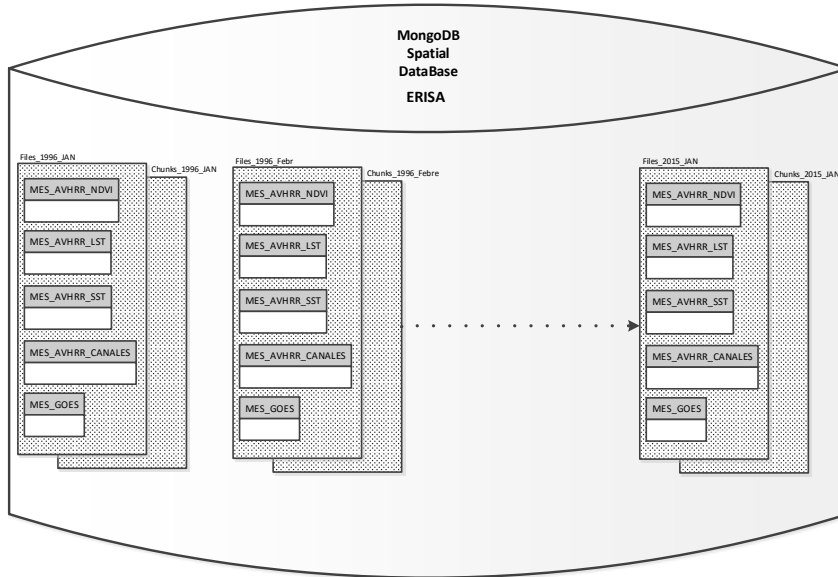
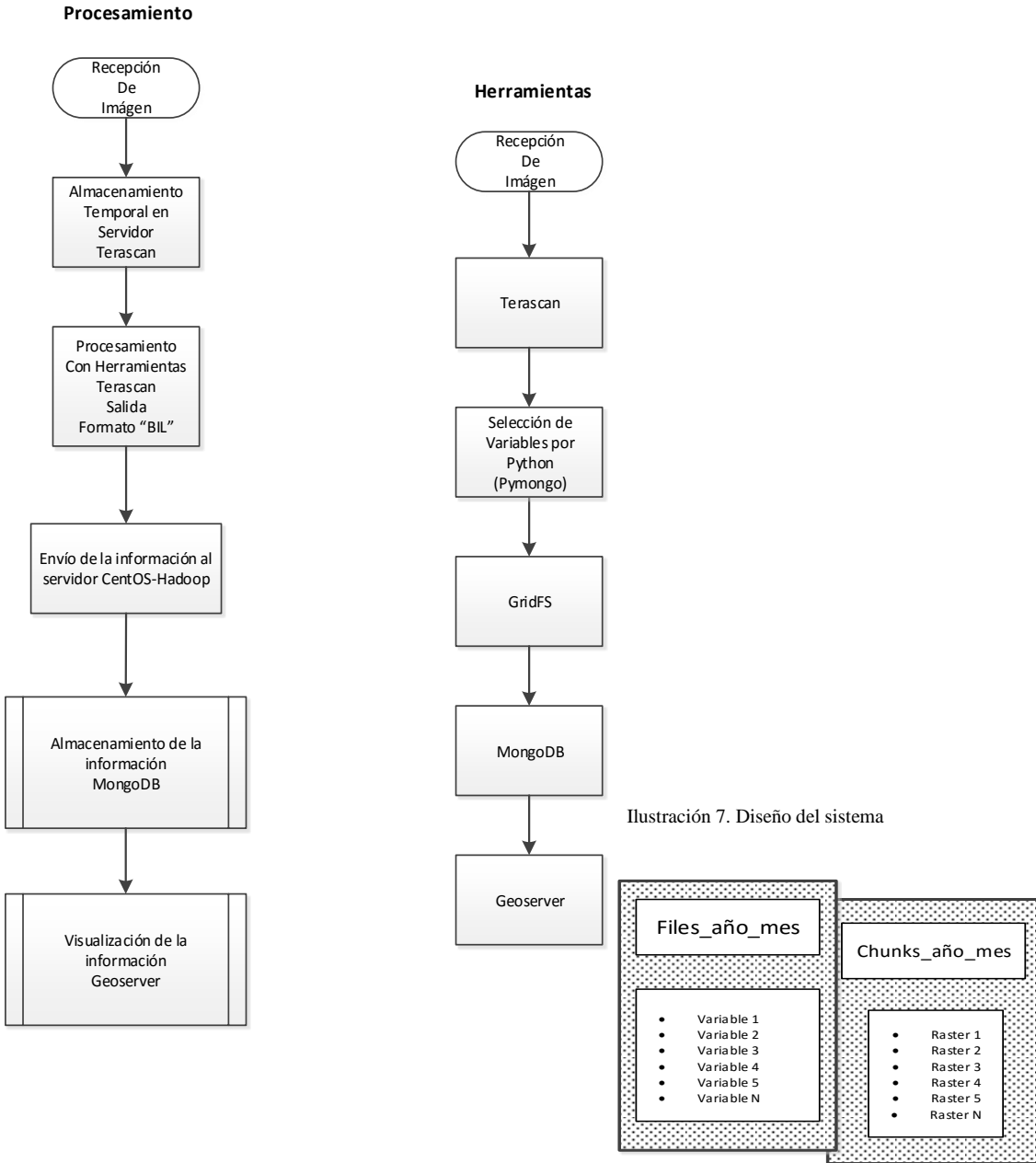


Ilustración 6. Diseño del sistema



II. Desarrollo del sistema

Tomando en cuenta el estándar de la IEEE 1490-2011 para la adopción de PMI en el desarrollo de proyectos de software y sistemas de ingeniería se establecen las siguientes actividades:

- Configuración del sistema operativo CentOS para la instalación del gestor de base de datos MongoDB.
- Instalación y configuración de Hadoop [3].
- Instalación y configuración de MongoDB

- D) Construcción de los elementos de acuerdo a la estructura de la Base de Datos Espacial
- E) Creación y configuración de los usuarios
- F) Integración de la información
- G) Instalación y configuración de Geoserver

5. Metadatos

Para compatibilizar la base de datos con los estándares nacionales de datos espaciales (definidos por el INEGI), creamos los metadatos de las imágenes mencionadas en este documento y de las variables asociadas, acorde con el estándar ISO 19115. Realizamos las extensiones necesarias de este estándar para registrar las características de las imágenes Raster. Así, el acervo histórico completo de imágenes adquiridas por el Instituto de Geografía (NOAA, GOES 13) obtuvo su documentación con metadatos estandarizados. Estos metadatos sirven ahora de referencia a los metadatos de las imágenes satelitales del laboratorio LANOT.

Abajo figura el ejemplo de los rubros principales de dos variables Raster:

a. Compuesto a color de reflectancia diaria AVHRR:

```

<Metadata>
  <MD_DataIdentification>
    <title>Compuesto a color de reflectancia diaria
    AVHRR</title>
    <purpose>El compuesto a color de reflectancia permite
    obtener una vista sinóptica de los datos de reflectancia de
    superficie derivados de las señales de las bandas 1 (rojo), 2
    (infrarrojo cercano), y 3 (infrarrojo mediano) del sensor AVHRR
    montado a bordo del satélite NOAA. El compuesto a color es útil
    para explorar la calidad de los datos AVHRR, determinar las áreas
    cubiertas por nubes y las áreas cubiertas por grandes extensiones
    de vegetación en la superficie terrestre.</purpose>
    <abstract>El compuesto a color de reflectancia diaria
    está directamente derivado de las imágenes de reflectancia de
    superficie en las bandas espectrales Visible (Rojo), Infrarrojo
    Cercano (IRC), e Infrarrojo Mediano (IRM) capturadas por la
    constelación de satélites NOAA. Las imágenes en el Rojo, IRC e IRM
    se utilizan para el monitoreo de las coberturas de vegetación en
    amplias regiones. Las imágenes fueron adquiridas por la Estación
    de Recepción de Imágenes Satelitales (ERISA) de la UNAM, ubicada
    en el Instituto de Geografía (IGg) y gestionadas por el
    Laboratorio de Análisis Geo-espacial (LAGE) del IGg, entre los
    años 1996 y 2014. La versión 4 de la reflectancia de superficie
    fue adquirida desde los sitios web del Centro de Vuelo Espacial
    Goddard (GSFC) de la NASA y de la Universidad de
    Maryland.</abstract>
  </principalTopic>
  <groupCategory>1. Grupo de datos de recursos
  naturales y clima: Subdivisión de la Infraestructura de Datos
  Espaciales de México que representan espacialmente la distribución
  y naturaleza de los recursos naturales que existen en el
  territorio nacional, así como la configuración de sus diversos
  climas. A través de ellos puede obtenerse información del estado,

```

presión y respuesta de la interacción humana con su medio ambiente.</groupCategory>

</topicCategory>

<LI_Lineage>

<statement>La imagen raster del compuesto a color de reflectancia diaria se obtiene con base en las imágenes de radiancia capturadas por el sensor AVHRR en las bandas espectrales 1 (roja), 2 (infrarroja cercana, IRC), y 3 (infrarroja mediana, IRM): Se trata de la composición RGB 1-2-3. Los datos fueron producidos por el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA (GSFC) y la Universidad de Maryland, y están archivados en el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC) de la NOAA.</statement>

<LI_ProcessStep>

<LI_ProcessStep_description>En un primer tiempo, se produce una máscara de nubes con base en las bandas 4 y 5 del sensor AVHRR acorde con el algoritmo expuesto en el artículo siguiente:

Saunders, R.W., y T. Kriebel, 1988, "An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data". International Journal of Remote Sensing, 9(1), 123-150.

disponible en:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431168808954841>;

Para los píxeles libres de cobertura de nubes, en un segundo tiempo, se realiza la transformación de la radiancia de cada banda a reflectancia de superficie (corregida por la Función de Distribución de la Reflectancia Bidireccional, BRDF por sus siglas en inglés). Para una descripción completa de los pasos de procesamiento, vea el Diagrama de Flujo de Documentos y Datos del Algoritmo, Bases Teóricas (abajo). Finalmente, el producto se convirtió de HDF a netCDF-4 con metadatos CF, y se acompaña con documentación de algoritmos, diagrama de flujo de datos y código fuente para el Programa CDA de NOAA.

-Diagrama de Flujo de Documentos:

<https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/sds/cdr/CDRs/Normalized%20Difference%20Vegetation%20Index/DataFlowDiagram.pdf>

-Datos del Algoritmo Bases Teóricas:

<https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/sds/cdr/CDRs/Normalized%20Difference%20Vegetation%20Index/AlgorithmDescription.pdf>

</LI_ProcessStep_description>

b. Temperatura del Suelo AVHRR

<Metadata>

<MD_DataIdentification>

<title>Imagen raster de temperatura del suelo (TS)</title>

<purpose>La imagen diaria de Temperatura del Suelo (TS) describe la distribución espacial de la temperatura del suelo en la superficie continental y sirve de información de referencia para los modelos de circulación atmosférica. Adicionalmente sirven

para la prospección del recurso geotérmico. Con base en la TS se estiman variables biofísicas como la evapotranspiración y la inercia térmica, susceptibles de intervenir en estudios de sequía y de potencial radiativo. </purpose>

<abstract>La imagen diaria de Temperatura del Suelo (TS) está derivada de las imágenes de temperatura de brillo registradas por el sensor AVHRR, de la constelación de satélites NOAA, y ajustada a mediciones de sensores de la constelación Landsat. La TS es una variable fundamental del Registro de Datos Climáticos (CDR) de la NOAA, y se utiliza para el monitoreo de la variabilidad y cambio climáticos. Las imágenes fueron adquiridas por la Estación de Recepción de Imágenes Satelitales (ERISA) de la UNAM, ubicada en el Instituto de Geografía (IGg) y gestionadas por el Laboratorio de Análisis Geo-espacial (LAGE) del IGg, entre los años 1996 y 2014. La versión 4 de TS fue adquirida desde los sitios web del Centro de Vuelo Espacial Goddard (GSFC) de la NASA y de la Universidad de Maryland. El análisis de esta variable permite detectar tendencias de variabilidad y cambio climático a nivel cuenca, regional y continental, así como realizar prospecciones para el recurso geotérmico con fines de mejorar el rendimiento del sector energético a nivel local o regional.</abstract>

<LI_Lineage>

<statement>La imagen diaria de Temperatura del Suelo (TS) está derivada de las imágenes de temperatura de brillo registradas por el sensor AVHRR en las bandas de infrarrojo térmico, y ajustada con temperaturas de brillo estimadas por los radiómetros de la constelación Landsat. El algoritmo de ventana dividida en ondas largas ("longwave split window"), explicado en Pinheiro et al. (2006) permite utilizar la diferencia de radiancia entre estas dos bandas para inducir los efectos atmosféricos y estimar una temperatura superficial del suelo. Los datos fueron producidos por el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA (GSFC) y la Universidad de Maryland, y están archivados en el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC) de la NOAA.</statement>

<LI_ProcessStep>

<LI_ProcessStep_description>

Para la descripción de las etapas de procesamiento, consultar:
Pinheiro, A.C., Mahoney, R., Privette, J.L., y C.J. Tucker, 2006, "Development of a daily long term record of NOAA-14 AVHRR land surface temperature over Africa", Remote Sensing of Environment, 103(2), 153-164. disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425706001192>

</LI_ProcessStep_description>

</LI_ProcessStep>

<LI_Source>

<LI_Source_description>Imágenes AVHRR recibidas por la Estación Receptora de Imágenes de Satélite (ERISA) en el Instituto de Geografía en la Universidad Nacional

Autónoma de México (UNAM). Uno de los productos que se obtienen sistemáticamente es la TSM. </LI_Source_description>
</LI_Source>
</LI_Lineage>

6. Conclusiones

La implementación de un sistema para el almacenamiento, gestión y distribución de las imágenes generadas por ERISA desde el archivo histórico (constelaciones NOAA y GOES), que se encuentra en el Instituto de Geografía, se pudo realizar con la integración de las nuevas tecnologías que proporciona Big Data, así como con los estándares nacionales ISO 19115 de datos espaciales, con extensiones típicas para imágenes Raster.

Este tipo de almacenamiento de información logró la generación de nuevos productos que incrementan los datos desde la información base. La Base de datos Mongo DB proporciona compatibilidad con herramientas tales como Geoserver y Python, que permitirán la integración de nuevos algoritmos para trabajar con las variables almacenadas en la Base de Datos, así como una distribución ágil del flujo de datos que representa actualmente la adquisición de imágenes satelitales y productos derivados, desde las antenas del LANOT adquiridas en 2017.

El esquema propuesto está alojado en un servidor independiente al que se encarga de la recepción y del procesamiento de las imágenes de satélite GeonetCast / GOES16 / SUOMI NPP, ya que actualmente dicho equipo tiene una carga de trabajo considerable, así con la implementación del sistema no se agregará más carga de trabajo al servidor “Terascan”.

Es necesario recalcar que la instalación y configuración del gestor de base de datos MongoDB no fue una tarea simple, ya que se debe contar con los conocimientos y experiencia necesaria para realizar esta labor de una forma óptima y precisa, de ello depende el correcto funcionamiento y desempeño de la base de datos espacial.

7. Referencias

- [1] Yeung, A. y Brent, G. Spatial Database Systems. Canada: Springer; 2007. 545p
- [2] Tomlinson, R. Pensando en SIG. 3rd ed. EUA: ESRI Press. 2007. 257p
- [3] Plugge, E., Membrey, P., y Hawkins, T. The definitive guide to Mongo DB. The NoSQL Database for cloud and desktop computing. USA: Apress. 2010. 307p
- [4] IEEE. Guide-Adoption of the Project Management Institute (PMI) Standard. A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) 4ta ed. USE: IEEE Computer Society. 2011. 467p
- [5] ISO/TC 211. Report from stage 0Project 1950 Geographic Information Ontology. 2009. 40p
- [6] <http://www.lib.noaa.gov/collections/TIROS/tiros.html>
- [7] GOES
- [8] Pant, I., y Bassam, B. “Project management education: The human skills imperative”. En: International Journal of Project Management No.26-2008. 124p
- [9] PMI. PMBOK. Fundamentos para la dirección de proyectos. 5ed EUA: PMI. 2013. 589p
- [10] Ahlemann, F., Teuteberg, F., y Vogelsang, K. “Project management standards – Diffusion and application in Germany and Switzerland”. International Journal of Project Management (No.27-2009). P. 292–303
- [11] Naaranoja, M., Päivi, H., y Heikki, L. “Strategic management tools in projects case construction Project”. International Journal of Project Management No.25 -2007. P. 659–665
- [12] PMI. PMBOK. Fundamentos para la dirección de proyectos. 4ed EUA: PMI. 2008. 393p
- [13] Hows, D., Membrey, P. y Plugge, E. Mongo DB basics. USA: Apress. 2014. 120p