



Análisis del caso de uso de la tecnología Cloud Computing para la migración del Sistema de Información de Transporte y Obras Públicas desde servidores On-Premise hacia el entorno Cloud

Paucar Benítez, Maverick Ramiro y Tamayo Tipán, David Alejandro

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Tecnologías de la Información

PhD. Marcillo Parra, Diego Miguel

20 de marzo del 2024



Plagiarism and AI Content Detection Report

Tesis Paucar - Tamayo Sin Caratula.pdf

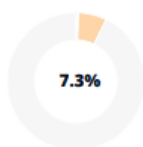
Scan details

Scan time:
February 26th, 2024 at 22:52 UTC

Total Pages:
58

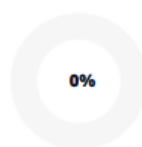
Total Words:
14479

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.3%	49
Minor Changes	0.2%	31
Paraphrased	5.9%	858
Omitted Words	11.3%	1634

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	0%	0
Human text	100%	12845

[Learn more](#)

Firma:



Firmado electrónicamente por:
DIEGO MIGUEL
MARCILLO PARRA

PhD. Marcillo Parra, Diego Miguel

Director



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Análisis del caso de uso de la tecnología Cloud Computing para la migración del Sistema de Información de Transporte y Obras Públicas desde servidores On-Premise hacia el entorno Cloud”** fue realizado por los señores **Paucar Benítez, Maverick Ramiro y Tamayo Tipán, David Alejandro**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 20 de marzo de 2024



Firmado electrónicamente por:
DIEGO MIGUEL
MARCILLO PARRA

PhD. Marcillo Parra, Diego Miguel

C. C. 1710802925



**Departamento de Ciencias de la Computación
Carrera de Tecnologías de la Información**

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Paucar Benítez, Maverick Ramiro y Tamayo Tipán, David Alejandro**, con cédulas de ciudadanía n° 1718908716 y n° 1722620489, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Análisis del caso de uso de la tecnología Cloud Computing para la migración del Sistema de Información de Transporte y Obras Públicas desde servidores On-Premise hacia el entorno Cloud** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 20 de marzo de 2024

Paucar Benítez, Maverick Ramiro

C.C.: 1718908716

Tamayo Tipán, David Alejandro

C.C.: 1722620489



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Autorización de Publicación

Nosotros **Paucar Benítez, Maverick Ramiro y Tamayo Tipán, David Alejandro**, con cédulas de ciudadanía n° 1718908716 y n° 1722620489, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Análisis del caso de uso de la tecnología Cloud Computing para la migración del Sistema de Información de Transporte y Obras Públicas desde servidores On-Premise hacia el entorno Cloud en el Repositorio Institucional**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 20 de marzo de 2024

Paucar Benítez, Maverick Ramiro

C.C.: 1718908716

Tamayo Tipán, David Alejandro

C.C.: 1722620489

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi madre, que en todo este tiempo siempre estuvo cuando más la necesité, a mi padre que con sus palabras y consejos me animaron a no decaer. A Rafa y Emma, a quienes espero servirles como ejemplo y decirles que todos mis logros siempre serán por y para ustedes. A mi abuelita Blanca, a quien también le pertenece este logro ya que le debo todo lo que tengo y lo que soy. A mi familia que siempre ha sido un pilar fundamental en todo lo que hago. A Milena que sin su apoyo y compañía me hubiera rendido hace mucho tiempo. Finalmente, quiero dedicar este trabajo especialmente a mi abuelito Vicente, quien fue la persona que más me alentó y desde siempre quiso verme convertido en profesional, te extraño y estoy seguro que me estás acompañando, viéndome orgulloso desde arriba.

David Tamayo

Este trabajo se lo dedico a mis padres, por apoyarme desde el momento en que nací en todo aspecto posible de forma incondicional, no sería nada sin ellos. A mi hermana Michelle, por estar ahí para mí en innumerables ocasiones y acompañarme en tantos momentos duros durante el desarrollo de mis estudios desde mis primeros pasos en primaria hasta mi carrera universitaria. A Karolina, gracias por ser parte de la etapa más bella que he vivido, la culminación de mis estudios universitarios no habría sido igual sin tu apoyo y cariño. A mi abuelita Clara, que siempre me sacó una sonrisa en momentos difíciles y contagiaba su alegría. Por último, quisiera agregar una dedicatoria para Alejandro Taboada, fundador de Programación ATS, de quien aprendí las bases de lo que soy ahora, siempre te recordaré como mi más grande mentor con tu icónica frase *“Si puedes imaginarlo, puedes programarlo”*.

Maverick Paucar

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por formarme profesionalmente durante estos años y al Ministerio de Transporte y Obras Públicas por la apertura que nos dieron para realizar este trabajo. A mi familia, que sin su guía y soporte no sería la persona que soy ahora. A mi tía Chio por estar siempre pendiente de mí y estar disponible a pesar de la distancia. A mis amigos, los cuales hicieron que todo este proceso sea un poco más llevadero. A Milena por levantarme cuando me quería rendir y estar siempre dispuesta a ayudarme. A Fernanda, Anita y Micaela, por siempre estaré agradecido por toda la ayuda y apoyo que me brindaron estos últimos años de Universidad. Finalmente, le doy las gracias a mi compañero de tesis, que todo el esfuerzo que hicimos durante todos estos años por fin valga la pena.

David Tamayo

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por proveer todos los recursos para culminar mis estudios. Al Ministerio de Transporte y Obras Públicas por ser una institución abierta a formar nuevos profesionales en el país. A la Dirección de Tecnologías de la Información del MTOP por ser grandes compañeros y amigos en el proceso de mi formación profesional desde el inicio de mis prácticas preprofesionales. A mi familia por estar ahí siempre que los he necesitado. A las múltiples amistades que formé en la universidad y que me han ayudado a seguir adelante. Por último, agradezco a mi compañero de tesis por embarcarnos en este proceso lleno de incertidumbres y miedos, de risas y alegrías, que al final valdrá la pena.

Maverick Paucar

Índice de Contenidos

Resumen.....	13
Abstract.....	14
Capítulo I: Generalidades.....	15
Antecedentes.....	15
Objetivos.....	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Alcance.....	17
Capítulo II: Marco Teórico	17
Aplicaciones Web	17
Definición	17
Evolución.....	18
Modelos.....	19
Infraestructura de TI.....	25
Definición	25
On-Premise	26
Cloud Computing.....	27
Comparación entre modelos On-Premises y Cloud Computing	29
Migración a la Nube	32
Conceptualización	32

Evaluación de infraestructura existente y procesos críticos	33
Evaluación de Seguridad.....	35
Planificación	36
Ejecución.....	37
Monitorización	39
Capítulo III: Desarrollo.....	40
Antecedentes.....	40
Estado Pre-Migración	41
Planificación.....	47
Proceso de Migración	51
Estado Post Migración	54
Capítulo IV: Resultados.....	55
Resultados entorno On-Premises	55
Resultados entorno Cloud.....	62
Capítulo V: Conclusiones y Trabajos Futuros	71
Conclusiones	71
Trabajos futuros	73
Referencias.....	73

Índice de Tablas

Tabla 1 Detalle de los componentes del sistema SITOP	44
--	----

Índice de Figuras

Figura 1	Arquitectura monolito.....	20
Figura 2	Escalabilidad en aplicaciones monolito.....	21
Figura 3	Modelo cliente servidor.....	22
Figura 4	Modelo de n capas	24
Figura 5	Arquitectura de microservicios.....	25
Figura 6	Modelos as a service	33
Figura 7	Refactoring vs rehosting vs rehostig + optimización	39
Figura 8	Uso de memoria del servidor	42
Figura 9	Diagrama de arquitectura C4 del SITOP.....	46
Figura 10	Diagrama de arquitectura propuesta SITOP Cloud.....	50
Figura 11	Rendimiento sistema SITOP On-Premise mayo 2023 (Zabbix)	57
Figura 12	Rendimiento sistema SITOP On-Premise junio 2023 (Zabbix).....	58
Figura 13	Rendimiento sistema SITOP On-Premise julio 2023 (Zabbix).....	59
Figura 14	Rendimiento sistema SITOP On-Premise agosto 2023 (Zabbix).....	60
Figura 15	Rendimiento sistema SITOP On-Premise septiembre 2023 (Zabbix).....	61
Figura 16	Rendimiento sistema SITOP On-Premise octubre 2023 (Zabbix)	62
Figura 17	Recursos aprovisionados Compute Engine	63
Figura 18	Servicios aprovisionados Cloud SQL.....	63
Figura 19	Servicios aprovisionados Cloud Storage.....	64
Figura 20	Servicios aprovisionados Load Balancer	64
Figura 21	Rendimiento de memoria de las instancias aprovisionadas en Google Cloud octubre 2023.....	65
Figura 22	Rendimiento de CPU la instancia principal aprovisionada en Google Cloud octubre 2023.....	66

Figura 23 Rendimiento de CPU la instancia secundaria aprovisionada en Google Cloud octubre 2023.....	66
Figura 24 Rendimiento de memoria de las instancias aprovisionadas en Google Cloud noviembre 2023	67
Figura 25 Rendimiento de CPU la instancia principal aprovisionada en Google Cloud noviembre 2023	67
Figura 26 Rendimiento de CPU la instancia secundaria aprovisionada en Google Cloud noviembre 2023	68
Figura 27 Rendimiento de memoria de las instancias aprovisionadas en Google Cloud diciembre 2023	68
Figura 28 Rendimiento de CPU la instancia principal aprovisionada en Google Cloud diciembre 2023	69
Figura 29 Rendimiento de CPU la instancia secundaria aprovisionada en Google Cloud diciembre 2023	69
Figura 30 Rendimiento de memoria de las instancias aprovisionadas en Google Cloud diciembre 2023	70
Figura 31 Rendimiento de CPU de las instancias aprovisionadas en Google Cloud enero 2024.....	71

Resumen

El entorno Cloud ha surgido como una solución para mejorar temas de escalabilidad, rendimiento, costos y seguridad de cada uno de los componentes que conforman un sistema de TI, facilitando la administración de la infraestructura que alojan estos sistemas. Las características que se ven mejoradas en el sistema de la Nube, suelen dar inconvenientes en los sistemas basados en soluciones On-Premise, dificultando el funcionamiento óptimo de las aplicaciones que se encuentran en estos servidores. Este estudio realiza un análisis del caso de uso de la tecnología Cloud Computing para la migración del Sistema de Información del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (SITOP) desde servidores On-Premise que empezaron a dar problemas.

Para esto se evalúan las métricas de funcionamiento del Sistema de Información de Transporte y Obras Públicas en el entorno On-Premise y comparando dichas métricas con los resultados obtenidos por medio de la evaluación del Sistema de Información de Transporte y Obras Públicas en el entorno Cloud, que utiliza los servicios de Google Cloud Platform.

Proporcionando una base sólida para conocer los distintos beneficios, desventajas y desafíos que conlleva realizar una migración de un entorno On-Premise hacia el entorno Cloud de infraestructuras considerables.

Palabras Clave: on-premise, cloud, migración, infraestructura, servidor.

Abstract

The Cloud environment has emerged as a solution to improve scalability, performance, costs and security issues of each of the components conforms an Information Technology system, facilitating the administration of the infrastructure that hosts these systems. The features that are improved in the Cloud system usually cause problems in On-Premise system-based solutions, making it difficult for these servers to function properly. This study analyzes the Cloud Computing technology for the migration of the Sistema de Información del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (SITOP) from On-Premise servers that began to cause problems.

For this, the operating metrics of the Sistema de Información del Ministerio de Transporte y Obras Públicas in the On-Premise environment are evaluated and these metrics are compared with the results obtained through the evaluation of the Sistema de Información del Ministerio de Transporte y Obras Públicas in the Cloud environment that uses Google Cloud Platform services. Providing a basis to know the benefits, disadvantages and challenges involved in migrating from an On-Premise environment to a Cloud environment with considerable infrastructure.

This comparative analysis includes the advantages of migrating to the Cloud, including metrics for flexibility, scalability and cost-efficiency of Cloud Technology.

Key Words: on-premise, cloud, migration, infrastructure, server.

Capítulo I: Generalidades

Antecedentes

En la actualidad las empresas más importantes eligen almacenar sus datos en servidores alojados en la Nube, especialmente aquellas que necesitan una escalabilidad flexible siempre adecuándose a las reglas de negocio de estas compañías, pues representan una serie de ventajas tanto en costo como en rendimiento de los sistemas informáticos que utilizan los datos alojados en Cloud. Según Amin et al (2021) “las ventajas son reconocidas por una amplia gama de servicios que son generalmente accesibles, adquiribles de manera progresiva y liberables, y a través de modelos de costos basados en el uso” (p. 42), logrando un gran impacto dentro de las organizaciones sobre todo en el departamento de Tecnologías de la Información (TI), facilitando en gran medida el manejo de los servidores y servicios que se deben administrar para el correcto funcionamiento de las organizaciones.

La mayoría de las empresas, privadas o gubernamentales, no suelen contar con los recursos para implementar y/o mantener una infraestructura de TI capaz de soportar escalamiento flexible, haciendo que las organizaciones inviertan cantidades de dinero para acondicionar y aumentar características a los servidores para poder mantener el rendimiento deseado. Esto sin mencionar problemas inesperados que puedan ocurrir a dichos activos, teniendo como consecuencia directa que el presupuesto para el departamento de TI aumente significativamente por estos posibles imprevistos, debido a esto la alternativa de la tecnología Cloud es tan atractiva para muchas empresas. En este caso únicamente se debe contar con acceso a internet, “convirtiéndose en la plataforma principal sobre la que se ofrecen servicios en la Nube debido a que permite transferir grandes cantidades de datos a altas velocidades, consolidado así, el crecimiento de la computación en la Nube” (Calderón & Mora, 2020, pág. 1537), permitiendo gestionar la infraestructura de manera más segura, rápida y sencilla.

Hay varios casos de éxito utilizando la tecnología Cloud Computing para tener una escalabilidad flexible y tener recursos cuando sean necesarios, como Davivienda, una entidad bancaria colombiana que mudó su infraestructura a la Nube para dejar de depender de recursos físicos alojados en un data center. Davivienda en su Plan de Migración nos indica que "en la actualidad el Banco no cuenta con sistemas de contingencia para algunas aplicaciones críticas que brindan diferentes servicios bancarios a todos sus clientes a nivel nacional e internacional" (Rodríguez V. , 2023). Este y otros ejemplos evidencian la necesidad del sector financiero, público y administrativo de hacer una migración de servidores On-Premise a la Nube para mejorar su rendimiento y evitar pérdidas.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la utilización de tecnología de computación en la Nube para entender el procedimiento de migración de sistemas desde servidores On-Premises hacia el entorno Cloud en el caso de estudio del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Objetivos Específicos

- a. Valorar la situación actual de Sistema del Información de Transporte y Obras Públicas.
- b. Determinar las diferencias, beneficios y desventajas que supone la implementación de este tipo de tecnología en sistemas consolidados.
- c. Utilizar herramientas para realizar la comparación de rendimiento del sistema en diferentes entornos.
- d. Evaluación de los resultados obtenidos.

Alcance

La presente tesis se enfocará en analizar el caso de uso específico de la tecnología Cloud Computing para la migración del Sistema de Información On-Premise del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, para determinar los beneficios y retos que conlleva esta migración valiéndose de datos de uso y métricas de funcionamiento.

Capítulo II: Marco Teórico

Aplicaciones Web

Definición

Una aplicación web es un software interactivo y de contenido dinámico que ofrece al usuario una interfaz para realizar acciones como leer, escribir y guardar información, se interactúa con ella mediante un navegador web o un programa que tiene un navegador web embebido. Estas aplicaciones utilizan tecnologías estándar para la comunicación dentro de la web como es el caso de lenguajes de marcado (HTML y XML), lenguajes de programación interpretados por el navegador web (Javascript y Typescript), conexiones de red mediante el protocolo TCP/IP y bases de datos (SQL o NoSQL).

Una aplicación web tiene muchos usos, entre ellos está el servir de gestor de información de cualquier institución u organización, comunicaciones entre personas ya sea de manera personal, grupal o masiva, herramienta de productividad como software de ofimática, etc. Dependiendo del uso, la aplicación puede aumentar su complejidad y los recursos que necesita para funcionar de manera adecuada y proveer de una cierta calidad de servicio para los usuarios.

Actualmente las aplicaciones web se han vuelto el estándar de trabajo en empresas y organizaciones de todo tipo ya que permiten una alta disponibilidad de los servicios y un gasto

mínimo en equipos, ya que, todo el procesamiento lo realiza el servidor remoto donde esta alojada la aplicación, con lo cual solo es necesario un computador con acceso a internet y un navegador compatible con la aplicación web para trabajar con ella.

Así como ha ido creciendo el uso de esta tecnología, también la complejidad, la carga de procesamiento en el servidor, el almacenamiento necesario y la capacidad de escalabilidad y resiliencia a fallos han aumentado de manera considerable, dando paso a nuevas alternativas para alojar aplicaciones y servir las de la más automatizada y optimizada posible.

Evolución

Desde un inicio, las aplicaciones web se pensaron para brindar servicios y funcionalidades a través de internet, como toda tecnología ha evolucionado y crecido cada vez más, acoplando funcionalidades, características y facilitando la accesibilidad del usuario a estas aplicaciones. Las primeras aplicaciones web que aparecieron eran unidireccionales, permitían al usuario realizar actividades de lectura sin interactuar con la aplicación, y ahora estas aplicaciones se han convertido en herramientas para cualquier actividad que el usuario quiera obtener.

Cabe mencionar que estas interacciones se dan gracias a lo que se conoce como servidor web, donde un cliente realiza una o varias peticiones al servidor y este responde a dicha petición a través de una página web interpretada por un navegador. Estas peticiones se hacen con el protocolo HTTP y son ejecutadas dependiendo si las aplicaciones son del lado del cliente o del lado del servidor, en caso de que las peticiones se ejecuten del lado del cliente, el servidor se encarga de brindar el código de las aplicaciones web al cliente para que sea ejecutado por el navegador. Por otra parte, en caso de las peticiones que se ejecutan del lado del servidor, el mismo servidor se encarga de ejecutar la aplicación para generar código HTML y devolverlo al servidor para que finalmente envíe este código generado al cliente a través del mismo protocolo HTTP.

Todo inició con la web 1.0 a partir del año 1990 y como se mencionó anteriormente, en este caso solo se permitía una comunicación unidireccional, los datos eran completamente estáticos y el cliente únicamente podía realizar actividades de lectura, sin interactuar con la aplicación. Esta característica interactiva aparece en la web 2.0, alrededor del año 2004, pues en esta etapa los clientes ya tenían un cierto nivel de interacción con las aplicaciones, permitiendo acciones tanto de lectura como de escritura y es a partir de aquí cuando se empieza a popularizar la ejecución del lado del cliente debido a que los navegadores empezaron a potenciarse y la necesidad de ahorrar recursos empezó a crecer por la cantidad de usuarios que hacían peticiones a los servidores, “distribuyendo así la carga que recibían los servidores web entre sus clientes y por lo tanto, consiguiendo un Internet más escalable y con aplicaciones más potentes” (Guillén & Moldes, 2019, pág. 18). En esa época ya aparecieron las primeras redes sociales y prácticamente se inauguró la mensajería en línea, por lo que fue necesario empezar a desarrollar aplicaciones con capacidad de escalamiento.

En el año 2010 empezó la era de la web 3.0, aquí las aplicaciones web se podían interconectar entre sí, pues “Mientras la web 2.0 está gestionada por el propio usuario humano, la web 3.0 está gestionada en la Nube y ejecutada desde cualquier dispositivo con un alto grado de complejidad y personalización” (Latorre, 2018, pág. 5) haciendo que las compañías empiecen a migrar todas sus aplicaciones y sus respectivas infraestructuras a la Nube.

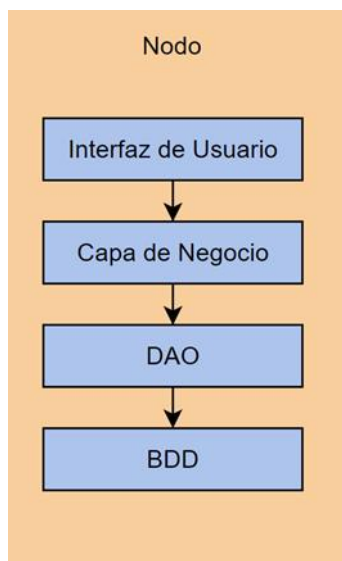
Modelos

Monolitos

La arquitectura o modelo de monolito consta de cuatro capas, las cuales corresponden a la capa de presentación (UI), capa de negocio, capa de acceso a datos (DAO) y capa de datos. La principal característica de las aplicaciones desarrolladas con esta arquitectura y por la que recibe su nombre es que justamente todas estas capas mencionadas anteriormente se encuentran integradas en un solo nodo.

Figura 1

Arquitectura monolito



Nota. El gráfico representa la estructura de una arquitectura monolito.

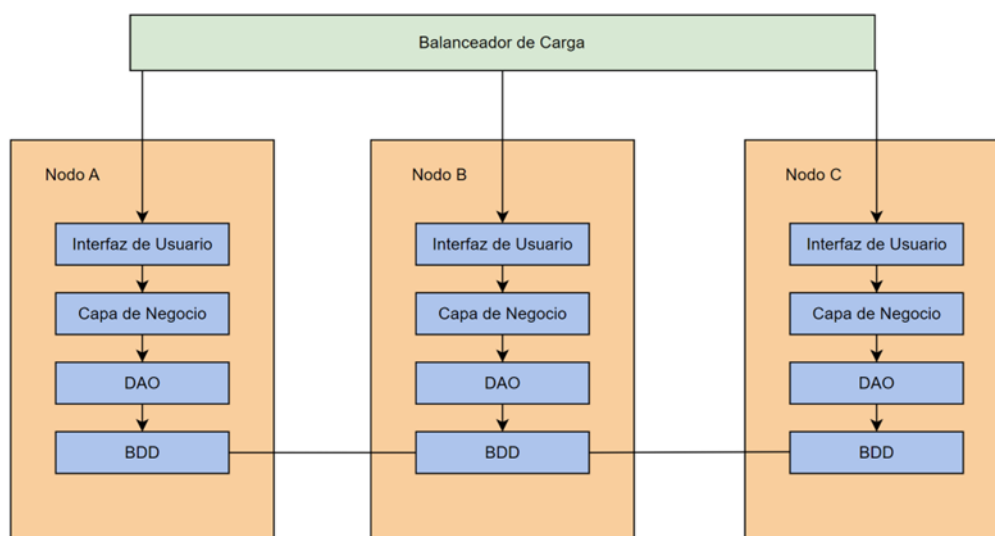
Esta arquitectura es útil para aplicaciones limitadas, apareció y se popularizó al inicio de las aplicaciones web porque en esa época aún no existía o no aparecía la necesidad de escalabilidad. Estas aplicaciones no consumían los recursos que consumen aplicaciones actuales, las aplicaciones modernas necesitan de “cambios constantes y rápidos sobre un sistema flexible para cumplir con la demanda del mercado tanto a nivel de actualizaciones como de nuevas funcionalidades a distintos tipos de dispositivos y entornos” (Lima, 2019, pág. 5).

Esto hace que hoy el principal inconveniente de esta arquitectura sea la escalabilidad, pues al estar integrado en un módulo, para lograr el escalamiento hay que duplicar la aplicación en múltiples módulos. Como se explicó anteriormente en un monolito las capas son dependientes unas de otras, esta dependencia hace que sea extremadamente complicado identificar cuellos de botella y en caso de identificarlos es imposible realizar un escalamiento independiente de los módulos debido a que por su estructura no se pueden separar dichos

módulos del resto de la aplicación, esto hace que este proceso sea ineficiente y sobre todo costoso. Las empresas que todavía conservan este tipo de sistemas con la arquitectura monolítica sean menos competitivas en el mercado en relación con las compañías que adoptaron arquitecturas modernas.

Figura 2

Escalabilidad en aplicaciones monolito



Nota. El gráfico representa un ejemplo en el cual se puede escalar una aplicación monolito

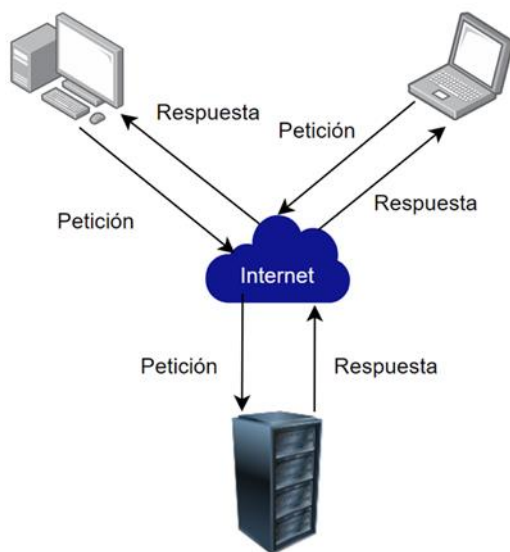
El código de las aplicaciones monolito es muy complicado de entender, pues al comprender tanto el Back-End como el Front-End en un sólo código este se vuelve extremadamente volátil, es decir, que tiene un alto riesgo de generar un error o errores en cadena en caso de que se modifique una sola parte de dicho código. Mientras más cambios o funcionalidades se agreguen, el código tendrá más dependencias, lo que hace que este tipo de aplicaciones se puedan implementar si la aplicación es lo más simple posible en temas de funcionalidad, es decir, que no se necesite añadir características complejas o se requiera escalabilidad.

Cliente Servidor

El modelo Cliente-Servidor es un enfoque arquitectónico para una aplicación web, este modelo divide la aplicación en dos partes, el cliente, que es una interfaz donde el usuario puede interactuar armando peticiones y enviando dichas instrucciones mediante internet hacia el servidor, el cual procesa la información obtenida y según el resultado del proceso envía una respuesta al cliente. El cliente puede ser tanto un usuario como otro servidor que se vale de un recurso expuesto por medio de un servicio web que puede ser lectura de registros de una base de datos, cálculo de valores enviados desde el cliente, etc.

Figura 3

Modelo cliente servidor



Nota. Este gráfico representa el funcionamiento del modelo cliente-servidor.

Este modelo inserta el concepto de descentralización de los procesos, haciendo que las tareas sean más eficientes, ya que, separa las tareas de procesamiento y presentación y se puede focalizar los recursos en las tareas más pesadas del servidor. Otra característica del modelo es que tiene posibilidad de escalar de manera horizontal, es decir, se pueden adicionar

servidores para aumentar la capacidad de recibir solicitudes del cliente sin aumentar la capacidad de procesamiento de dichos servidores, esto se traduce en un menor coste al momento de escalar la infraestructura.

Modelo N Capas

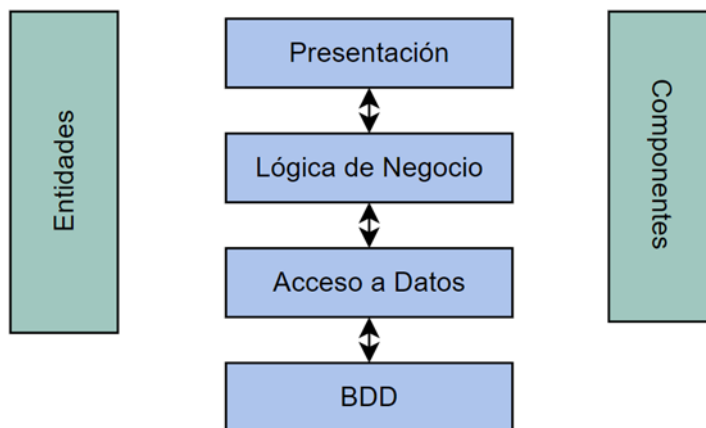
El modelo de N Capas es un diseño de aplicaciones en el cual se divide la funcionalidad de una aplicación en distintas capas, las cuales son adyacentes. Las capas tienen funciones específicas y que sirven a sus capas adyacentes, así, el modelo sirve como una pila de procesamiento de datos haciendo que cada capa sea un módulo que se puede modificar sin afectar a las otras capas y se pueda escalar los módulos donde más se necesite.

El modelo de N Capas se divide en las siguientes capas:

- **Capa de presentación:** Es la capa de interfaz de usuario donde se consumen la mayoría de las funcionalidades y una puerta al exterior de la aplicación web.
- **Capa de lógica o capa de negocio:** La capa de negocio contiene toda la lógica central de la aplicación, es decir, todas las reglas de negocio y procesos que realiza el aplicativo para devolver un resultado a la capa de presentación.
- **Capa de acceso a datos o persistencia:** Es la capa que realiza el acceso a los repositorios de datos, se encarga de escribir, leer sobre los datos de la aplicación. Lleva el nombre de persistencia ya que persiste sobre los datos de manera permanente para que los datos estén siempre disponibles.

Figura 4

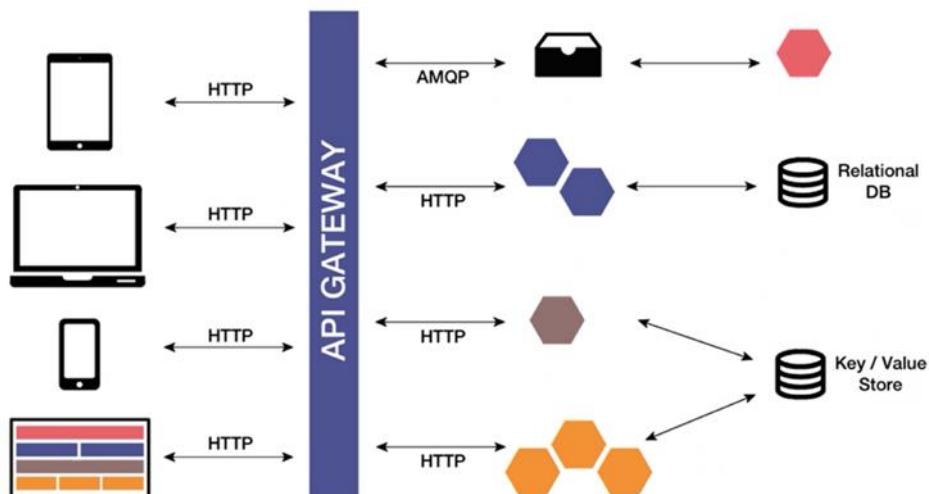
Modelo de n capas



Nota. Este gráfico representa el modelo N capas tradicional.

Microservicios

La arquitectura de Microservicios tiene la característica de ejecutar múltiples servicios de manera individual, siendo desplegados de manera automática cuyo medio de comunicación son recursos API que están basados en protocolos HTTP. Es decir, sus aplicaciones están divididas en módulos, haciendo que cada uno de sus componentes pueda funcionar de manera independiente y se puedan utilizar varias tecnologías, bases de datos y lenguajes de programación en cada uno de los módulos, los mismos que por lo general se dividen por objetivos comerciales.

Figura 5*Arquitectura de microservicios*

Nota. Este gráfico representa la arquitectura de microservicios. Tomado de (Zikky y otros, 2019)

A diferencia de otras arquitecturas como la de monolito, la principal característica de los Microservicios es la escalabilidad, actualmente la mayoría de las empresas grandes están usando este tipo de arquitecturas debido a que según Rodríguez et al. (2020) los microservicios se conciben como un estilo arquitectónico enfocado en desarrollar una aplicación mediante un conjunto de servicios, independientes, escalables, colaborativos, evolutivos, capaces de auto adaptarse a ecosistemas complejos.

Infraestructura de TI

Definición

Margarita Trejo define la infraestructura de TI como el hardware, software, redes, instalaciones, etc., requerida para desarrollar, probar, proveer, monitorizar, controlar o soportar aplicaciones y servicios de TI (2021). El avance de la tecnología han llegado a todos los

ambitos de la vida humana, por esa razón es que la implementación de esta es indispensable dentro del entorno empresarial. Con esto se consigue la integración de elementos, dispositivos y recursos tecnológicos que permiten almacenar, procesar, transmitir y procesar los datos que pueden criticar la toma de decisiones de las empresas.

A medida que una organización crece, se complica la administración de estas infraestructuras, por lo que se deben buscar alternativas para facilitar su gestión y garantizar un nivel de operación constante y efectivo, minimizando la cantidad de incidentes que puedan aparecer.

On-Premise

Es un modelo en el cual los elementos de software y hardware que conforman una infraestructura de TI están implementados y activos en un espacio físico, estos elementos suelen componerse principalmente por un servidor, bases de datos y load balancers. Todos estos elementos normalmente son administrados y mantenidos dentro de las instalaciones de la organización, haciendo que los centros de datos y todos los dispositivos críticos sean completamente responsabilidad la empresa dueña de estos activos tecnológicos. Bajo este modelo las empresas tienen prácticamente control total sobre toda la infraestructura de TI, permitiendo que dicha infraestructura sea personalizable y se ajuste a las necesidades de la organización. Sin embargo, este modelo también suele generar muchos gastos en temas de mantenimiento y administración, ya que, genera costes extra teniendo en cuenta “el hardware, el software, el personal que lo gestiona, la infraestructura de red donde se crea, su mantenimiento y soporte, las copias de seguridad asociadas y el respaldo como un plan de recuperación ante desastres o la energía que consume” (Montilla, 2024, pág. 8).

Cloud Computing

Es un nuevo paradigma de trabajo en infraestructura informática, donde la disponibilidad de recursos tecnológicos como servidores, almacenamiento y bases de datos se obtiene por internet y bajo demanda, solo cuando se necesiten. Representa una transformación digital en la cual los recursos que antes dependían de espacio y configuraciones complejas de hardware puedan ser gestionados, monitoreados y adaptados desde cualquier parte del mundo sin realizar conexiones manuales ni tampoco mantenimiento físico a los equipos.

Las características esenciales de este nuevo paradigma según la definición de la NIST de 2011:

Auto servicio bajo demanda: El usuario puede aprovisionar unilateralmente los recursos computacionales que necesite y estos se consumen cuando se requieran, realizando la facturación de lo que se necesite.

Acceso amplio mediante la red: Se pueden acceder a los recursos aprovisionados desde cualquier lugar mediante mecanismos estandarizados que pueden ser heterogéneos, por ejemplo, plataformas pesadas (estaciones de trabajo o servidores) o livianas (computadoras de escritorio o teléfonos celulares)

Conjunto de recursos: Los recursos que se consumen deben ser la unión de varios agentes computacionales que están programados para servir a una cantidad amplia de consumidores. Los recursos pueden ser asignados o reasignados de acuerdo con la demanda de los consumidores de manera dinámica.

Rápida elasticidad: Las capacidades de los recursos aprovisionados pueden ser rápida y elásticamente escaladas o disminuidas según se requiera, esto se puede hacer tanto de manera manual como automática según las preferencias del usuario. Con esta característica, las capacidades disponibles para aprovisionar pueden parecer ilimitadas, siempre disponibles para ser adquiridas en cualquier momento.

Servicio medido: La Nube controla de manera automática el uso de los recursos aprovisionados mediante una capacidad de medición adecuada para cada tipo de servicio (almacenamiento, procesamiento, ancho de banda, seguridad, etc.), realizando la optimización del consumo y reportería de uso (pág. 6).

Existen varios modelos de servicio para entregar los recursos de la Nube, los modelos son:

Software as a Service (SaaS): Según Oracle (2024) “es un modelo de implementación de software en el que el proveedor de la Nube aloja las aplicaciones del cliente en su entorno de Nube”. En este nivel el cliente no gestiona de ninguna manera los recursos aprovisionados, solo ocupa las capacidades de la Nube y puede configurar parámetros respecto a esa aplicación, por ejemplo, requerir más espacio de almacenamiento para un servicio de almacenamiento en la Nube.

Platform as a Service (PaaS): Es un modelo que “ofrece a los clientes la ventaja de acceder a las herramientas para desarrolladores que necesitan a fin de crear y gestionar aplicaciones móviles y web sin tener que invertir en la infraestructura subyacente ni mantenerla” (Oracle, 2024). En este nivel el cliente tiene capacidades de configuración para el entorno de despliegue y gestión de las plataformas de desarrollo como Java, Go, Python, etc. Sin embargo, el usuario no puede administrar la infraestructura subyacente a la Nube, eso incluye servidores, red, sistemas operativos o almacenamiento.

Infrastructure as a Service (IaaS): Por último, en este modelo la Nube “permite a los clientes acceder a servicios de infraestructura a través de Internet según la demanda” (Oracle, 2024). La capacidad de los recursos aprovisionados es entregada a través de herramientas de administración de infraestructura, por ejemplo, PuTTY. En este nivel el usuario puede aprovisionar servidores virtuales con las características técnicas deseadas y con la capacidad

de poder desarrollar o desplegar aplicaciones, así como implementar varios servicios SaaS, también se tiene la capacidad de implementar otros recursos dentro de la infraestructura contratada por medio de configuraciones, por ejemplo, componentes de red, entre ellos firewalls, balanceadores de carga, etc.

La Nube se clasifica en varios tipos según la administración de la infraestructura para proveer de servicio al usuario final:

Nube pública: En esta clasificación la infraestructura que conforma los servicios de Nube está dispuestos a cualquier cliente por medio de internet. En este caso, “cualquier persona o un grupo de industrial puede acceder a estos servicios” (Rani, B. K., Rani, B. P., & Babu; 2003, p. 26), esto sin necesidad de pertenecer a una organización en específico, no deben mantener los recursos informáticos y todos los clientes pueden coexistir gracias la característica de uso de recursos.

Nube privada: Según Rani et al (2015) en este tipo “la infraestructura es usada por una sola organización y esta mantenida por la misma organización o por terceros” (pág. 26). Generalmente está alojada en un centro de datos de un proveedor contratado por el ente o en su propia infraestructura física. Este tipo de Nube provee un alto nivel de seguridad y control.

Nube híbrida: Es una combinación de una Nube pública y privada. En este esquema una organización puede conectar servicios provisionados entre las dos Nubes o separar aplicaciones según su criticidad para un mayor control en su propio esquema (privada) y para mayor rapidez y pruebas en un esquema externo (pública).

Comparación entre modelos On-Premises y Cloud Computing

Entre ambos modelos existen diferencias fundamentales que influyen en varios aspectos relacionados con la funcionalidad de los aplicativos en la Nube, entre ellos están “los

reducidos costos operativos y la flexibilidad de despliegue” (IBM, 2023). En este caso se evidencian los siguientes aspectos:

Rendimiento: Es una de las primeras consideraciones al comparar los dos modelos. En primera instancia, el rendimiento dentro de entornos On-Premises depende mucho de la potencia bruta que puedan proveer los equipos adquiridos y estos a su vez dependen de los componentes internos (CPU, GPU, RAM, etc.) además del mantenimiento y otros elementos que pueden proveer una alta calidad de servicio como UPS, Racks y ventiladores. En la Nube, todos los elementos son parte de una infraestructura disponible y su rendimiento no depende de mantenimientos ni configuraciones al hardware, sino que el proveedor, o en el caso de la Nube privada, la propia organización, se encarga de optimizar el uso, haciendo que el usuario final tenga el mejor rendimiento.

Escalabilidad: En este aspecto, el entorno On-Premises es más restrictivo dependiendo de los recursos que tenga disponible la empresa para adquirir más potencia computacional y realizar un escalado vertical o profesionales para poder realizar un plan de escalabilidad horizontal, en cualquier de los dos casos se debe mantener compatibilidad con las aplicaciones y procesos que tiene la organización. En el entorno Cloud disponemos de una capacidad para realizar escalado de manera más rápida, ya que, solo se escogen el tipo de recursos que se necesitan y se aprovisionan automáticamente, tanto de manera vertical como horizontal, además la Nube tiene la cualidad de escalar de manera elástica y de manera automática según el uso que tengan los recursos.

Seguridad: En un entorno On-Premises se tiene más control sobre el flujo de trabajo y en general los datos que circulan por la infraestructura tecnológica, además de poder realizar configuraciones muy específicas en relación a la entrada y salida de datos por medio de internet, sin embargo, la seguridad física sobre los servidores es otro aspecto a considerar, ya que, una persona con acceso al centro de datos tiene acceso a todo el flujo del negocio, por lo

cual se deben tener precauciones tanto sobre amenazas internas como externas. En un entorno Cloud se debe considerar amenazas externas y configuraciones de dispositivos de seguridad perimetral como firewalls y balanceadores de carga, para amenazas internas, dependiendo del tipo de Nube, el proveedor se encarga de este aspecto y garantiza la seguridad de los datos, así como la resiliencia a fallos y replicación para que no se pierda la información en caso de que una debilidad se vuelva en una amenaza.

Costos: En este aspecto hay una diferencia notable en la manera como se realizan los gastos tanto para adquirir como para mantener la infraestructura. En el modelo On-Premises se puede adquirir la infraestructura de manera física y mantenerla durante varios años, sin embargo, requiere de mantenimiento constante, así como un espacio especializado con condiciones especiales como aire acondicionado, seguridad y suministro energético para alcanzar un óptimo funcionamiento de todos los componentes, lo cual representa un gasto considerable, pero se realiza de manera focalizada, es decir, pocas veces en un periodo de tiempo. Por otro lado, el entorno Cloud tiene sus recursos disponibles de manera remota y solo se necesita una conexión segura hacia internet para acceder a su administración como a las aplicaciones que alojan, los costos se generan solo con el uso de su infraestructura y dispone de seguridades tanto internas como externas para evitar el uso indebido, no obstante, el gasto se realiza de manera diaria y no se tiene total certeza de la ubicación de los datos ni tampoco quien accede a estos, además, si se desea cambiar de proveedor puede resultar en una tarea compleja si la infraestructura depende mucho de las funcionalidades de un solo proveedor.

En definitiva, cada modelo tiene un enfoque diferente para proveer soluciones, aunque tienen diferencias claves que pueden resultar beneficiosas o perjudiciales para cada tipo de organización, por lo que no se puede determinar un modelo mejor que otro, sino, desde el análisis informático se debe aplicar el modelo que se ajusta a cada caso.

Migración a la Nube

Conceptualización

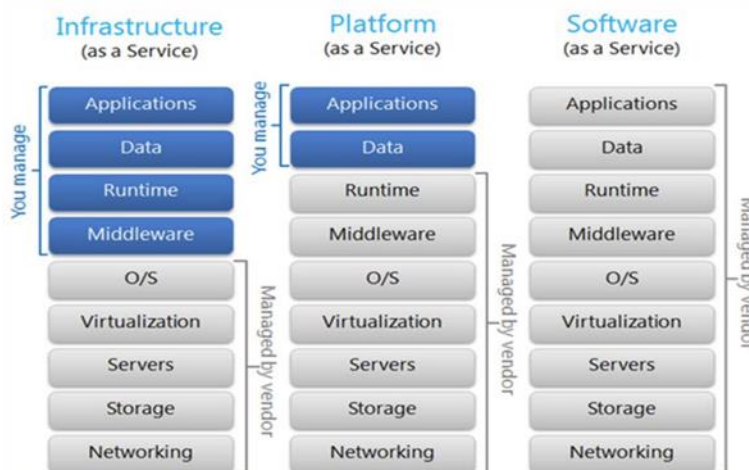
La migración a la Nube es algo que se ha popularizado a lo largo de los años, pues con la constante expansión de internet y de la aparición del modelo de negocio “as a Service”, las empresas empezaron a implementar este nuevo modo de hacer las cosas, migrando sus recursos locales desde su entorno On-Premise hacia la Nube, a través de los distintos proveedores que existen en el mercado (AWS, Google Cloud, Microsoft Azure), cuyo principal atractivo para estas empresas es que ya no se tengan que preocupar por el mantenimiento o escalabilidad de sus infraestructuras sino que únicamente paguen por el servicio que estos proveedores les ofrecen.

Existen tres modelos “as a Service” que estos proveedores ofrecen:

- **Infraestructura como servicio (IaaS):** En la que se ofrece los servidores, el almacenamiento y la red como servicio.
- **Plataforma como servicio (PaaS):** En la que se ofrece únicamente administrar el hardware y los sistemas operativos de los servidores.
- **Software como servicio (SaaS):** En la que se ofrece brindar el software necesario al cliente sin preocuparse de la instalación de paquetes o bibliotecas que se necesiten para que el usuario solo se encargue de usar como sea conveniente.

Figura 6

Modelos as a service



Nota. Este gráfico representa las características de los tres principales servicios de los entornos Cloud. Tomado de (Alfonso y otros, 2015).

La mayoría de las empresas escogen una de estas opciones porque les permiten reducir significativamente sus costos operativos, tienen opción de escalar su infraestructura sin los limitantes que un modelo On-Premise puedan presentar y facilita en gran medida la gestión de cada uno de los componentes de la infraestructura.

Evaluación de infraestructura existente y procesos críticos

Según la investigación de Diego Rosas (2022)

[...] son los procesos operativos que sirven al cliente durante la cotización, adquisición de equipos y soporte de estos procesos que contemplan los activos de información primordiales para la compañía y en los que se enfocará las actividades del proyecto (pág. 34)

Para una evaluación de procesos críticos lo primero es realizar un análisis al giro de negocio de la organización, para lo cual se revisan los objetivos, misión y visión dispuestos por

la organización al público. En este sentido, podemos hacer un estudio sobre los procesos de la organización y cuáles son indispensables para que se cumplan los objetivos de esta. Paso seguido, observamos la infraestructura necesaria y la arquitectura de la solución para que dichos procesos funcionen de manera óptima y cuáles son las condiciones de funcionamiento. Por último, se registran los datos encontrados mediante análisis para planear y estructurar las acciones a tomar para realizar la migración y el entorno destino alojar los procesos críticos de igual o mejor manera a como en el entorno origen.

Al realizar una migración de procesos e infraestructura se deben tomar varios parámetros para tener un alcance de los elementos que comprenden los procesos indispensables mencionados anteriormente. Entre estos parámetros se encuentran:

Componentes de hardware y software

En este caso se debe realizar un inventario de todos los componentes de hardware y software, así como sus configuraciones para que los procesos funcionen con normalidad

Redes y comunicaciones

Las configuraciones en redes son esenciales para comunicación y seguridad de los procesos, actualmente la mayoría de los sistemas funcionan en base a comunicaciones con otros servidores, para lo cual una correcta configuración de los sistemas de redes resulta en un funcionamiento óptimo

Seguridad

Se realiza una revisión a las políticas de seguridad implementadas, eso incluye controles de accesos, políticas de almacenamiento de contraseñas, cifrado de datos y tratamiento de información sobre procesos, tales como manuales, presentaciones, diagramas de arquitectura, etc.

Gestión de datos

Se realiza una evaluación de gestión de datos, esto incluye copias de seguridad y medios de almacenamiento para datos históricos, recuperación de data ante desastres y políticas de retención además de procesos de verificación de integridad de datos y prácticas de respaldo.

Costos

Para examinar los costos operativos se analiza la infraestructura, los costos de mantenimiento y suministros como energía y refrigeración, así como una actualización de componentes y un escalamiento horizontal o vertical.

Con estos parámetros, podemos analizar la infraestructura y sus procesos críticos mediante un informe que pueda utilizarse para planear qué acciones tomar para que el desarrollo de la migración sea exitoso.

Evaluación de Seguridad

En temas de seguridad, la tecnología Cloud tiene un conjunto de políticas y tecnologías diseñadas específicamente para proteger los datos del usuario, pues cada proveedor de los servicios en la Nube protege los datos de las organizaciones que contratan sus servicios en sus propios datacenters. Estos deben cumplir con rigurosos mecanismos de seguridad de protección de datos pues según Ramírez et al. “estas empresas se encargan de desarrollar sistemas y programas de seguridad (hardware y software) para cuidar de la integridad de los datos de los usuarios” (pág. 117).

A partir del estudio de Álvarez sobre (Las necesidades de la seguridad en la Nube) se deben tener en cuenta cinco puntos a la hora de contratar algún servicio en la Nube tomando en cuenta la seguridad:

Encriptación: Hay que verificar las opciones de cifrado que ofrecen los proveedores de tecnología Cloud.

Políticas de almacenamiento: Se debe revisar las políticas de estos proveedores sobre el almacenamiento de los datos.

Políticas basadas en roles: Verificar las políticas que tienen los servicios en la Nube sobre el establecimiento de roles y el manejo de usuarios para poder llevar un control y definir a quién puede acceder a la información de la organización.

Software como servicio: Se recomienda contratar un proveedor de Nube que cuente con VPN que permita conectar la red de la Nube contra la red de los clientes.

Cumplimiento: Tener en cuenta que, al contratar este tipo de servicios, las empresas dependerán de las legislaciones y regulaciones de los países a los cuales los proveedores de la tecnología Cloud pertenecen, por lo tanto se debe escoger un proveedor que se ajuste a las políticas y necesidades de la organización que los contrate.

Planificación

Al tener las evaluaciones de infraestructura existente, procesos críticos y seguridad se procede a tomar los datos obtenidos para realizar una identificación de objetivos en el proceso de migración. Como en todo proceso, se deben definir metas a lograr, por lo cual, identificar a qué se desea llegar con esta migración es más importante que cualquier puesta en práctica de técnicas para migración de datos o evaluación de tecnologías para lograr este fin. Una posible meta puede ser llegar a un mejor estado que el que se tenía anteriormente, sin embargo, existen más objetivos a lograr, como por ejemplo, valorar el rendimiento de un proceso crítico en otro entorno para determinar si es necesario un cambio en el modelo que se maneja actualmente por otro y todas las variables que comprende (número de usuarios, conexiones a las bases de datos, disponibilidad, manejo de seguridad, etc.)

Al definir claramente los objetivos, sigue la realización de un diseño de arquitectura en la Nube, la cual es un conjunto de elementos de computación en la Nube constituidos de tal manera que sea una estructura organizada y eficiente para el alojamiento de aplicaciones, servicios y datos en un entorno Cloud. Al realizar esta arquitectura ya podemos ir definiendo características clave para el caso en particular que estamos tratando, como puede ser:

- Tipo de Nube que se va a utilizar para esta arquitectura (privada, pública o híbrida)
- Tipos de servicios a utilizar dentro del entorno Cloud (instancias Serverless, servidores virtuales configurables o servicios de terceros que ofrece la Nube)
- Tipos interfaces para comunicar sistemas (conexiones FTP, SSH o consumo de web Services por medio de HTTP)
- Gestión de seguridad y acceso a recursos (VPN, configuración de tokens de acceso para consumo de recursos, etc.)

Al definir las características de nuestra arquitectura, podemos definir las fases para desplegar toda la arquitectura planteada en la Nube, el traspaso de procesos críticos hacia la Nube, realización de pruebas, capacitación del personal que administrará la infraestructura, realización de planes de contingencia y puesta en producción.

Ejecución

Para realizar la migración a la Nube se suelen elegir una de las siguientes estrategias:

- **Rehosting:** Esta estrategia también conocida como Lift and Shift, se define como el traslado de las aplicaciones On-Premise a la Nube, logrando esto sin realizar cambios significativos en la arquitectura definida, es decir, se mueven las aplicaciones de forma directa, básicamente copiando la infraestructura con todas sus configuraciones tal cual se encuentran en el entorno On-Premise, siendo especialmente útil en aquellas

aplicaciones que no requieren aprovechar al máximo las optimizaciones y características que ofrece la tecnología Cloud, haciendo que por este motivo esta estrategia sea mucho más económica que las demás.

Esta opción es ideal en el caso que se requiera una rápida migración al entorno Cloud o si se necesita alojar sistemas antiguos, debido a que prácticamente su complejidad es menor en comparación de otras estrategias. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, a pesar de ser la opción más rápida y barata al momento de su ejecución, es muy susceptible a la duplicación de infraestructura a la hora de escalar, lo que puede resultar en un aumento de costos desmedido en un futuro, ya que, al copiar la infraestructura On-Premise tal cual, se suele tener el mismo problema con el tema de la escalabilidad.

- **Refactoring:** Como su nombre lo indica, esta estrategia se encarga de modificar la infraestructura y reestructurar las aplicaciones para adaptarla al entorno Cloud. El objetivo es aprovechar todas las características y funcionalidades que esta tecnología tiene para ofrecer, mejorando su mantenibilidad y rendimiento en este entorno.

Esta opción es más compleja de ejecutar que la anterior, pues se debe invertir más tiempo y esfuerzo para modificar la infraestructura y adaptarla al entorno Cloud sin comprometer el funcionamiento y las características funcionales que ya se tienen en el entorno On-Premise. En este caso existe una curva de aprendizaje, ya que, cada proceso depende del proveedor que se elija, por lo que se debe tener en cuenta gastos en capacitaciones y gastos operativos para todo lo que la infraestructura Cloud requiera adaptar.

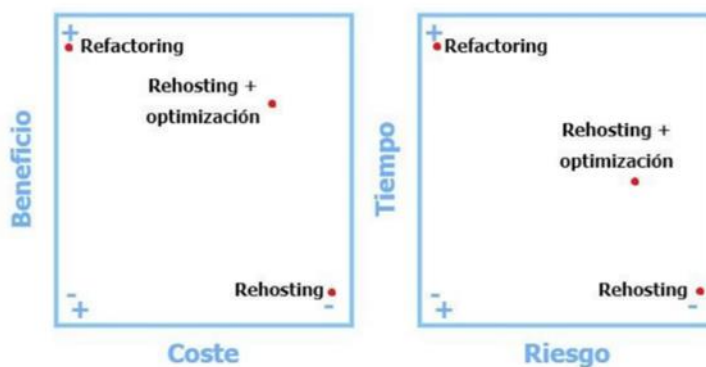
- **Rehosting + Optimización:** Es la combinación de las dos estrategias antes mencionadas, en esta estrategia se busca migrar la infraestructura conservando ciertas características de la infraestructura local. Esto da paso a la implementación de mejoras

a dicha infraestructura, adaptándola de cierto modo para que se puedan aprovechar las optimizaciones y principales características de la tecnología Cloud.

Esta opción se pone en práctica cuando se requiera eficiencia en cuanto al rendimiento, pero sin perder su mantenibilidad. De acuerdo con Martínez (2023), después de hacer una comparativa, se dijo que la mejor opción en términos económicos, los beneficios que pueden ofrecer estas estrategias y el tiempo que puede tardar su ejecución es el Rehosting + Optimización, pues “da un beneficio bastante alto en relación con el coste y un tiempo medio de aplicación con un riesgo no muy elevado” (pág. 51).

Figura 7

Refactoring vs rehosting vs rehostig + optimización



Nota. Este gráfico representa una comparativa entre las diferentes estrategias de migración.

Tomado de (Matínez, 2023)

Monitorización

Ya realizada la migración de los componentes se procede con el monitoreo de la infraestructura para constatar el óptimo funcionamiento de los procesos. La monitorización consiste “en realizar pruebas de eficiencia que permitan determinar el correcto funcionamiento de cada una de las aplicaciones migradas al Cloud” (Rodríguez y otros, 2018, pág. 23). En esta etapa, la supervisión del rendimiento de los recursos provisionados es esencial para detectar

problemas lo más pronto posible y gestionar posibles soluciones para que el servicio siga en funcionamiento hacia los usuarios finales.

Podemos usar los mecanismos de la propia Nube para visualizar métricas de funcionamiento y utilización de recursos, o conectarnos por medio de diferentes herramientas para poder realizar el análisis directamente en los recursos aprovisionados como servidores y dispositivos de red. Por ejemplo, conectarse mediante el protocolo SSH hacia la línea de comandos de un servidor Linux y ejecutar diferentes paquetes o herramientas para verificar el estado del sistema como puede ser el comando top, este verifica el estado y el consumo de recursos de las aplicaciones. Otra manera de monitorear es con los logs de las aplicaciones desplegadas o del mismo servidor para verificar los tipos de errores que están ocurriendo dentro del sistema, encontrar la causa de los errores.

Capítulo III: Desarrollo

Antecedentes

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) es una entidad rectora del transporte multimodal, es decir, que se encarga de planificar, gestionar y ejecutar todo tipo de proyectos relacionados con las diferentes modalidades de transporte existentes en el país. El MTO tiene bajo su cargo cuatro tipos de competencias, las cuales son:

- Infraestructura del Transporte.
- Transporte Terrestre.
- Tránsito y Seguridad Vial.
- Transporte Aéreo.
- Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial.

En vista de estas competencias, nace la necesidad de elaborar una solución tecnológica para facilitar la gestión de los procesos administrativos mediante sistemas y módulos informáticos, a través de la Dirección de Tecnologías de la Información del MTOP. Frente a esta necesidad se gestiona el desarrollo del Sistema de Información de Transporte y Obras Públicas (SITOP)

SITOP es una herramienta informática encargada de "administrar los procesos y trámites institucionales agregadores de valor y de apoyo que son parte de la gestión institucional" (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2017, pág. 4). Además de esto el sistema realiza tareas de "seguimiento de la gestión de los proyectos, desde su planificación hasta su terminación o liquidación, en las diferentes etapas técnicas, presupuestaria-financiera y jurídica" (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012, pág. 2).

Este sistema está basado en el patrón Modelo Vista Controlador (MVC), desarrollado con la tecnología Java Enterprise Edition e implementando la arquitectura monolito, teniendo en cuenta que el SITOP contiene varios módulos dispuestos para cada uno de los actores participantes dentro de la ejecución de proyectos. Los funcionarios y servidores públicos que hacen uso del sistema deben únicamente desempeñar tareas reaccionadas con la institución, de lo contrario están sujetos a ser sancionados según la Ley Orgánica del Servicio Público según la gravedad de la falta.

Estado Pre-Migración

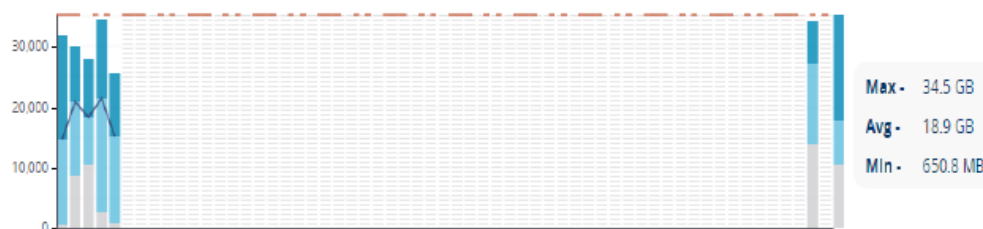
Desde el año 2010 hasta el 2023, los servicios y módulos tecnológicos se encontraban alojados en el Datacenter del MTOP, durante esos 13 años los sistemas funcionaron de manera ininterrumpida lo que a largo plazo ocasionó que algunos componentes sufrieran daños. El rendimiento de los componentes decayó y finalmente se produjeron pérdidas de servicio, pues en los últimos años ya no se disponía de ninguna clase de soporte en cuanto a

elementos de software y hardware se refería, debido a que la mayoría de los componentes y elementos del centro de datos habían cumplido con su vida útil.

El estado de los servicios alojados en estos servidores presentó inconvenientes debido a que el sistema empezó a presentar fallos catalogados como críticos por el MTOP, ya que, se generaba indisponibilidad del sistema SITOP y varios de los módulos que se utilizan en esta cartera de Estado, lo cual lamentablemente se traducían en una pérdida económica al no poder garantizar la alta disponibilidad del sistema SITOP. El sistema SITOP presentaba caídas diarias, lo que representaba una indisponibilidad significativa al mes, por lo general eran problemas de memoria, haciendo que los servidores colapsen porque se consumía casi la totalidad de la capacidad de memoria del servidor.

Figura 8

Uso de memoria del servidor



Nota. Este gráfico representa la capacidad de memoria del servidor del sistema SITOP On-Premise.

Si la caída del sistema se diera por fallos más graves, el SITOP podría estar fuera de servicio hasta 3 días, lo que en términos económicos se traduciría en una pérdida considerable para el Estado. Los servicios que se encontraban alojados en este Datacenter son considerados críticos para el MTOP, debido a que absolutamente todos los funcionarios, tanto externos como internos de esta cartera de Estado, utilizan el sistema de manera recurrente. De esta forma, la falta de disponibilidad presenta un problema no solo en términos económicos

como se expuso anteriormente, sino también en términos administrativos y operativos, ya que, no permite que los funcionarios desempeñen sus labores diarias con normalidad.

La infraestructura estaba compuesta por servidores tipo Rack con sus respectivos Blades y Storages, los cuales no contaban con soporte técnico debido al cumplimiento de su vida útil. El espacio de almacenamiento de los Storages o servidores de archivos ya no abastecía las necesidades generadas por el MTOP, debido a que estos sistemas de almacenamiento presentaban dificultades de aprovisionamiento a causa del modelo de estos sistemas.

Cada uno de los Storages contaba con sus respectivas fuentes de poder y sus tarjetas controladoras, las mismas que estaban conectadas por un canal de fibra de alto rendimiento a los respectivos Switches SAN para poder bajar la latencia y lograr una transmisión de datos con menor cantidad de pérdidas. El objetivo era garantizar la transaccionalidad de la data generada por el SITOP, sin embargo, debido a limitaciones de infraestructura no fue posible respaldar completamente la data transaccional crítica que se encontraba en estos equipos, así como las Máquinas Virtuales (MV) alojadas en estos servidores y tampoco el sistema operativo del sistema, lo cual presentaba también un riesgo de pérdida de datos sensibles en caso de que los servidores se dañaran definitivamente.

El sistema SITOP se encuentra dividido de la siguiente manera:

- Front-End.
- Back-End.
- Servidor de Aplicaciones.
- Base de Datos (BDD).

El sistema SITOP fue diseñado y desarrollado bajo la arquitectura JavaServer Faces (JSF), utilizando el framework Richfaces para el Front-End mientras que para el Back-End se utilizó Java y el Java Persistence API (JPA) para gestionar la capa de persistencia del sistema. Debido a la falta de soporte técnico, tampoco se contaba con licenciamiento actualizado de las aplicaciones de administración de los servidores, por lo que operaban con versiones desactualizadas.

Estos servidores, en hardware y software, estaban obsoletos, pues además de los problemas detallados de licenciamiento de software, muchos de los componentes operativos y/o dañados que se encontraban en estos servidores ya no son fabricados por sus respectivas empresas. Además, por temas presupuestarios no se había podido realizar el proceso de adquisición de nuevos equipos, ya que, los costos que en la actualidad se manejan con los dispositivos pertenecientes a una infraestructura física son muy altos, como resultado fue necesario buscar otras alternativas.

Análisis de los componentes del Sistema SITOP bajo la modalidad On-Premise

Tabla 1

Detalle de los componentes del sistema SITOP

Descripción	Observación
Es un servidor de aplicaciones de código abierto el cual permite implementar aplicaciones de JavaEE, encargándose completamente de todo el ciclo de vida de dichas aplicaciones.	JBoss Esta versión se encuentra desactualizada y no se puede actualizar debido a que la versión actual funciona con jdk 1.8 y posteriores por lo que dicha versión no es compatible con el sistema On-Premise. En versiones desactualizadas, el Apache Tomcat es vulnerable a los ataques DDoS bajo ciertas condiciones. Sin embargo, esta vulnerabilidad fue corregida en las versiones posteriores, pero al no ser compatible con el sistema, hay que estar pendientes de dicha vulnerabilidad.

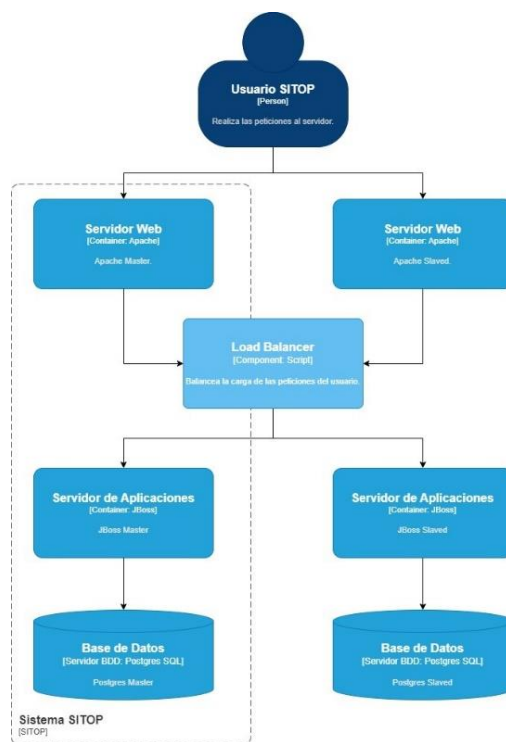
Descripción	Observación
Es un sistema gestor de BDD de tipo SQL.	<p style="text-align: center;">Postgres SQL</p> Funciona correctamente siempre y cuando la memoria RAM de los servidores no presenten inconvenientes. Considerando que el sistema depende de la memoria de los servidores, cuando alcanza su límite la base de datos colapsa y se cae el sistema, siendo este un problema recurrente.
Gestiona las peticiones de los usuarios del sistema, dirigiéndolas a los servidores de aplicaciones JBoss.	<p style="text-align: center;">Apache Cluster</p> Se suelen quedar sin memoria RAM por lo que es necesario reiniciar los servidores JBoss cada vez que esto sucede. Debido al volumen de solicitudes recibidas en el servidor de aplicaciones era necesario reiniciar los servidores de 2 a 6 veces al día
Es en donde se encuentran el sistema SITOP y cada uno de sus módulos.	<p style="text-align: center;">JBoss Cluster</p> Cuando los servidores JBoss se caen (Principal y Backup) debido a los problemas de memoria mencionados, la BDD también se cae y por lo tanto los usuarios no pueden acceder al sistema SITOP ni a ninguno de sus módulos.
Es en donde se encuentra la BDD Postgres SQL antes mencionada.	<p style="text-align: center;">BDD Cluster</p> Para solventar estos problemas de memoria se tenía implementado un script que se encargaba de desactivar todas las conexiones a la BDD. Este script se ejecutaba cada 2 horas. Si no se realizaba esta acción, la BDD inevitablemente se caía y las aplicaciones dejaban de funcionar.
Son los servidores que se encargan de registrar y sincronizar las acciones que realizan los usuarios en el sistema SITOP.	<p style="text-align: center;">Servidores de Sincronización y Respaldo</p> Como eran los encargados de registrar las actividades que realizaban los usuarios en el servidor activo dependían directamente del funcionamiento ininterrumpido de todos los servidores. Por tanto, al fallar los sistemas provocaban pérdidas de datos de aquellas operaciones que al momento estaban corriendo.
Se encarga de balancear la carga hacia los servidores en donde se encuentra la BDD.	<p style="text-align: center;">Load Balancer BDD</p> Este balanceador de carga está encargado exclusivamente de gestionar la BDD, para evitar que la memoria RAM se llegue a su límite con tanta frecuencia.

Nota. Esta tabla muestra la descripción y su respectiva observación de los componentes del sistema SITOP en el entorno On-Premise.

Estos componentes se encontraban funcionando bajo la siguiente arquitectura:

Figura 9

Diagrama de arquitectura C4 del SITOP



Nota. Este gráfico representa la arquitectura del entorno On-Premise del sistema SITOP.

El sistema SITOP se encontraba operando bajo la modalidad On-Premise con la infraestructura y los componentes antes descritos, teniendo como principal problema las versiones desactualizadas y carga computacional desmedida en los componentes. Las soluciones que se brindaban hasta entonces eran parches encargados de solventar fallos específicos y mientras más tiempo transcurría, estos inconvenientes se volvían más recurrentes; a pesar de que se evaluó la posibilidad de actualizar los componentes, esta solución no fue viable por la alta complejidad de desarrollo y tiempo que esto conllevaba. Realizar esta actualización requería cambiar toda la estructura a nivel de código y de infraestructura para que el sistema SITOP opere con todas sus funcionalidades.

Además, al estar funcionando con herramientas y técnicas de programación incompatibles, tanto el Front-End, el Back-End y la manera en la que estaba construida la base de datos dificultaba todavía más el cambio que se necesitaba realizar en caso de una actualización de tecnologías, ya que, esto se traducía en rehacer el sistema prácticamente desde cero, implicando una fuerte inversión de dinero, personal y tiempo. Por eso el MTOP se vio obligado a buscar una solución para mejorar el rendimiento del sistema, brindar seguridad frente a las vulnerabilidades, reducir costos en el proceso de actualización contemplado, garantizar la escalabilidad del sistema y satisfacer la necesidad del MTOP de cumplir con una alta disponibilidad.

Planificación

Se definieron varios aspectos para lograr migrar el sistema a la Nube de manera correcta, haciendo especial énfasis en el rendimiento, escalabilidad, seguridad y costos.

Rendimiento

Para el rendimiento se consideran los tiempos de respuesta que debería dar el sistema cuando el usuario recibe solicitudes, procesa la data y devuelve la respuesta al usuario. Estos tiempos no deben considerar la latencia que puede tener el usuario o los tiempos que tardaría si el sistema consume servicios externos al SITOP, por el contrario, solo se toma en cuenta el tiempo que tarde el servidor en devolver la respuesta solicitada.

Al implementar estas soluciones en la Nube, los tiempos de respuesta se reducen considerablemente, por lo tanto, los tiempos que debería manejar el servidor en el entorno Cloud no deberían superar los tiempos que maneja el entorno On-Premises. Para esto, es de primera necesidad que el sistema tenga alta disponibilidad, es decir, que los servidores se configuren y aprovisionen para garantizar que el sistema esté disponible los 7 días de la semana, las 24 horas del día.

Escalabilidad

El sistema SITOP debería escalar horizontalmente según los requerimientos que el sistema tenga, debe poder distribuir cada componente a servidores específicos y que puedan responder a cada petición de los 1000 a 3000 usuarios que tienen acceso diariamente a la herramienta. En el entorno Cloud existe la posibilidad de aprovisionar almacenamiento, memoria o cualquier componente de manera elástica. Siendo un espacio configurable para que se adapte al número de peticiones que pueda recibir el servidor sin necesidad de interrumpir su funcionamiento.

Seguridad

Teniendo en cuenta el siguiente artículo:

“Cuando las entidades del sector público contraten servicios tecnológicos a terceros, deberán hacerlo con proveedores que garanticen que los datos se encuentren en centros de cómputo que cumplan con estándares internacionales de seguridad y protección.

Además, los datos deberán ser clasificados tomando en cuenta su criticidad y valor de la siguiente manera:

1. Reservado: Datos que la divulgación no autorizada podría causar daños o lesiones graves, incluida la muerte de las personas identificadas en la información, o menoscabar significativamente la capacidad del gobierno para desempeñar sus competencias legales.
2. Confidencial: Datos protegidos contra la divulgación y que sean altamente sensibles o estén legal, reglamentaria o contractualmente restringidas de su divulgación a otros organismos públicos.

3. Abierto: Datos no restringidos fácilmente disponibles para el público en sitios web y conjuntos de datos públicos abiertos.

La información o los datos específicamente clasificados como reservados y confidenciales por motivos de seguridad nacional y pertenecientes al Estado ecuatoriano deberán estar alojados en centros de datos o plataformas informáticas ubicados en territorio ecuatoriano.” (Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación; 2022, Artículo 146).

El protocolo HTTP debe usarse siempre como método de comunicación entre los componentes del SITOP. Se debe mantener actualizados todos los componentes del SITOP para evitar vulnerabilidades y para la monitorización del sistema se podrá usar el Dashboard propio del servicio Cloud. El funcionamiento anterior de la MTOP mantenía toda la información en los servidores físicos, teniendo el control de la confidencialidad. Con el traslado a la base de datos que estará en la Nube bajo ningún concepto podrá tener datos reservados ni alojar datos clasificados como confidenciales.

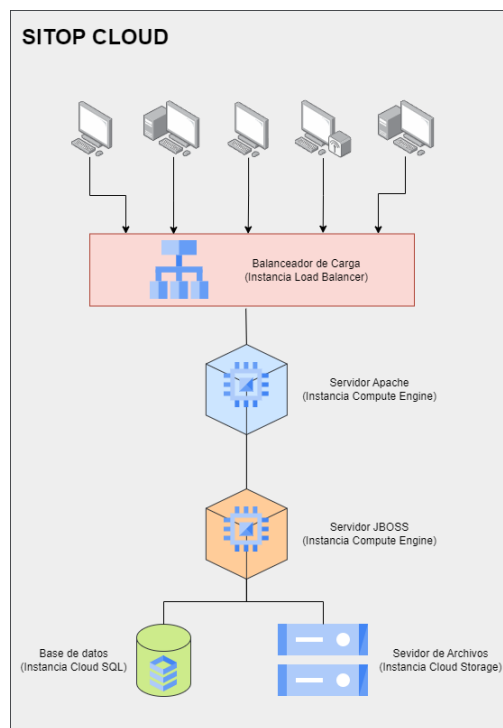
Costos

Al ser una entidad del Estado, el tema de los costos fue el parámetro más importante a tomar en cuenta para la toma de decisiones en cuanto a qué opción de Nube implementar. Desde un inicio se sabía que se iba a elegir la opción más accesible que cumpla con las necesidades especificadas, se manejaron tres opciones, las cuales eran empresas externas encargadas de servir como intermediarios para la contratación y posterior implementación del nuevo sistema SITOP en la Nube, la empresa elegida fue aquella que ofrecía sus servicios con un menor costo de remuneración.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se propuso la siguiente arquitectura:

Figura 10

Diagrama de arquitectura propuesta SITOP Cloud



Nota. Este gráfico representa la arquitectura del entorno Cloud del sistema SITOP.

Al momento de elegir la opción de la Nube, no se tuvo mucha libertad en la elección del proveedor de servicios Cloud, debido a que la decisión dependía directamente del precio ofertado por la empresa externa. La empresa hizo el presupuesto tomando en cuenta los servicios de Google Cloud Platform (GCP), propuesta que cumplía con todos los requerimientos antes mencionados.

Se consideraron las aplicaciones y componentes compatibles con la solución Cloud mencionada, por lo que se tomó en cuenta una variedad de tecnologías y servicios que se ofrecían dentro de GCP para la migración del sistema SITOP y asegurar que dicho sistema funcione de manera correcta y eficiente en el entorno Cloud.

Proceso de Migración

Para la migración del sistema SITOP hacia la Nube se escogió la estrategia de "Rehosting + Optimización", donde se planea trasladar el sistema de un modo similar a como está constituido en el entorno On-premises. Sin embargo, se planeaba implementar mejoras en la infraestructura como la utilización de servicios "Serverless" para una optimización de recursos y alta disponibilidad del sistema. Con el propósito de iniciar el proceso se utilizó la Nube pública Google Cloud bajo la supervisión de un proveedor externo que asesora al personal del MTOP para el aprovisionamiento de recursos, conexiones e implementación de nuevas tecnologías en el proceso de optimización.

Como primer paso se respaldó todos los recursos que se migrarán, incluyendo los servidores de aplicaciones y sus configuraciones, la base de datos del sistema SITOP y recursos almacenados en servidores de almacenamiento, como documentos PDF o imágenes de respaldo de los procesos del sistema.

A continuación, se realizó el aprovisionamiento de los recursos dentro de la Nube, para esto se ejecuta una especificación de la infraestructura y su equivalencia en el entorno Cloud, en el caso de que no exista un recurso con las mismas características en dicho ambiente. También se toma en cuenta la ubicación de los recursos aprovisionados para escoger el que implique la menor latencia en contraposición con el entorno On-Premises que, al estar dentro de la infraestructura física del MTOP, no se consideran los aspectos antes mencionados.

Los recursos aprovisionados son los siguientes:

- Un servidor de tipo Linux con distribución CentOS, la región de los servidores se encuentra en el lado oeste de los Estados Unidos al tener menor latencia. Las características de hardware incluyen 8 procesadores virtuales, 8 GB de memoria RAM y

50 GB de almacenamiento. El servicio de Google Cloud utilizado para realizar esta tarea es denominado Compute Engine.

- Un servidor de tipo Linux, en esta ocasión, dentro del entorno On-Premises se disponía de un servidor con distribución Redhat, sin embargo, por inconvenientes de licencia se opta por CentOS. Las características de hardware son 8 procesadores virtuales, 49 GB de memoria RAM y 50 GB de almacenamiento. De la misma forma, este servidor fue creado mediante el servicio Compute Engine, en la misma región de los Estados Unidos que el anterior.
- Para la base de datos que requiere el sistema se aprovisiona una instancia de Postgres en modalidad Serverless en el servicio denominado Cloud SQL. Esto coincide con la estrategia de migración elegida.
- En el apartado de almacenamiento se realiza el aprovisionamiento de un bucket de datos por medio del servicio Serverless denominado Cloud Storage
- En la infraestructura On-Premises existe un balanceador de carga para aliviar la carga de las conexiones, por lo cual también se aprovisiona en este ambiente el mismo componente por medio del servicio de Google Cloud llamado Load Balancer.

Al tener aprovisionados los recursos se realizan en primera instancia las instalaciones de servicios en cada servidor, incluyendo servidores de aplicaciones, configuraciones de red y componentes de software. Los siguientes componentes de software fueron instalados:

- Servidor web APACHE
- Servidor de aplicaciones JBOSS
- Certificados SSL

Siguiendo con el proceso se realizaron configuraciones de red para los otros servicios provisionados, como son la base de datos (Cloud SQL), el servicio de almacenamiento (Cloud Storage) y el balanceador de carga (Load Balancer).

Ya realizadas las configuraciones necesarias se procede a ejecutar un dump o respaldo de la base de datos de On-Premises para restaurarla en la instancia SQL provisionada y de los archivos del servidor de archivos para dentro del bucket de la instancia de Cloud Storage. Para ello se utiliza una ventana de mantenimiento para no interrumpir la transaccionalidad y tener datos actualizados para las pruebas respectivas, una vez realizada la copia se procede a restaurar dentro de los servicios provisionados. En este sentido se pasa a la restauración de todo el workspace de la base de On-Premises, haciendo que todos los esquemas necesarios para el funcionamiento del aplicativo estén disponibles.

Para las pruebas se intenta levantar el aplicativo SITOP dentro de los servicios provisionados, para lo cual son necesarios los servidores configurados e instancias de servicios escogidos para hacer las funciones de base de datos, almacenamiento y balanceador de carga. En ese sentido se debe levantar el aplicativo mediante los compilados y desplegarlo dentro del servidor de aplicaciones.

Por último, ya realizadas las pruebas de forma satisfactoria, se procede a subir el entorno de producción a la Nube, es decir, la base de datos volcada en un momento donde no haya transacciones, los archivos con las fechas más actualizadas y las direcciones IP configuradas para poder verlas por medio de la dirección del certificado web (mtop.gob.ec) y acceder a los recursos desde cualquier parte mediante internet. Al ingresar al sitio, se baja la ventana de mantenimiento y los usuarios usan el sistema de manera normal, haciendo que existan transacciones que pueden ser monitoreadas por Google Cloud si ocurre algún incidente.

Estado Post Migración

El sistema se encuentra funcionando correctamente equivalente a como se encontraba dentro del entorno On-Premises, con una arquitectura similar en lo que se refiere a conexiones entre componentes y modo de funcionamiento, pero con servicios en la Nube que reemplazan a algunos de los componentes de la infraestructura anterior. Como se puede visualizar en la Figura 9, los servicios en la Nube son la instancia SQL de la Nube de Google, el servicio de almacenamiento Cloud Storage y el balanceador de carga provisto por el servicio Load Balancer.

En este caso el servicio Compute Engine se encarga de proveer los servidores o máquinas virtuales para poder realizar las instalaciones de cualquiera de los servicios o herramientas necesarias para el funcionamiento del aplicativo dentro de un servidor, además de eso, el servicio permite acceder a un dashboard donde podemos visualizar las métricas de uso, así como la seguridad, configuraciones de seguridad, red y facturación. El servicio permite el acceso a través de una interfaz para conectarnos mediante el protocolo SSH directamente desde el navegador para resolver algún inconveniente menor o revisar alguna métrica sin la necesidad de instalar un cliente SSH como PuTTY o MobaXterm.

El servicio Cloud SQL provee de varios servicios de monitorización, así como gestión de procesos críticos de la base de datos en un solo lugar. Al ser un servicio Serverless no hay que preocuparse por configuraciones del gestor de base de datos directamente en consola ni compatibilidades con ciertos sistemas operativos, sino que podemos realizar las operaciones necesarias dejando de lado la infraestructura que contiene nuestra instancia de base de datos como por ejemplo, procesos de copia de seguridad, réplica, parches, encriptado y aumento de la capacidad de almacenamiento de manera elástica e inmediata, lo que mejora las capacidades de escalabilidad.

En referencia a Cloud Storage el servicio sirve para poder reemplazar al servidor de archivos, es decir, podemos subir todo tipo de datos no estructurados (archivos de texto, audio, imágenes, videos, etc.) y tener disponibilidad de ellos en cualquier ámbito, además de ofrecer resiliencia a fallos y evitar una pérdida, ya que, en On-Premises no hay una replicación de los datos almacenados, por lo cual, un fallo crítico puede significar la pérdida total de documentación sensible, en especial si es una institución pública como es el caso, donde formularios, evidencia y seguimiento del proceso por medio de archivos es fundamental para los procesos.

Asimismo, el servicio de Load Balancer realiza la tarea de balancear las conexiones y la carga operacional en los sistemas donde los usuarios realizan sus tareas. Un balanceador de carga resulta fundamental para el buen funcionamiento y la alta disponibilidad de sistemas que almacenan información y dicha información es requerida por otro usuario, además de unificar todos los recursos para ser accesibles desde un solo lugar y poder redirigir automáticamente las peticiones de los usuarios hacia el servidor que tenga menos carga o administrar los tiempos de espera entre todos los usuarios en línea. Dentro de la nueva arquitectura en la Nube, el balanceador es fácilmente gestionable y no se necesita de ningún tipo de hardware especializado como si pasa en un entorno On-Premises, dando la posibilidad a más libertad de configuración y poder implementar de manera más rápida este tipo de recursos más específicos para obtener un sistema altamente disponible.

Capítulo IV: Resultados

Resultados entorno On-Premises

Estadísticas de Rendimiento en ambiente On-Premises

Para la extracción de datos de rendimiento en el entorno On-Premises, el equipo técnico del MTOP implementó una herramienta para la monitorización y registro del estado de

servidores, red y hardware de red llamada "Zabbix", con este servidor podemos rastrear y monitorear activos de TI, así como dejar un registro histórico de los datos de rendimiento. Una de las características clave de este sistema de monitoreo es la facilidad de implementación, ya que, solo se necesita instalar un agente para monitorización de estadísticas detalladas, en este caso se instaló el agente dentro de los servidores que contienen el sistema SITOP.

El rendimiento del sistema SITOP se evaluó considerando las estadísticas de uso del CPU y las de la memoria RAM de los servidores, en un rango de 6 meses, correspondiente a los meses entre mayo y octubre del 2023, cuando el sistema se migró al entorno Cloud.

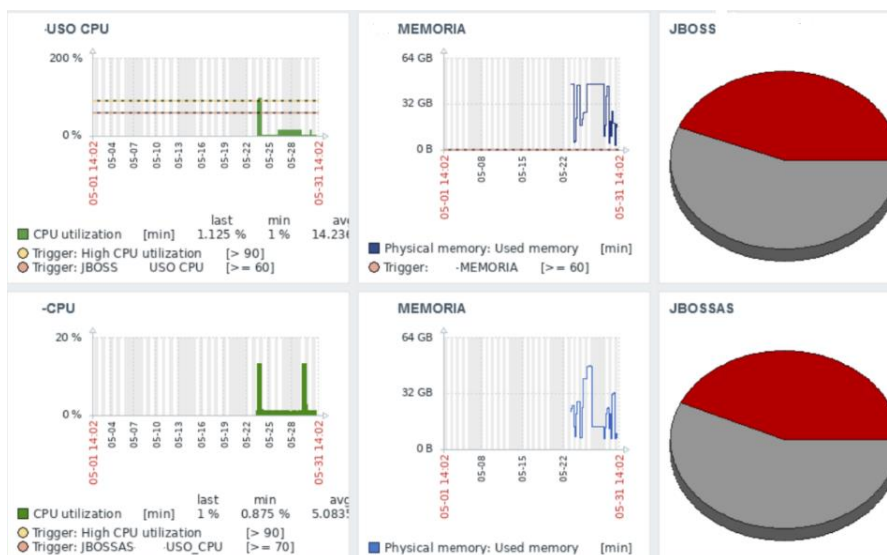
Estadísticas de rendimiento mayo 2023

Como se observa en la Figura 11, las métricas empiezan después del 22 de mayo del 2023, esto es debido a que se empezó a utilizar la herramienta Zabbix en estas fechas. Las métricas pertenecen al servidor principal llamado JBOSS y al servidor slave llamado JBOSSAS, en donde se aprecia que el servidor JBOSS presentó picos en el uso del CPU, superando el 90% de su capacidad total entre el 22 y el 25 de mayo. Por tal motivo el servidor JBOSSAS en este mismo periodo utilizó aproximadamente el 15% de su capacidad, pues al estar casi colapsado el CPU del servidor principal el balanceador de carga distribuyó las peticiones hacía el servidor slave.

Mientras tanto, en el uso de la memoria RAM tanto del servidor JBOSS como del JBOSSAS, se observa que existieron picos que prácticamente llegaron al tope de su capacidad durante los últimos días del mes de mayo.

Figura 11

Rendimiento sistema SITOP On-Premise mayo 2023 (Zabbix)



Nota. Este gráfico representa las métricas de rendimiento del sistema SITOP On-Premise del mes de mayo del 2023.

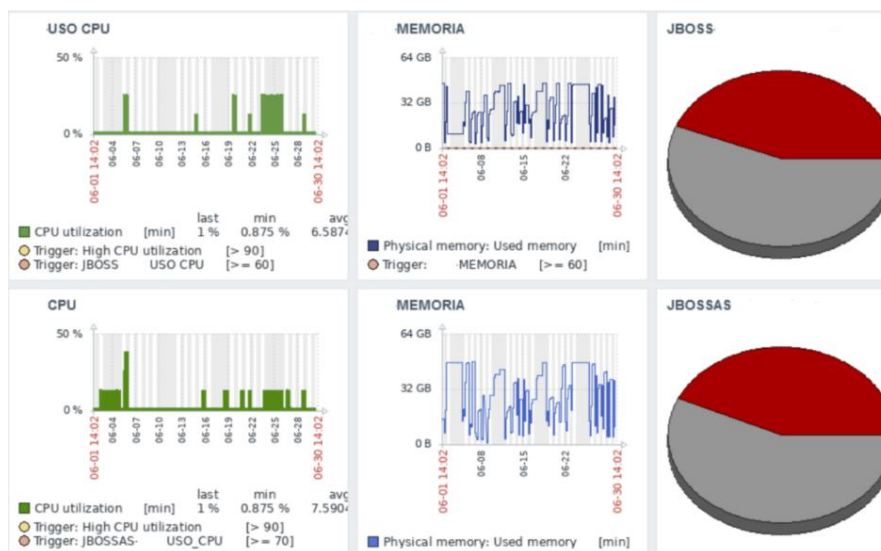
Estadísticas de rendimiento junio 2023

Se observa en las estadísticas representadas en la Figura 12 que el uso de memoria RAM en ambos servidores tiene varios picos durante este periodo de tiempo. La memoria RAM es uno de los principales componentes afectados al momento en el cual el sistema SITOP funciona en su máxima capacidad, lo que ocasiona caídas del sistema y por consiguiente causa pérdida del negocio por la falta de disponibilidad.

El uso del CPU tiene varios picos de uso, pero no pasa del 50% de su capacidad, por lo cual toda la carga de trabajo de este mes se concentra en la memoria.

Figura 12

Rendimiento sistema SITOP On-Premise junio 2023 (Zabbix)



Nota. Este gráfico representa las métricas de rendimiento del sistema SITOP On-Premise del mes de junio del 2023.

Estadísticas de rendimiento julio 2023

En el mes de julio, como se observa en la Figura 13 existió un pico de uso del CPU en el servidor JBOSS entre el 25 y 28 de julio, en donde se alcanzó el 90% de la capacidad de uso del CPU, por lo que durante ese mismo rango de tiempo se observa un aumento de carga para el servidor JBOSAS.

En cuanto en el rendimiento de la memoria RAM, durante el mes de julio existieron varios picos que indicaban problemas de rendimiento, pues durante todo este rango de tiempo, hubo varias ocasiones en donde se alcanzó la capacidad máxima de la memoria, siendo los últimos días del mes en donde los picos de la memoria usada máxima se extendieron por un periodo más prolongado.

Figura 13

Rendimiento sistema SITOP On-Premise julio 2023 (Zabbix)



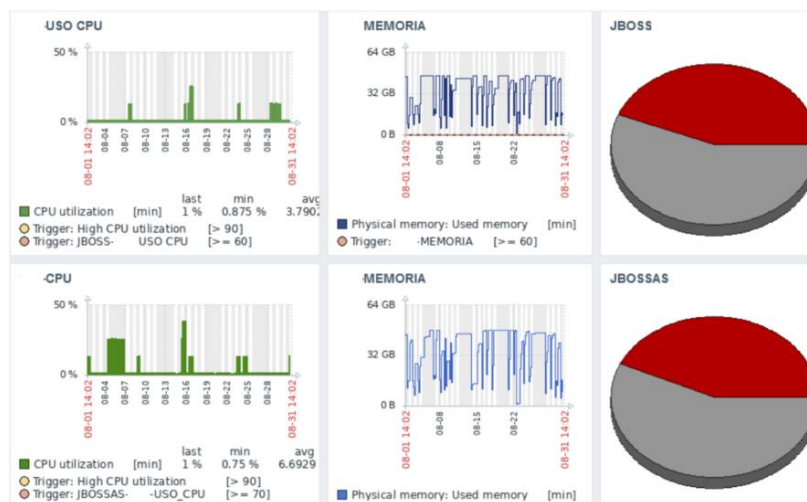
Nota. Este gráfico representa las métricas de rendimiento del sistema SITOP On-Premise del mes de julio del 2023.

Estadísticas de rendimiento agosto 2023

Se puede observar que la memoria RAM obtiene unos picos de funcionamiento más extensos que en anteriores periodos de tiempo en ambos servidores, lo que significa que durante el mes de agosto hubo más carga de trabajo para el sistema. Esto puede traducirse en una pérdida de información cuando el servidor colapsa, tal como se observa en los picos inferiores de la Figura 14, ya que durante este periodo de tiempo existieron operaciones y procesos dentro de la memoria RAM ejecutándose de manera continua tanto en el servidor JBOSS como en el servidor JBOSSAS, siendo el uso de la memoria de ambos, los componentes mayormente afectados en el mes de agosto.

Figura 14

Rendimiento sistema SITOP On-Premise agosto 2023 (Zabbix)



Nota. Este gráfico representa las métricas de rendimiento del sistema SITOP On-Premise del mes de agosto del 2023.

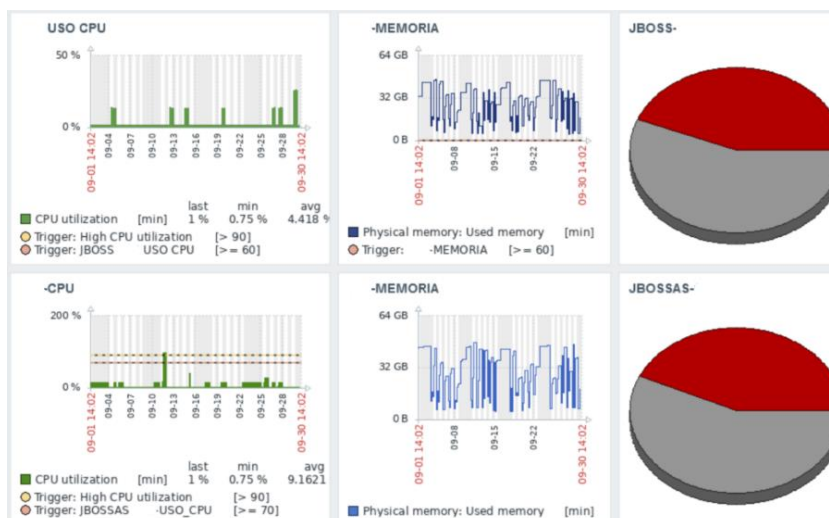
Estadísticas de rendimiento septiembre 2023

En el caso de septiembre, se observa en la Figura 15 que el rendimiento del CPU del servidor JBOSS se mantuvo siempre por debajo del 50% por lo que se puede decir que durante el mes de septiembre el servidor principal mantuvo un rendimiento óptimo en términos de uso del CPU, sin embargo, en el servidor JBOSSAS existió un pico que sobrepasó el 90% de su capacidad entre el 10 y 13 de septiembre. Esto también se puede ver reflejado en el desempeño que tuvo el uso de la memoria RAM del servidor JBOSSAS, pues sus picos fueron un poco más inestables que los del servidor JBOSS.

En el uso de la memoria RAM del servidor JBOSS, si bien existieron picos máximos, no fueron tan prolongados ni frecuentes como los observados en meses anteriores, tanto en el servidor JBOSS como en el JBOSSAS, sus picos máximos más prolongados ocurrieron a inicios de mes.

Figura 15

Rendimiento sistema SITOP On-Premise septiembre 2023 (Zabbix)



Nota. Este gráfico representa las métricas de rendimiento del sistema SITOP On-Premise del mes de septiembre del 2023.

Estadísticas de rendimiento octubre 2023

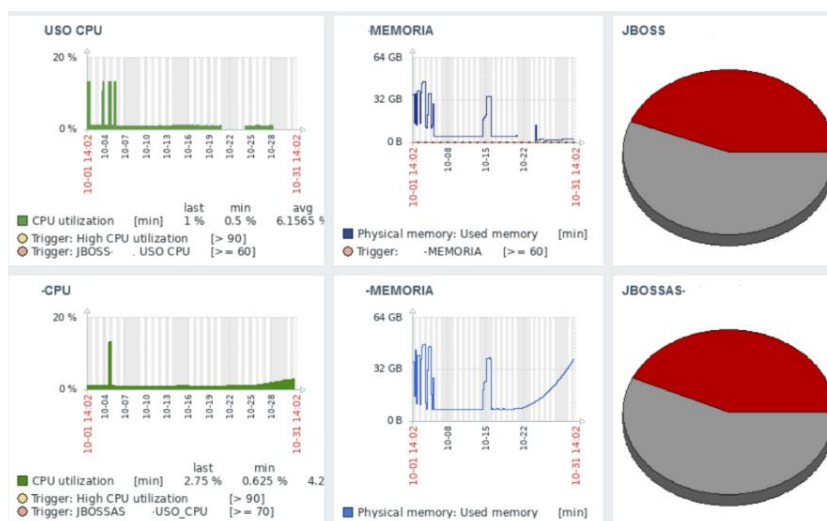
En este periodo de tiempo se observan menos picos, ya que, durante el mes de octubre se comenzó con el proceso de migración hacia el entorno Cloud, en este sentido, tal como se observa en la Figura 16, en los primeros días del mes todavía se observan picos máximos en el uso de la memoria RAM en ambos servidores. Sin embargo, después se observa que se mantiene una línea continua a partir de cierta fecha antes del 8 de octubre, que es en donde se empezaron a realizar las pruebas de sistema SITOP Cloud y las solicitudes ya eran dirigidas a dicho servidor, por esta misma razón el uso del CPU en ambos servidores se redujo considerablemente.

Existe un último registro de los picos habitualmente reportados donde, dentro de la misma línea continua, a pesar de que ya no se usaba en toda su capacidad el servidor On-

Premise, el componente más afectado siguió siendo la memoria RAM, mientras que el CPU comenzó a reducir su consumo hasta el punto donde sus picos no superaron el 20%.

Figura 16

Rendimiento sistema SITOP On-Premise octubre 2023 (Zabbix)



Nota. Este gráfico representa las métricas de rendimiento del sistema SITOP On-Premise del mes de octubre del 2023.

Resultados entorno Cloud

Para la extracción de datos de estadísticas dentro del servicio de nube Google Cloud Platform no se realizó la instalación de un servicio adicional, ya que, la plataforma de Google lo hace automáticamente. Este sistema guarda un historial del rendimiento gracias a que sus servicios proveen cuentan con esta característica de manera predeterminada. Como ya se mencionó anteriormente, los servicios y recursos aprovisionados son: Compute Engine, Cloud SQL, Cloud Storage y Load Balancer, que se expondrán a continuación:

Compute Engine

Figura 17

Recursos aprovisionados Compute Engine

The screenshot displays the Google Cloud Compute Engine console. The left sidebar shows navigation options like 'Máquinas virtuales', 'Plantillas de instancia', and 'Almacenamiento'. The main area shows a list of VM instances with columns for 'Estado', 'Nombre', 'Zona', 'Recomendaciones', 'En uso por', 'IP interna', 'IP externa', and 'Conectar'. Two instances are visible: 'vma1-infra-mtop-int' and 'vma2'. Below the table, there are several action cards such as 'Explorar copias de seguridad y DR', 'Supervisa VMs', 'Explora los registros de VM', 'Configura reglas de firewall', 'Administración de parches', and 'Balanceo de cargas entre VMs'.

Nota. Este gráfico contiene información de dos de los servidores aprovisionados vistos en la arquitectura del SITOP en el ambiente Cloud.

Cloud SQL

Figura 18

Servicios aprovisionados Cloud SQL

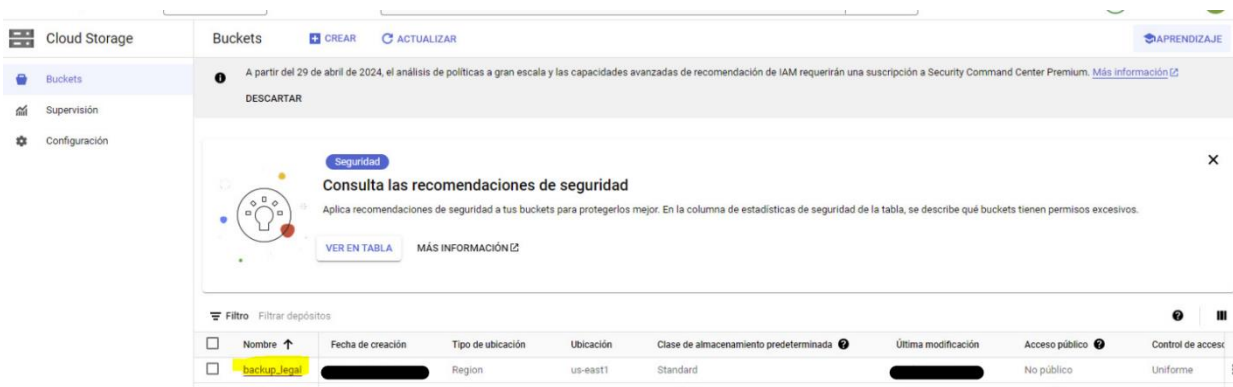
The screenshot displays the Google Cloud SQL console. The top navigation bar includes 'CREAR INSTANCIA' and 'MIGRAR DATOS' buttons. The main area shows a table of instances with columns for 'ID de instancia', 'Edición de Cloud SQL', 'Tipo', 'Dirección IP pública', 'Dirección IP privada', 'Nombre de la conexión con la instancia', 'Alta disponibilidad', 'Ubicación', 'Almacenamiento usado', and 'Etiquetas'. One instance is visible: 'sql02', which is of type 'Enterprise' and 'PostgreSQL'.

Nota. Este gráfico contiene información de la instancia de base de datos aprovisionada que sirve para guardar la actividad transaccional de los usuarios con los registros del sistema.

Cloud Storage

Figura 19

Servicios provisionados Cloud Storage

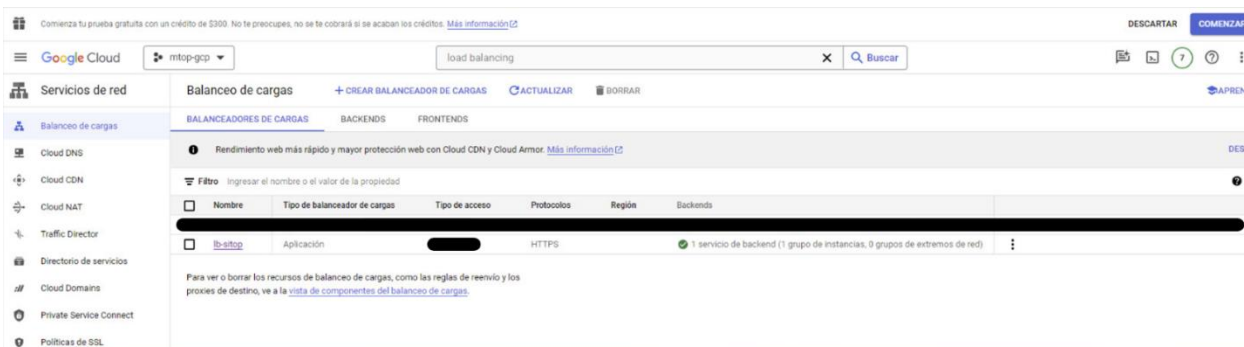


Nota. Este gráfico contiene información del servicio Cloud Storage se utiliza para guardar datos no estructurados de los usuarios.

Load Balancer

Figura 20

Servicios provisionados Load Balancer



Nota. Este gráfico contiene información de la instancia del balanceador de carga.

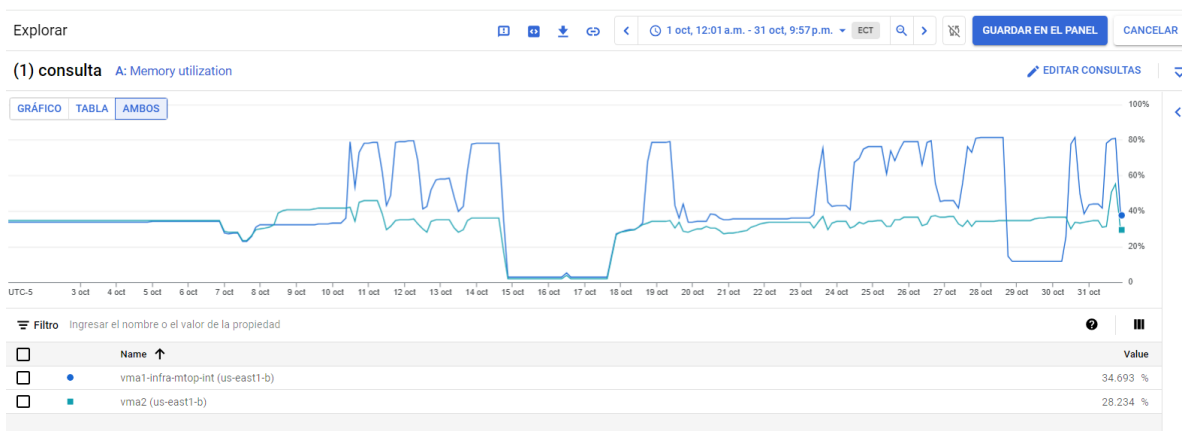
La instancia del balanceador de carga es utilizada para administrar las peticiones entrantes y realizar una gestión de los recursos de manera óptima para ofrecer la mejor respuesta teniendo en cuenta el número de usuarios que realizan las peticiones.

Estadísticas de Rendimiento en Ambiente Cloud de octubre 2023

En el entorno Cloud se observa un consumo de memoria que llega hasta al 80% sin llegar a ocupar la totalidad en el caso de la instancia principal, se ven unos picos en la máquina virtual principal mientras que en la secundaria se tiene un uso de no más del 60%. Se puede observar un descenso del uso de la memoria en ambas instancias entre el 15 al 16 de octubre, y por último se tiene un aumento abrupto el 31 de octubre, en donde la máquina secundaria llega a su pico máximo junto con la máquina virtual, sin embargo en ninguna de las ocasiones se llega a ocupar el 100% de la memoria.

Figura 21

Rendimiento de memoria de las instancias aprovisionadas en Google Cloud octubre 2023



Nota. Este gráfico representa el rendimiento de memoria en las instancias de Compute Engine

En el caso de la CPU, las instancias tienen un uso moderado la mayor parte del tiempo, si bien, existe un importante pico de rendimiento entre el 26 al 31 de octubre, en el cual se

observa un uso del CPU del 100% en la instancia principal, mientras que en la instancia secundaria ascendió cerca del 50% en esas mismas fechas.

Figura 22

Rendimiento de CPU la instancia principal aprovisionada en Google Cloud octubre 2023



Nota. Este gráfico representa el rendimiento de CPU de la instancia principal.

Figura 23

Rendimiento de CPU la instancia secundaria aprovisionada en Google Cloud octubre 2023



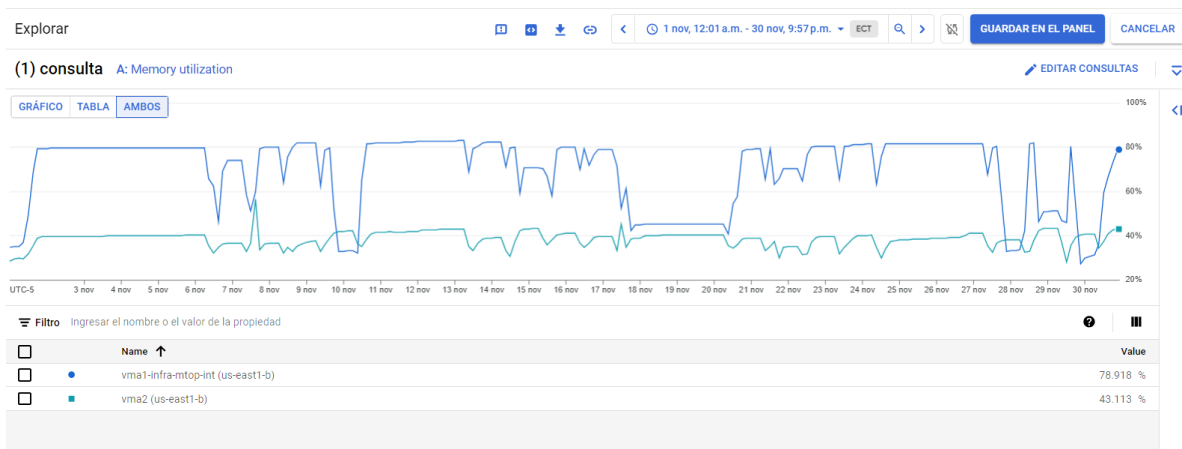
Nota. Este gráfico representa el rendimiento de CPU de la instancia secundaria.

Estadísticas de Rendimiento en Ambiente Cloud de noviembre 2023

Se puede observar que ambas instancias tienen un comportamiento similar al mes anterior, siendo que hay varios picos altos en la instancia principal hasta llegar al 80% de memoria, mientras que en la secundaria no alcanza un uso de memoria de más del 60%.

Figura 24

Rendimiento de memoria de las instancias aprovisionadas en Google Cloud noviembre 2023



Nota. Este gráfico representa el rendimiento de memoria en las instancias de Compute Engine.

En lo que respecta al uso de la CPU, las instancias tienen un uso más elevado y distribuido que en el mes anterior, a pesar de eso no se registran picos que lleguen al 100% de su capacidad en la instancia principal como en el mes anterior, en este sentido, el uso del CPU pasa el 50%, en el caso de la instancia secundaria, el uso no supera el 30% por lo que se tiene un comportamiento estable.

Figura 25

Rendimiento de CPU la instancia principal aprovisionada en Google Cloud noviembre 2023



Nota. Este gráfico representa el rendimiento de CPU de la instancia principal.

Figura 26

Rendimiento de CPU la instancia secundaria aprovisionada en Google Cloud noviembre 2023



Nota. Este gráfico representa el rendimiento de CPU de la instancia secundaria.

Estadísticas de Rendimiento en Ambiente Cloud de diciembre 2023

En este caso se puede observar picos de funcionamiento equiparables al mes anterior tanto de la instancia principal como de la secundaria en lo que se refiere a uso de memoria, en este sentido la instancia principal llega de manera habitual al 80% y la instancia secundaria al 50% de uso como máximo.

Figura 27

Rendimiento de memoria de las instancias aprovisionadas en Google Cloud diciembre 2023

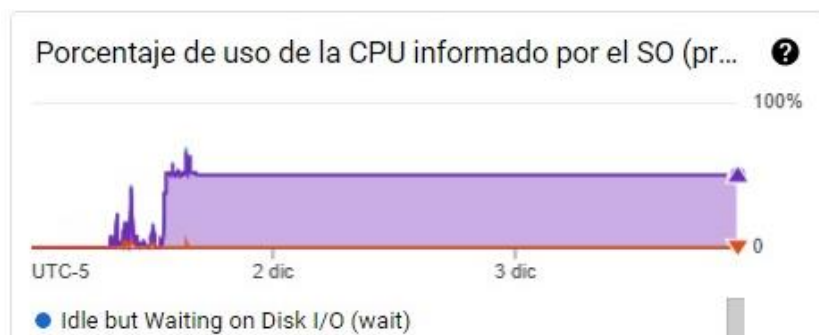


Nota. Este gráfico representa el rendimiento de memoria en las instancias de Compute Engine.

Para el tema del CPU se identifica un uso similar a meses pasados, siendo que la plataforma tiene varios picos donde la instancia principal llega al 50% de su capacidad y se mantiene estable durante el resto del mes, mientras que la instancia secundaria se mantiene con el uso a no más del 20%.

Figura 28

Rendimiento de CPU la instancia principal aprovisionada en Google Cloud diciembre 2023



Nota. Este gráfico representa el rendimiento de CPU de la instancia principal.

Figura 29

Rendimiento de CPU la instancia secundaria aprovisionada en Google Cloud diciembre 2023



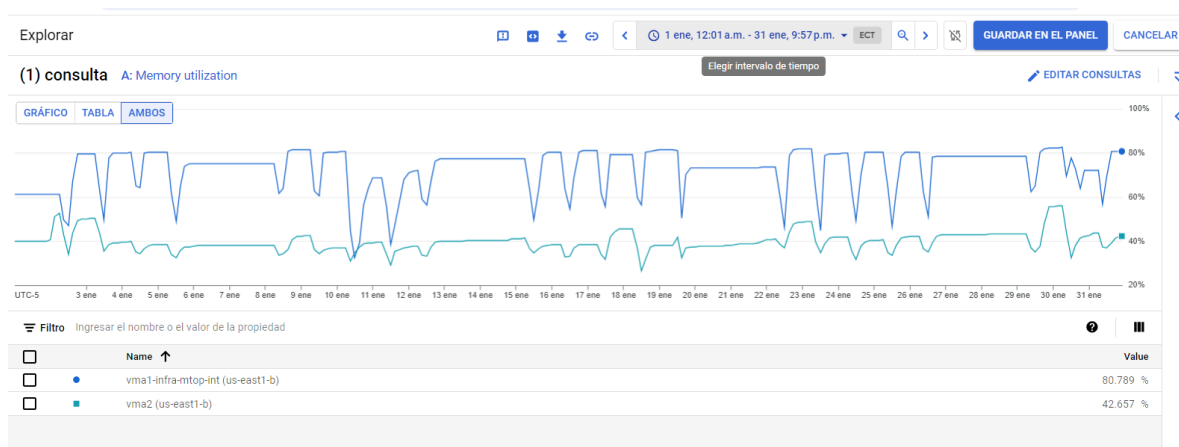
Nota. Este gráfico representa el rendimiento de CPU de la instancia secundaria.

Estadísticas de Rendimiento en Ambiente Cloud de enero 2024

En el mes de enero igualmente se puede ver un comportamiento similar a meses anteriores, siendo que hay una estabilización de servicios, es decir, los recursos utilizados son los mismos en el tiempo, siendo que la instancia principal ocupa la mayoría de su memoria para los procesos del aplicativo SITOP mientras que el servidor secundario mantiene su uso a menos del 50% para el mismo propósito.

Figura 30

Rendimiento de memoria de las instancias aprovisionadas en Google Cloud diciembre 2023

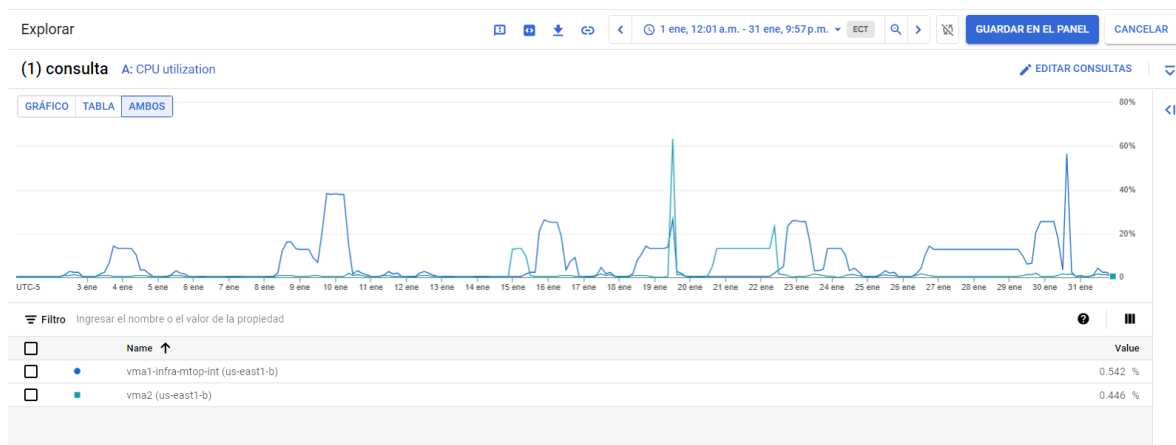


Nota. Este gráfico representa el rendimiento de memoria en las instancias de Compute Engine.

En el apartado de utilización del CPU podemos ver como el comportamiento se mantiene similar, la instancia principal presenta algunos picos de funcionamiento que llegan a su máximo entre el 30 y 31 de enero siendo menor al 60%, mientras que la secundaria no presenta muchos picos excepto por un pico de funcionamiento entre el 19 de enero y el 20 de enero, donde alcanzó un valor del 60% de utilización de CPU, superior a los periodos anteriores, sin embargo, parece ser un comportamiento inusual que no se repite con frecuencia.

Figura 31

Rendimiento de CPU de las instancias aprovisionadas en Google Cloud enero 2024



Nota. Este gráfico representa el rendimiento de CPU en las instancias de Compute Engine.

Capítulo V: Conclusiones y Trabajos Futuros

Conclusiones

En el trabajo se expone la importancia de un análisis informático para los procesos de migración, en el caso particular del Ministerio de Transporte y Obras Públicas se observan mejorías considerables en el sistema de información. En la actualidad, la Nube no llega a su capacidad máxima de rendimiento de la memoria RAM, en donde a pesar de presentar algunos picos altos, en todos los casos se mantiene estable al llegar al 80% de su capacidad, solventando los problemas de funcionamiento que presentaba el sistema On-Premise en cuanto a su memoria, mismo que llegaba a colapsar al comprometer distintos componentes y condicionar su correcto funcionamiento, haciendo que el sistema llegue a quedar fuera de funcionamiento desde horas hasta días cada vez que la memoria alcanzaba el 100% de su capacidad. En el caso del rendimiento del CPU en ambos casos tuvo un comportamiento similar, sin embargo, el sistema en el entorno Cloud presentó una ligera mejoría, pues en el entorno On-Premise durante el periodo de mayo a octubre de 2023, se presentaron 2 picos que

llegaron al 100% de su capacidad, mientras que en el periodo de octubre de 2023 a enero de 2024 se presentó tan solo un pico que llegó al 100% de la capacidad de uso del CPU, ya que, por lo general el rendimiento del CPU durante este periodo se mantuvo operando en todos los casos por debajo del 60% de su capacidad. Debido a esto, el sistema SITOP llegó a alcanzar un punto de estabilidad en los dos componentes principales que daban inconvenientes en el entorno Cloud, permitiendo de esta manera alcanzar la alta disponibilidad que requería este sistema, implementado la migración basada en “Rehosting + Optimización” se consiguió aumentar la eficiencia del proceso y la seguridad del sistema, pues al optimizar el SITOP se logró actualizar varias de las versiones de los componentes del sistema On-Premise, solventando los problemas de compatibilidad entre los distintos componentes y que presentaban un problema grave en términos de seguridad, adaptando la infraestructura para que se puedan aprovechar las optimizaciones y principales características de la tecnología Cloud, como lo es Google Compute Engine, Cloud SQL, Cloud Storage y el Load Balancer utilizados para este procedimiento.

Para el presente caso de estudio las ventajas son claras al momento de comparar la operación de ambos sistemas, consiguiendo finalmente el objetivo tanto de este trabajo de investigación como del caso presentado. Sin embargo, se evidencia que el sistema, aunque tenga las optimizaciones necesarias para funcionar en el entorno cloud, como se propone en la estrategia “Rehosting + Optimización”, sigue necesitando una gran cantidad de recursos computacionales, ya que fue diseñado como un sistema monolito, una arquitectura donde toda la aplicación funciona como una sola, que en el caso de este sistema de información resulta ineficiente por la cantidad de módulos que maneja y el tamaño de la aplicación, así como las múltiples conexiones a la base de datos.

Trabajos futuros

Se recomienda hacer un estudio comparativo dentro de 6 meses para verificar el óptimo funcionamiento del sistema Cloud, de ser satisfactorio se puede proponer su implementación en otros ministerios o instancias del gobierno. Por otro lado, se recomienda el estudio y el financiamiento a investigaciones sobre seguridad dentro de estos sistemas, considerando el avance tecnológico como el caso de la Inteligencia Artificial.

Por último, se propone realizar una reestructuración del sistema SITOP implementando la arquitectura de microservicios para aprovechar todas las ventajas del entorno cloud, tomando en cuenta el tamaño de la aplicación, el volumen de transacciones y aspectos de la seguridad de la información como son confidencialidad, integridad y disponibilidad del sistema. En este sentido, el ambiente cloud puede alojar un aplicativo con esta arquitectura y optimizar su funcionamiento al máximo, resultando en un gasto menor de recursos mayor eficiencia en el funcionamiento y mayor seguridad al poder controlar cada módulo de manera individual e implementar varios métodos de autenticación y autorización.

Referencias

Amin, R., Siddhartha, V., & Md. Mahbubur, R. (2021). Opportunities and Challenges of Data Migration in Cloud. *Engineering International*, 9(1), 41-50.

Calderón, P., & Mora, M. (2020). Computación en la Nube: la infraestructura como servicio frente al modelo On-Premise. *Dominio de las Ciencias*, 6(4), 1535-1549.

Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación [COESCCI]. Ley 407583 de 2022. 22 de diciembre de 2022 (Ecuador).

Rodríguez, V. (2023). Migración de sistemas alojados sobre modelos tradicionales On-Premise a entornos de infraestructura en Nube pública.

Guillén, X., & Moldes, L. (2019). *Arquitectura de aplicaciones web*. Universitat Oberta de Catalunya.

Latorre, D. M. (2018). Historia de las web, 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0. *Universidad Marcelino Champagnat*, 1(1-8).

Lima, A. (2019). *Análisis de aplicaciones de arquitecturas monolíticas para su migración a arquitecturas basadas en microservicios*. Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología. Universidad de La Laguna.

Rodríguez, Z., Rodríguez, L. D., & Suarez, J. C. (2020). Arquitectura basada en Microservicios y DevOps para una ingeniería de software continua. *Industrial Data*, 23(2), 141-149.

Trejo, M. G. (2021). Gestión de la infraestructura de TI . *Tecnología e Innovación en Educación Superior*, 2(1), 1-9.

Montilla, G. (2024). *Migración de una aplicación On-Premise a la Nube con Amazon Web Services*. Universitat Politècnica de València.

Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of Cloud computing. *National Institute of Standards and Technology. Special Publications(800-145)*, 1-7.

Oracle. (2024). *Oracle*. Oracle.com: <https://www.oracle.com/mx/Cloud/what-is-Cloud-computing/>

Rani, K., Rani, D., & Babu, D. (2015). Cloud computing and inter-Clouds—types, topologies and research issues. *Procedia Computer Science*, 50, 24-29.

IBM. (20 de octubre de 2023). *IBM*. ibm.com: <https://www.ibm.com/docs/en/integration-bus/10.0?topic=environment-Cloud-overview>

- Rosas, D. (2022). *Diseño del Sistema de Gestión de Seguridad de la Información–SGSI–para los Procesos Críticos de Ofimarcas Tomando como Guía la Norma ISO 27001: 2013*. Universidad Piloto de Colombia.
- Ramírez, X., Gómez, M., & Hernandez, J. (2019). Seguridad en la nube, evolución indispensable en el siglo XXI. *Revista Vínculos*, 16(1), 110-127.
- Alvarez, J. (s.f.). *Las necesidades de la seguridad en la Nube*. Universidad Piloto de Colombia.
- Matínez, R. (2023). *Migración de un DataCenter a la Nube pública*. Universitat Oberta de Catalunya.
- Rodríguez, C., Almeida, R., & Palacios, W. (2018). Diseño de un modelo de migración a Cloud computing para entidades públicas de salud. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 6(1), 10-26.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (23 de octubre de 2012). Acuerdo No. 086. *Acuerdo No. 086*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2017). *Política de gestión de uso obligatorio del SITOP*. Dirección de tecnologías de la información. Unidad de seguridad de la información.
- Zikky, M., Yuniar, R., & Rafsanjani, B. (2019). Indonesian Sign Language API (OpenSIBI API) as The Gateway Services for Myo Armband. *International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR)*, 1(16), 16-24.
- Alfonso, L., Coakley, D., Donida, G., Kouroupetroglou, C., Lu, Y., Messervey, T., Mink, J., Perfido, D., Schwartz, K., Seyoum, S., Tutusaus, M., Andel, S.-J. v., Hassan, U. u., & Derguech, W. (2015). D1.2 Inventory Technology, Standards and Policies. *WatErnomics Consortium*, 1-96.