APLICACIÓN WEB PROTOTIPO PARA LA EVALUACIÓN DE COSTOS Y APROVISIONAMIENTO CON LIBCLOUD SOBRE AMAZON WEB SERVICES

PRICELOUD

TRABAJO DE GRADO

SEBASTIÁN AFANADOR FONTAL
sebastian.afanador@correounivalle.edu.co
Código 1629587

JOHN ALEXANDER SANABRIA ORDÓÑEZ PH.D
john.sanabria@correounivalle.edu.co

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación
Universidad del Valle
Cali - Colombia

Noviembre 2023 – versión 1.7.0

[20 de noviembre de 2023 23:32 – versión 1.7.0]

La Cloud Princing API[1] *de Infracost es una API basada en GraphQL que incluye datos públicos de precios de GCP AWS y Microsoft Azure.*

LibCloud crea una capa de abstracción a partir de una Application Programing Interface (API) unificada usando controladores para cada tipo de servicio de los CCSPs.

RESUMEN

La aplicación web Priceloud integra la fase de evaluación de costos de los principales proveedores de servicios de Cloud Computing (CC) junto con su despliegue en una única interfaz para dar un criterio informado que ayude a minimizar los costos de funcionamiento de un proyecto de software con respecto a sus necesidades iniciales.

Usando una arquitectura de microservicios este proyecto recupera los costos de los principales CCSP mediante la *Cloud Pricing API* de *Infracost* y un proceso de actualización automático de la base de datos ejecutado semanalmente.

1 INTRODUCCIÓN

El Cloud Computing ha facilitado el despliegue de todo tipo de aplicaciones con un uso adaptable de recursos, esto es un punto importante del cloud, permitirle al cliente iniciar con recursos de base que luego pueden ser escalados a la medida de las necesidades que la aplicación requiera. En contraposición de una infraestructura *On-premise* las tecnologías cloud se adaptan en tiempo real a los requerimientos cambiantes de la demanda de estas aplicaciones y le permiten al cliente invertir recursos vitales en procesos mas relevantes eliminando los costos de mantenimiento e infraestructura tecnológica.

El CC es una tendencia de servicios y recursos que funcionan sobre Internet para facilitar el despliegue, uso y disponibilidad de aplicaciones de Software.

En una configuración On-premise el cliente se encarga de hospedar sus aplicaciones en uno o varios servidores en su propia infraestructura.

El aprovisionamiento de recursos en proveedores de servicios cloud es un proceso que cada vez toma mas relevancia en aplicaciones que han apostado por la tendencia a migrarse al CC. Sin embargo a la hora de elegir estos recursos se deben tener en cuenta aspectos como la arquitectura del proyecto, el tipo de recursos, su ubicación geográfica, las políticas donde residirán, la reputación del proveedor y por supuesto de su costo.

El modelo comercial Pay as You Go permite al cliente pagar solo por lo que ha usado después de haberlo usado.

Uno de los aspectos clave para ayudar a garantizar la continuidad de un proyecto de software son precisamente sus costos fijos; el cloud los discretiza con el modelo *Pay as You Go* en términos de peticiones, duración, poder de cómputo, espacio de almacenamiento, usuarios, y demás variables que le agregan aún mas complejidad a la decisión de escoger el proveedor adecuado para los recursos requeridos por el proyecto.

Priceloud permite interactuar sobre una interfaz web donde el usuario puede tomar una decisión informada a partir del conocimiento de los costos de su configuración de recursos sobre varios CCSP y de manera complementaria es asistido en su aprovisionamiento sobre AWS .

2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según lo mencionado anteriormente esta propuesta de trabajo de grado busca responder las siguientes preguntas. ¿Cómo dar un criterio informado respecto a los costos de aprovisionamiento de una aplicación facilitando su despliegue?, ¿Cómo construir un servicio que brinde información actualizada de los costos de los proveedores?, ¿Cómo proponer un proyecto colaborativo que sea extensible a nuevos proveedores y servicios?, ¿Qué tecnologías y arquitectura usar para procurar su crecimiento?.

3 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto requirió conocimientos de Desarrollo de Software, Bases de Datos Relacionales, Aplicaciones Web, Microservicios, Seguridad y Servicios en la Web, Redes de Computadores y Sistemas Operativos.

3.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Actualmente no existe un proyecto *Open Souce* que permita aprovisionar recursos en CCSPs e integrar la validación de sus costos; gracias a que Priceloud es un proyecto de código abierto se puede implementar de manera gratuita por cualquier desarrollador para dar un punto de apoyo en este proceso que carece de un marco bien definido.

3.2 JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Diseñar e implementar esta propuesta puso a prueba las destrezas técnicas y formación del aspirante a grado; Este proyecto de código libre permite tener un punto de partida para que mas interesados puedan contribuir en la solución del problema que parece tener carencia de participación.

4

OBJETIVOS

Los controladores de LibCloud están categorizados en 3 grandes grupos Compute *para máquinas virtuales y baremetal,* Storage *para contenedores de almacenamiento de Objetos como buckets de S3 y* Container *para plataforma de contenerización (ej: AppEngine)*

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar, e implementar un prototipo de aplicación web para informar las tarifas de aprovisionamiento de recursos tipo *Compute*, *Storage* y *Container* en el CC y administrar su despliegue.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir un modelo general de evaluación de costos para el análisis de los servicios en el CC usando información recuperable y relevante de la Web de sus proveedores.
2. Diseñar e implementar un prototipo basado en microservicios que recopile y almacene periódicamente las tarifas de los principales CCSPs.
3. Diseñar e implementar un prototipo de aplicación web basada en microservicios para acceder a la información de costos de los proveedores y administrar los recursos de un usuario usando tecnologías agnósticas del proveedor.

5 RESULTADOS DEL TRABAJO

El proyecto cumple los objetivos específicos mencionados anteriormente como se describe a continuación.

1. El primer resultado con respecto al primer objetivo específico es la desarrollo e implementación de un modelo comparativo de costos que se ejecuta sobre la aplicación web. Este modelo es un punto de referencia que mide los servicios agrupados por categoría, costo y ubicación geográfica.

2. El segundo resultado con respecto al segundo objetivo específico es el desarrollo e implementación de dos microservicios encargados de administrar la información relevante de los precios de los CCSP y la lógica general de la aplicación. los microservicio se encuentran actualmente en línea, funcionan sin interrupciones 24/7 y su documentación está disponible en `https://api.dev.pricecloud.org/docs`.

3. El tercer resultado con respecto al tercer objetivo específico es un prototipo de aplicación web que está desplegada de manera pública en `https://pricecloud.org`, es una interfaz Web que puede ser desplegada por cualquier otro usuario sobre su propia infraestructura, su código fuente al igual que los microservicios mencionados están disponibles en el repositorio del proyecto `https://github.com/sebastianaf/pricecloud`.

Todos los servicios de la aplicación están disponibles y listos para desplegar por cualquier interesado con un script *de* docker-compose *publicados en el repositorio oficial del proyecto. el* script *se encarga de desplegar cada parte en imágenes de Docker con* Dockerfiles *y sus instrucciones para el proceso de* building.

La comunicación pública de todos los web services esta encriptada usando el protocolo HTTPS con certificados SSL/TLS de Let's Encrypt, los datos sensibles almacenados usan el algoritmo de cifrado simétrico de dos vías AES.

6

ALCANCES DE LA PROPUESTA

La aplicación cuenta con una base de 6 contenedores, api-01(NestJS), api-02(ApolloServer), api-03(Python Flask), ui(NextJS), db-01(PostgreSQL) y db-02(PostgreSQL) .

Priceloud recupera información de precios los principales CCSPs, estos son AWS, Microsoft Azure, Google Cloud.

Priceloud tiene soporte básico de administración para los recursos de tipo *Compute* y *Storage*, a la fecha de publicación de este documento el controlador para operaciones de *Container* se encuentra en etapa experimental y su implementación no fue exitosa. Las dos operaciones listadas se aplicaron para el proveedor AWS, el proyecto de *Python* esta construido con los principios de la programación modular, este proyecto tiene la posibilidad de extender la implementación de mas controladores en el futuro teniendo en cuenta la disponibilidad de de la librería[1] de LibCloud.

La implementación de la interfaz web se construyó en el *framework* NextJS con la librería de React y Material UI[2], el objetivo principal es servir como una fuente de información mas que proveer una visualización atractiva, el desarrollo estuvo soportado por la plantilla *BloomUI*[3] y no tuvo un componente complementario de UI y UX.

La información recopilada es de uso libre y proporcionada por *Infracost* a través de su *Cloud Pricing API*[4]. La información de precios es actualizada semanalmente y se almacena en una base de datos PostgreSQL.

El servidor principal de la aplicación esta construido en *NestJS* con *TypeScript* y *TypeORM*, el servidor esta desplegado en un contenedor de Docker y se encuentra disponible en detrás de un proxy inverso de Nginx Proxy Manager en `https://api.pricecloud.org`.

La aplicación está desplegada sobre un servidor *on-premise* formato *miniITX* Levono ThinkCentre M70q Gen2 configurado con Ubuntu Server 22.04 LTS, el servidor cuenta con 12 núcleos de procesamiento, 16GB de memoria RAM y 256GB de almacenamiento en una unidad de estado sólido.

1 https://libcloud.readthedocs.io/en/stable/supported_providers.html
2 https://mui.com/
3 https://bloomui.com/
4 https://www.infracost.io/docs/cloud_pricing_api/overview/

7 MARCO REFERENCIAL

En este apartado se recopila información para describir el CC y los modelos de precios que usan los CCSPs para cobrar sus servicios.

7.1 ESTADO DEL ARTE

Actualmente existen recursos de software para la orquestación de recursos en la nube, estos son bien conocidos como Cloud Resource Orchestration Frameworks (CROFs), han surgido como sistemas para gestionar el ciclo de vida de los recursos de multiples CCSPs y que cada vez exigen mecanismos de orquestación de recursos capaces de tratar con la heterogeneidad subyacente. [8].

7.1.1 *Tecnologías de orquestación*

LibCloud

Es una librería escrita en Python tiene licencia *Apache 2.0*. Es una de las mas completas para administrar recursos de CC teniendo unicamente carencias en el soporte de DBaaSs [1]. Esta librería oculta las diferencias entre las API de los CCSPs y permite administrar diferentes recursos de la nube a través de una API unificada y facil de usar.

Esta librería divide sus funciones en seis principales categorías[2]. La primera permite administrar Servidores en la nube y *Block Storage*, este componente permite ejecutar secuencias de comandos para preparar al servidor recién creado. Otro tipo de recurso administrable es el almacenamiento de objetos en la nube *Object Storage* y la administración de CDNs, Los servicios de balanceadores de carga *Load Balancer*, la API para administración de DNSs como servicio y los servicios de administración de Contenedores que permiten a los usuarios implementar y administrar contenedores usando software como Docker con los proveedores que ofrecen una API de CaaS.

1 https://medium.com/@anthonypjshaw
2 https://libcloud.readthedocs.io/en/stable/index.html

pkgCloud

Es una librería escrita en *Javascript* para usar sobre *NodeJS*, al igual *LibCloud* esta permite abstraer los diferentes mecanismos para acceder a las diferentes APIs de los CCSPs para centralizar su administración, de manera adicional es la única librería con soporte de DBaaS, permite integración con *Rackspace* usando *MySQL* y Microsoft Azure con el servicio de *Azure Tables*, esta librería tiene una licencia tipo *MIT License* y además es un proyecto de colaboración disponible en *GitHub*[3].

Cloudify

Es un Framework que usa la arquitectura *Multicloud* y el concepto de Environment as a Service (EaaS) usando *Blueprints*. Los recursos y cargas de trabajo pueden ser orquestados y migrados en tiempo real entre diferentes CCSPs, su componente principal *Cloudify Manager* permite administrar los recursos via interfaz web *Cloudify Console*, este Framework esta licenciado bajo *Apache 2.0 License*, es uno de los CROFs mas completos gracias a su diseño lógico de Plug-ins [4].

Terraform

Es una herramienta de Infrastructure as a Codes (IaaCs) que aprovisiona y administra infraestructuras usando un lenguaje de configuración de alto nivel, *Terraform* puede administrar múltiples proveedores de nube e incluso dependencias entre CCSPs, *Terraform* aprovecha los CCSPs para proporcionar capacidades de escalado automático con disparadores de umbral en las métricas del sistema recopiladas por los servicios de monitoreo [8, p.14].

7.1.2 *Costos de servicio*

Amazon Web Services

Este CCSP tiene una página web en la Figura 1 dedicada para el cálculo de los costos de sus servicios [5], la página permite la estimación de los recursos seleccionando uno o varios servicios y estableciendo su configuración para después exportarla en un Portable Document Format (PDF)

3 https://github.com/pkgcloud/pkgcloud
4 https://github.com/orgs/cloudify-cosmo/repositories
5 https://calculator.aws

Figura 1: Pagina de precios de AWS

Google Cloud

También conocido como Google Cloud Platform (GCP) este CCSP tiene un sitio web[6] con una calculadora de estimación en la Figura 2, también es posible acceder los precios usando una lista de precios dinámica para cada tipo de servicio mostrando su costo de operación por hora e incluso con algunas ofertas gratuitas para la capa mínima de servicios[7].

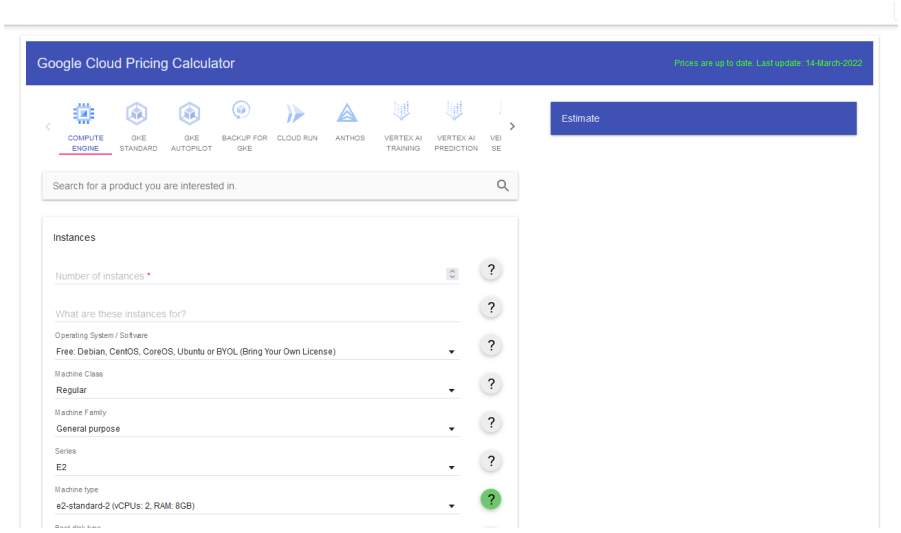


Figura 2: Pagina de precios de GCP

6 https://cloud.google.com/pricing
7 https://cloud.google.com/pricing/list

Microsoft Azure

Al igual que los demás CCSP Microsoft Azure tiene una calculadora y lista dinámica de precios [8] que puede ser consultada en cobro por horas. Véase Figura 3.

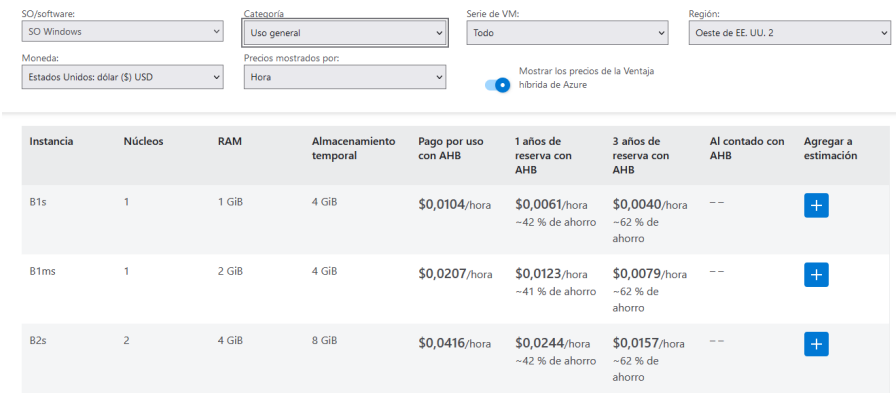


Figura 3: Lista de precios de Microsoft Azure para VMs con OS *Windows*

Oracle Cloud Infrastructure

Orace tiene un estimador de costos y lista de precios en su sitio web.[9] como se muestra en la Figura 4.

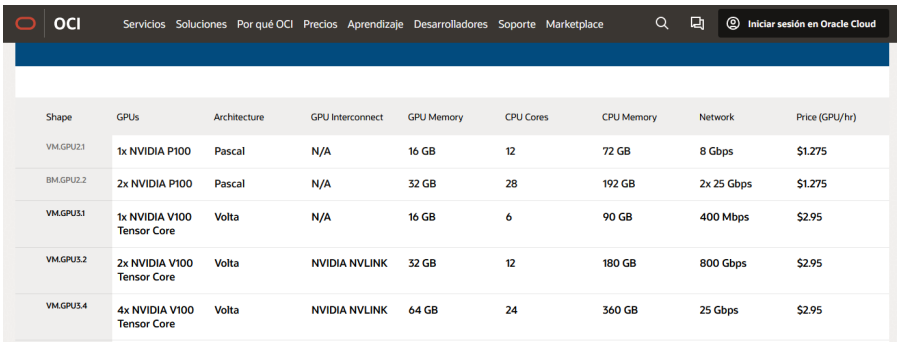


Figura 4: Muestra de precios para instancias de GPU de *Oracle Cloud*

7.2 MARCO TEÓRICO

7.2.1 *Cloud Computing*

Según el NIST la computación en la nube está definida como un modelo que permite el acceso de red conveniente y bajo demanda a un grupo compartido de recursos informáticos configurables como

8 https://azure.microsoft.com/es-es/pricing/
9 https://www.oracle.com/co/cloud/price-list.html

redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios que pueden aprovisionarse y librerarse rápidamente con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción con el CCSP[4].

Modelos de despliegue

En el CC existen varios modelos de despliegue dependiendo de cual es el alcance de los recursos. La *Nube privada* donde los datos y procesos son administrados dentro de la organización quien también se encarga de dar mantenimiento a la infraestructura que reside en las mismas instalaciones o en un lugar remoto administrado por la organización. En la *Nube pública* los recursos son aprovisionados de manera dinámica a través de Internet, el CCSP le permite acceder a los todos los tipos de servicios bajo esquemas de pago por uso. En una *Nube híbrida* los recursos o servicios de la organización pueden ser complementarios entre ambas ubicaciones e incluso pueden incluir infraestructura de *Edge Computing* como dispositivos de IoT [2, p.2].

Tipos de servicios

Los servicios servicios de CC ofrecen mas beneficios que la computación tradicional, ahorro de costos, escalabilidad, almacenamiento móvil, acceso desde cualquier momento o cualquier lugar, mejor seguridad, ahorro de energía[6]. En términos de taxonomía el CC está divido en tres principales tipos de servicios, Infrastructure as a Service (IaaS) que puede verse como una evolución de los Virtual Private Servers (VPSs) la cual ofrece plataformas de virtualización donde los clientes deben configurar sus propio software, estos servicios son facturados con base en los recursos consumidos, el modelo de pago por alquiler permite usar hasta mínimo una hora en algunos casos donde la cantidad de instancias se duplican para satisfacer las necesidades los clientes. Entre los tipos de soluciones que se encuentran en esta categoría están Amazon Elasctic Compute Cloud (EC2), *Rackspace Cloud*, *IBM Smart Bussiness Cloud solutions*, *Oracle Cloud Computing*, *Google Compute Engine*. [6, p.2]

Otro esquema de servicios ofrecidos por el CC son las Platform as a Services (PaaSs), como características principales tenemos que son proveídas a los clientes por una interfaz en un navegador para editar, depurar, desplegar y monitorear una aplicación.[3, p.1] A diferencia de las IaaSs permiten una interacción de alto nivel con el cliente porque abstraen la configuración del entorno donde se ejecutan las aplicaciones, ademas de permitir la preconfiguración de un entorno de ejecución para un lenguaje de programación específico. Entre los CCSPs mas conocidos se encuentra también EC2 con la posibilidad de preconfigurar los entornos, *Salesforce.com* y *Google App Engine*.

El siguiente nivel en términos de abstracción son las Function as a Services (FaaSs) conocidas también como computación *Serverless* [5, p.1] que emerge como un paradigma conveniente para el despliegue de aplicaciones y servicios donde el desarrollador no se preocupa acerca de los aspectos operacionales, de despliegue, y mantenimiento y espera de este que sea tolerante a fallos y auto escalable especialmente el código que es escalable a cero donde no hay servidores corriendo cuando la función del usuario no está siendo usada. FaaS a diferencia de Platform as a Services (PaaSs) evita que el cliente reciba cobros en los periodos de inactividad de la función.[1, p.5] Entre los servicios mas conocidos están *Azure Functions*, AWS *Lambda*, *Google Cloud Functions* y *Oracle Cloud Functions*.

Por último y mas cerca del usuario se encuentran el Software as a Service (SaaS), en este modelo de servicios el cliente interactúa con una aplicación que da soporte a los procesos de su modelo de negocio o le ofrece un servicio, el cliente paga recurrentemente por las funcionalidades y la cantidad de usuarios que usan el servicio, el SaaS presenta ventajas frente al software tradicional, el cliente compra una suscripción y no una licencia perpetua, además el software tradicional tarda algunos años en publicar una nueva versión que el SaaS puede poner a disposición en cuanto esté completa [2, p.1]. Algunos ejemplos de SaaSs son *Google Workspace*, *Microsoft 365*.

7.2.2 *Modelos de precios*

De manera general existen dos grupos de modelos de precios, los modelos de *precios dinámicos* donde el costo es flexible y depende de factores como el número de peticiones, el espacio usado, el tráfico generado, el poder de cómputo requerido o la cantidad de instancias necesarias. En los modelos de *precios fijos* se dice que el cliente tiene mayor seguridad sobre el costo del servicio porque tiene un cargo fijo periódicamente para pagar, sin embargo el beneficio nunca es real porque depende del uso que tenga el servicio contratado donde algunas veces puede llegar al sobre uso.[7, p.4].

Los CCSPs usan modelos de precios mixtos que incluyen el esquema de pago por suscripción y el pago por uso, *Pay-as-you-go* que usan las IaaSs y las PaaSs.

Existen otros modelos como el *Modelo de pago por suscripción* donde los precios se establecen de acuerdo con el nivel de la suscripción, son comunmente usados por los provedores de servicios de Hosting. El *modelo de pago basado en costos* permite al CCSP calcular los precios dinámicos dependiendo de la demanda y las operaciones del los centros de datos del CCSP. Entre los demás modelos de precios dinámicos están los *Modelos genéticos de precios*, *Modelos de precios basados en*

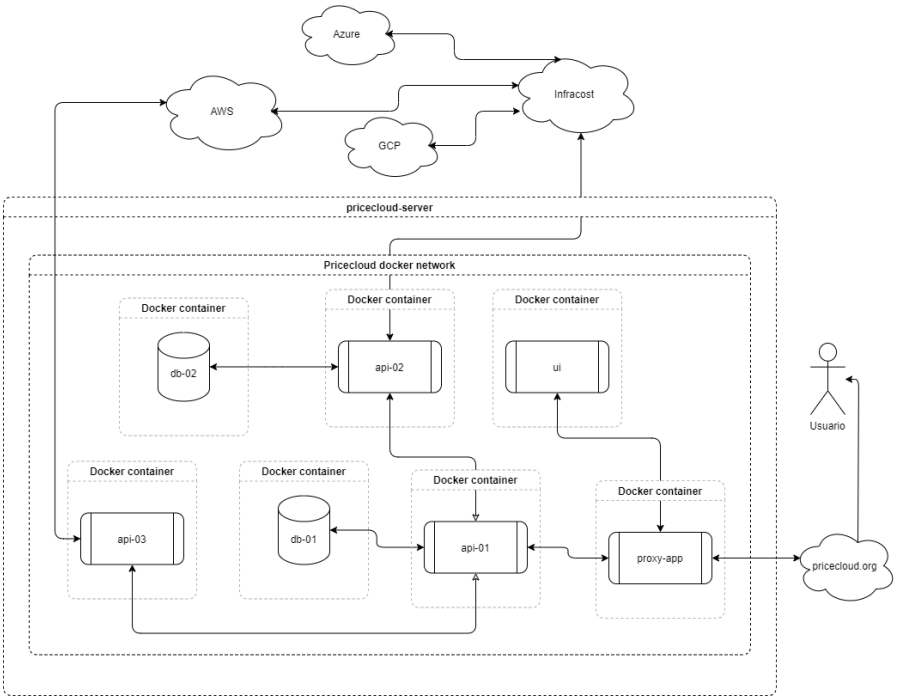
la competencia, *Modelos de precios basados en el cliente*, *Modelos de precios con subasta dinámica* y los *Modelos de precios híbridos* que establecen el precio con la convinación de los mencionados anteriormente[7, p.7].

8

ARQUITECTURA

A cada uno de los servicios enunciados en este informe le corresponde una carpeta dentro del repositorio del proyecto. El código fuente es de acceso libre y se encuentra en `https://github.com/sebastianaf/pricecloud`.

8.1 ESQUEMA DE SERVICIOS



8.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS

La aplicación esta compuesta por seis microservicios con funciones específicas cada uno descritas a continuación.

8.2.1 *API REST* api-01

(NestJS) El primer microservicio del backend se encarga de autenticar los usuarios de la aplicación y centralizar todas las peticiones. Este servicio está expuesto en Internet en `https://api.pricecloud.org` y su documentación está en `https://api.dev.pricecloud.org` se comunica usando el protocolo HTTPS gracias a que se encuentra detrás del contenedor de Nginx Proxy Manager,también esta comunicado con *api-03* para el aprovisionamiento de servicios en AWS, con *ui* autenticando cada petición con *JSON Web Tokens* cifrados con Advanced Encryption Standard (AES); La responsabilidad de este servicio es responder todas las peticiones creadas por el frontend de la aplicación incluyendo las consultas de los precios de los Cloud Computing

Providers (CCSPs) almacenadas en la base de datos *db-02* accedida por *api-02*.

8.2.2 *API REST* api-02

(ApolloServer) El segundo microservicio de backend se encarga de recopilar la información de precios de los CCSPs. Este sevicio accede a la data de *db-02* donde hay mas de 3 millones de registros de precios de CCSPs, esta parte de la aplicación también tiene la responsabilidad de actualizar la base de datos de precio cuando *api-01* se lo indique, esta actualización es una consulta a los servidores de *Infracost* accediendo a la base de datos libre de precios.

8.2.3 *API REST* api-03

(Python Flask) El tercer microservicio de backend se encarga de aprovisionar recursos en AWS usando LibCloud para la creación de instancias *EC2* y *S3*.

8.2.4 *Base de datos* db-01

(PostgreSQL) Este microservicio corresponde a la base de datos principal del proyecto, aquí residen los datos de todos los usuarios, sus roles y permisos el esquema de datos de este servidor esta definido en *api-01* por TypeORM.

8.2.5 *Base de datos* db-02

(PostgreSQL) Por motivos de rendimiento se decidió separar la base de datos de precios de los CCSPs en un servidor aparte, esta base de datos es accedida por *api-02* y se actualiza semanalmente por *api-02*.

8.2.6 *Interfaz Web* ui

(NextJS) Este servicio se encarga de ejecutar el servidor web con la interfaz gráfica de usuario. Implementa un esquema de autenticación por *cookies* con tokens *JWT* encriptados con AESs, este microservicio se comunica con *api-01* para solicitar todas las funcionalidades de la aplicaciones al resto de los contenedores. Esta parte de la aplicación es accesible en

9

RESUMEN DE ACTIVIDADES

A continuación se muestran los resultados de las actividades desarrolladas.

9.1 1ER OBJETIVO ESPECÍFICO.

Las actividades de este objetivo específico tienen como propósito *definir un modelo general de evaluación de costos para el análisis de los servicios en el CC usando información recuperable y relevante de la Web de sus proveedores.* El resultado obtenido son las ecuaciones del modelo de evaluación de costos listas para implementación. A continuación el resumen de cada actividad.

9.1.1 *Actividades 1 y 2.*

Investigar acerca de las los modelos de precios en los CCSPs y comparar los criterios de cobro entre cada CCSP:

Como resultado de esta actividad y teniendo en cuenta las *variables de costo* de cada tipo de tipo de servicio en la *sección 2.2.2* se formuló el siguiente criterio.

Dado un servicio bajo demanda s que tienen en común una pareja $ccsp$ donde $ccsp_i$ es un CCSP con $i \in [1, 2]$ se define que:

Compute *o* Container

Si s es del tipo *Compute* o *Container* la *variable de costo* principal es la $demanda$ definida como el tiempo en que se usará el servicio. Si se conocen los *rangos de costo* para las variables cpu y ram entonces la *función de costo* del servicio es:

$$costo_i(s, ccsp_i, demanda, cpu, ram) = (costoCPU + costoRAM) * demanda$$

Donde:

- $ccsp_i$: Se define como uno de los Cloud Computing Providers (CCSPs) comparados.
- $demanda$: Es el tiempo en horas que se requiere el servicio.
- cpu : Es la cantidad de núcleos de procesamiento requeridos.

- ram : Es la cantidad de memoria RAM requerida en unidades de GB.
- $costoCPU(s, ccsp_i, cpu)$ Es el costo de la cantidad de cpu según el *rango de costo* del $ccsp_i$.
- $costoRAM(s, ccsp_i, ram)$ Es el costo de la cantidad de ram según el *rango de costo* del $ccsp_i$.

El puntaje comparativo $score$ que tiene el $ccsp_1$ con respecto al $ccsp_2$ es:

$$score = \frac{costo_1(s, ccsp_1, demanda, cpu, ram)}{costo_2(s, ccsp_2, demanda, cpu, ram)}$$

Finalmente, si $score < 1$ entonces se dice que el $ccsp_1$ tiene preferencia sobre $ccsp_2$ para el servicio s según un requerimiento de cpu, ram y $demanda$.

Storage *o* SQL

Si s es del tipo *Storage* o *SQL* la *variable de costo* principal es la $cuota$ de almacenamiento. Si se conocen los *rangos de costo* para la variable de disponibilidad del recurso llamada $disp$ entonces la *función de costo* del servicio es:

$$costo_i(s, ccsp_i, cuota, disp) = costoDisponibilidad * cuota$$

Donde:

- $ccsp_i$: Se define como uno de los Cloud Computing Providers (CCSPs) comparados.
- $cuota$: Es el espacio en GB que se requiere.
- $disp$: Es el tipo de disponibilidad del recurso (Ej: Modo frio, alta velocidad).
- $costoDisponibilidad(s, ccsp_i, cuota, disp)$ Es el costo del tamaño de la $cuota$ para una disponibilidad específica según el *rango de costo* del $ccsp_i$.

9.1.2 *Actividad 3.*

Identificar las variables principales que usan los CCSPs para el cobro de los servicios:

Como conclusión y resultado de esta actividad se definieron las variables principales que usan los CCSPs para el cobro de cada tipo de

servicio. Cada variable depende del servicio en cuestión.

En el caso de el servicios tipo *Compute* y *Container* relacionados con máquinas virtuales y contenedores, la variable de costo principal es el *demanda temporal* del recurso en producto con la *cantidad de CPU's* y la *cantidad de memoria RAM*.

Si se habla de un recurso tipo *Storage* y *SQL* la variable de costo principal es la *cuota de almacenamiento* en producto con la *disponibilidad*, este último se relaciona con lo que será almacenado y cómo será recuperado. (Ej: Archivos, objetos o bases de datos. Modo frio o alta velocidad).

9.1.3 *Actividad 4.*

Efectuar pruebas de escritorio del modelo para 5 CCSPs:

Como resultado de este ejercició se concluye que el modelo definido en la *Actividad 1 y 2* puede aplicarse para los servicios básicos de la mayoría de los CCSPs.

9.2 2DO OBJETIVO ESPECÍFICO.

Las actividades de este objetivo específico tienen como propósito *diseñar e implementar un prototipo basado en microservicios que recopile periodicamente y almacene las tarifas de los principales CCSPs*. El resultado obtenido es un Web service que desempeña las tareas mencionadas. A continuación el resumen de cada actividad.

9.2.1 *Actividad 5.*

Diseñar el modelo de datos para almacenar la información de costos:

Como resultado de esta actividad se diseñó el esquema de la base de datos usando el ORM TypeORM sobre PostgreSQL, Los archivos relacionados con cada Entidad de la base de datos se encuentran en `https://github.com/sebastianaf/pricecloud/tree/master/api-01/src/` dentro de las carpetas *entities*.

9.2.2 *Actividad 6.*

Diseñar un microservicio que use técnicas de Crawling *y* Scraping *para recuperar datos de precios de los CCSPs*:

Esta actividad fue parcialmente modificada ya que la técnica de recopilación de los precios de los CCSPs cambio, estos fueron recuperados de la base de datos de *Infracost*, el código fuente de este servicio fue adaptado a partir del proyecto ubicado en `https://github.com/infracost/cloud-pricing-api`, en su momento era código público disponible bajo la licencia *Apache 2.0*. el código del servicio implementado para esta actividad se encuentra en `https://github.com/sebastianaf/pricecloud/tree/master/api-02/` y tiene ligeros cambios en la lógica para ejecutar las operaciones de actualización de la base de datos de precios y demás operaciones de gestión mediante sockets de *Socket.io*.

9.2.3 *Actividad 7.*

Implementar el modelo de evaluación de costos usando un microservicio:

Como resultado de esta actividad se hizo despliegue de la aplicación de manera pública en `https://pricecloud.org/dashboard/compare`. En esta y otras secciones de la aplicación los usuarios pueden operar entre diferentes servicios de los CCSPs y obtener un cociente comparativo entre ellos. El código fuente de este servicio se encuentra en `https://github.com/sebastianaf/pricecloud/tree/master/api-01/price`

9.2.4 *Actividad 8.*

Diseñar una configuración de microservicios en Docker Compose:

Como resultado de esta actividad se creó el archivo *docker-compose.yml* ubicado en `https://github.com/sebastianaf/pricecloud/blob/master/docker-compose.yml` donde están configurados todos los servicios de la aplicación.

9.2.5 *Actividad 9.*

Desplegar la configuración de microservicios en Docker Compose:

Como resultado de esta actividad se desplegaron dos servicios sobre el dominio `https://pricecloud.org` usando Docker Compose y Nginx Proxy Manager como *proxy inverso* para la encriptación en tránsito y la gestión automática de certificados *TLS/SSL*, toda la aplicación se encuentra administrada por un entrono de *CI/CD* usando *Jenkins* y para el despliegue automático de cada cambio en el repositorio.

Los servicios se encuentran desplegados en las siguientes ubicaciones:

- `https://pricecloud.org` ->*ui*
- `https://dev.pricecloud.org` ->*ui* (Desarrollo)
- `https://api.pricecloud.org` ->*api-01*
- `https://api.dev.pricecloud.org` ->*api-01* (Desarrollo)

  Los demás servicios no están disponibles solo son accedidos a través de *api-01*.

9.3 3er objetivo específico.

Las actividades de este objetivo específico tienen como propósito *Diseñar e implementar un prototipo de aplicación web basada en microservicios para acceder a la información de costos de los proveedores y administrar los recursos de un usuario usando tecnologías agnósticas del proveedor.*. El resultado obtenido es un Prototipo de aplicación web para administrar recursos de tipo *Compute*, *Storage* y *Container* sobre AWS y obtener información de costos de los principales CCSPs. A continuación el resumen de cada actividad.

Actividad 10.

Diseñar el modelo de datos para almacenar la información de la aplicación. El resultado de esta actividad se menciona en la Actividad 5, el modelo de datos de toda la aplicación se encuentra ubicado de manera centralizada en *db-01* y descrito en `https://api.dev.pricecloud.org/docs` su código fuente se encuentra implementado por entidades de TypeORM en `https://github.com/sebastianaf/pricecloud/tree/master/api-01/src/` dentro de las carpetas *entities*.

Actividad 11.

Diseñar un microservicio para la administración básica de recursos sobre AWS usando LibCloud. El resultado de esta tarea es el microservicio *api-03* ubicado, esta parte de la aplicación no es accesible de manera pública, solo es accedida por el microservicio *api-01* y *ui* para aprovisionar recursos sobre AWS y obtener información de los mismos. El código fuente de este servicio se encuentra en `https://github.com/sebastianaf/pricecloud/tree/master/api-03/`

Actividad 12.

Diseñar a partir de un microservicio una aplicación web usando NodeJS *con* ReactJS *para proveer una interfaz de usuario.* El resultado de

esta actividad es el microservicio *ui* ubicado que tiene la interfaz de usuario de la aplicación, este servicio es accesible desde https://pricecloud.org y https://dev.pricecloud.org para el entorno de desarrollo. El código fuente de este servicio se encuentra en https://github.com/sebastianaf/pricecloud/tree/master/ui/

Actividad 13.

Diseñar una configuración de microservicios en Docker Compose. El resultado de esta actividad es el archivo *docker-compose.yml* ubicado en https://github.com/sebastianaf/pricecloud/blob/master/docker-compose.yml donde están configurados todos los servicios de la aplicación, este archivo es el mismo que se usa para el despliegue de la aplicación en https://pricecloud.org y https://dev.pricecloud.org.

Actividad 14.

Desplegar la configuración de microservicios en Docker Compose. El resultado de esta actividad es el despliegue de la aplicación en https://pricecloud.org y https://dev.pricecloud.org para el entorno de desarrollo usando Docker Compose y Nginx Proxy Manager como *proxy inverso* de la misma manera como se menciona en la Actividad 9.

10 PRESUPUESTO

10.1 FINANCIACIÓN POR EL ESTUDIANTE

A continuación se adjunta información referente al presupuesto de la propuesta financiada por el estudiante.

Rubros	*Financiación por parte del estudiante*				
	Costo hora	Horas*semana	Costo semana	Cant. semanas	*Total*
Recursos humanos					$ 7.680.000
Ph.D. John Alexander Sanabria	-	-	-	-	-
Estudiante Pregrado Sebastián Afanador	$ 5.000	24	$ 120.000	64	$ 7.680.000
Recursos de hardware					$ 4.376.000
Computador	-	-	-	-	$ 1.800.000
Servidor Lenovo ThinkCentre M720Q	-	-	-	-	$ 2.000.000
Internet	-	-	$ 9.000	64	$ 576.000
Recursos de software					$ 128.000
Pruebas sobre AWS	-	-	$ 2.000	64	$ 128.000
TOTAL					**$ 12.184.000**

10.2 FINANCIACIÓN POR LA UNIVERSIDAD

A continuación se adjunta información referente al presupuesto de la propuesta financiada por la Universidad.

Rubros	*Financiación por parte de la Universidad*				
	Costo hora	Horas * semana	Costo semana	Cant. Semanas	*Total*
Recursos humanos					$ 25.600.000
Ph.D. John Alexander Sanabria	$ 200.000	2	$ 400.000	64	$ 25.600.000
Estudiante Pregrado Sebastián Afanador	-	-	-	-	-
Recursos de hardware					-
Computador	-	-	-	-	
Servidor	-	-	-	-	-
Internet	-	-	-	-	-
Recursos de software					$ -
Pruebas sobre AWS	-	-	-	-	-
TOTAL					**$ 25.600.000**

GLOSARIO

Amazon Web Services Es una empresa lider mundial en servicios de CC. 8, 25

Cloud Computing Provider Empresa que presta servicios de Computación en la nube. 14, 16, 17, 25

Cloud Computing El CC es una tendencia de servicios y recursos que funcionan sobre Internet para facilitar el despliegue, uso y disponibilidad de aplicaciones de Software. ii, 1, 25

Docker Es una plataforma de contenerización para la implementación microservicios, abstrae recursos como redes, volumenes de almacenamiento, y nodos de cómputo. 5, 6, 7, 23

Docker Compose Es una tecnología para la automatización y orquestación de aplicaciones a partir de contenedores de Docker. 19, 21

Framework Conjunto de tecnologías que trabajan juntas para darle desarrollo a un proyecto que tiene objectivos específicos. 8

Google Cloud Es una empresa de CC fundada por Google en el 2008. 6

GraphQL Es un lenguaje de consulta para APIs que permite recuperar información de manera eficiente y flexible. ii

Hosting Es un servicio relacionado generalmente con el alojamiento de un sitio web en una empresa que presta el servicio. 12

Hypertext Media Transfer Protocol Secure El protocolo que usa la web para enviar y recibir tráfico encriptado a través de una capa de sockets seguros. 25

Infracost Es un proyecto de estimación de costos para Terraform y Kubernetes que ofrece una API pública para recuperar información de costos de los principales proveedores de servicios de CC. ii

Let's Encrypt Es una entidad certificadora gratuita de lucro para expedición de cetificados SSL/TLS. 5

LibCloud Es una de las bibliotecas escrita en lenguaje Python mas completa hasta el momento para interactuar con los servicios de los CCSPs. ii, 4, 6, 15, 20

Material UI Es una librería de componentes que implementa el sistema de diseño de Material Design de *Google*. 6

Microsoft Azure Es una plataforma de computación en la nube que ofrece servicios de CC. ii, 6, 8, 10

NextJS Es un framework de React usado por grandes empresas para el desarrollo de aplicaciones web tipo SSR. 6

Nginx Proxy Manager Es un proxy inverso administrado por una interfaz Web sobre NodeJS y con las ventajas de Nginx. 6, 14, 19, 21

Plug-in Son complementos a las funcionalidades de base que tiene una aplicación de software, pueden ser incorporados por el usuario a discreción. 8

PostgreSQL Es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto y gratuito conocido por su confiabilidad y robustez, este simplifica algunas labores de consultas y compatibilidad entre servidores de bases de datos. 6, 18

React Es una biblioteca de Javascript para la construcción de aplicaciones web reactivas. 6

Representational State Transfer API Es una interfaz de programación de aplicaciones que permite la comunicación a través de la web usando el protocolo HTTP. 25

TypeORM Es un ORM agnóstico del proveedor para NodeJS que permite la conexión a bases de datos relacionales. 15, 18, 20

User Interface Referente al diseño que tienen las interfaces de un proyecto de software o tecnología. 25

SIGLAS

AES Advanced Encryption Standard. 5, 14, 15
API Application Programing Interface. ii, 7, 8, 23
API REST Representational State Transfer API. 14, 15
AWS Amazon Web Services. ii, 1, 6, 8, 9, 12, 14, 15, 20

CaaS Container as a Service. 7
CC Cloud Computing. ii, 1, 4, 7, 11, 16, 23
CCSP Cloud Computing Provider. ii, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23
CDN Content Delivery Network. 7
CROF Cloud Resource Orchestration Framework. 7, 8

DBaaS Data Base as a Service. 7, 8
DNS Domain Name Server. 7

EaaS Environment as a Service. 8
EC2 Amazon Elasctic Compute Cloud. 11

FaaS Function as a Service. 12

GCP Google Cloud Platform. ii, 9
GPU Graphic Processor Unit. 10

HTTPS Hypertext Media Transfer Protocol Secure. 5, 14

IaaC Infrastructure as a Code. 8
IaaS Infrastructure as a Service. 11, 12
IoT Internet of Things. 11

NIST National Institute of Standards and Technology. 10

ORM Object Relational Mapping. 18
OS Operative System. 10

PaaS Platform as a Service. 11, 12
PDF Portable Document Format. 8

SaaS Software as a Service. 12
SSR Server Side Rendering. 24

UI User Interface. 6
UX User Experience. 6

VM Virtual Machine. 10
VPS Virtual Private Server. 11

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ioana Baldini et al. «Serverless Computing: Current Trends and Open Problems». En: *Research Advances in Cloud Computing*. Ed. por Sanjay Chaudhary, Gaurav Somani y Rajkumar Buyya. Singapore: Springer Singapore, 2017, págs. 1-20. ISBN: 978-981-10-5026-8. DOI: 10.1007/978-981-10-5026-8_1. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-10-5026-8_1.

[2] Vidyanand Choudhary. «Software as a service: Implications for investment in software development». En: *2007 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07)*. IEEE. 2007, 209a-209a.

[3] George Lawton. «Developing software online with platform-as-a-service technology». En: *Computer* 41.6 (2008), págs. 13-15.

[4] Fang Liu, Jin Tong, Jian Mao, Robert Bohn, John Messina, Lee Badger, Dawn Leaf et al. «NIST cloud computing reference architecture». En: *NIST special publication* 500.2011 (2011), págs. 1-28.

[5] Theo Lynn, Pierangelo Rosati, Arnaud Lejeune y Vincent Emeakaroha. «A preliminary review of enterprise serverless cloud computing (function-as-a-service) platforms». En: *2017 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*. IEEE. 2017, págs. 162-169.

[6] Ayob Sether. «Cloud computing benefits». En: *Available at SSRN 2781593* (2016).

[7] Aishwarya Soni y Muzammil Hasan. «Pricing schemes in cloud computing: a review». En: *International Journal of Advanced Computer Research* 7.29 (2017), pág. 60.

[8] Orazio Tomarchio, Domenico Calcaterra y Giuseppe Di Modica. «Cloud resource orchestration in the multi-cloud landscape: a systematic review of existing frameworks». En: *Journal of Cloud Computing* 9.1 (2020), págs. 1-24.