

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Cloud federations for Slice-as-a-Service provision: a cost-based analysis

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

Autor: VIVAS PLEITE, Sergio

Tutor: CONTRERAS MURILLO, Luis Miguel

Ponente: LÓPEZ DE VERGARA, Jorge Enrique

FECHA: Septiembre, 2019

Cloud federations for Slice-as-a-Service provision: a cost-based analysis

AUTOR: Sergio Vivas Pleite
TUTOR: Luis Miguel Contreras Murillo
Ponente: Jorge Enrique López de Vergara

Telefónica I+D
Dpto. Transporte y Redes IP
Distrito Telefónica, Edificio Sur 3
Ronda de la comunicación, s/n, Las Tablas, Madrid
Septiembre de 2019

Resumen

La computación en la nube es indudablemente una de las innovaciones tecnológicas más importantes que han aparecido en este siglo. No es útil solamente para organizaciones o empresas, sino que gracias a la aparición de ordenadores y dispositivos móviles con acceso Internet, la computación en la nube se ha convertido en algo que aparece en el día a día de todas las personas de nuestra sociedad. Las ventajas que nos ofrece son prácticamente innumerables

Sin embargo, con la aparición de nuevas tecnologías, como el 5G, aparecen un nuevo conjunto de servicios que tienen unos requerimientos (en términos de ancho de banda, latencia, disponibilidad...) muy exigentes, y que hoy en día, las infraestructuras de computación en la nube que conocemos, tendrían muy complicado entregar (debido que para poder satisfacer esta gran variedad de requisitos, se hace insostenible desde un punto de vista económico para el proveedor de servicios en la nube).

Por este motivo, en los últimos años ha cobrado importancia la idea de la federación de proveedores de servicios en la nube o *cloud*, a través de la cual se puede lograr o alcanzar una computación federada en la nube (*Federated cloud computing*). Por lo tanto, la federación de proveedores *cloud* es un conjunto de proveedores que trabajan juntos en una federación. Esto es, cuando un proveedor *cloud* recibe un servicio y, o bien no tiene recursos disponibles en ese momento, o con sus recursos no puede satisfacer los requisitos de ese servicio, el proveedor *cloud* puede federar el servicio a otro proveedor (que se encuentre dentro de la federación) en el cual sí se pueda desplegar. Por lo tanto, el cliente desconoce que finalmente el servicio que había solicitado se está ejecutando en un proveedor distinto al que había acudido. Justamente, este ejemplo se conoce como SlaaS (*Slice-as-a-Service*), en el cual un proveedor puede ofrecer a otro un segmento de su red virtual dedicada, el cual posee unos recursos determinados que permiten una funcionalidad o servicio específico. Este segmento de red es lo que se conoce como una *network slice*.

Con el fin de analizar desde un punto de vista técnico y económico este tipo de sistemas y sus servicios, en este Trabajo Fin de Máster se realizan dos estudios. Por un lado, se plantea un estudio analítico que establece una relación entre las principales variables involucradas en la provisión de segmentos de red en una federación de proveedores *cloud* con el fin de garantizar la sostenibilidad del sistema. Por otro lado, se propone un estudio experimental realizado a través de una herramienta desarrollada en MATLAB. Dicho análisis se realiza a través de distintas simulaciones variando ciertos parámetros del sistema para estudiar cómo estos cambios afectan a su rentabilidad.

Palabras clave

Cloud, federación, segmento de red, SlaaS, proveedor cloud, 5G, computación en la nube, beneficios, ingresos, costes

Abstract

Cloud computing is definitely one of the most important technological innovations that emerged in this century. This technology is not only suitable for big organizations or companies, but also, thanks to the appearance of computers and phones with Internet access, cloud computing has become an essential element for everybody in our society. The cloud computing advantages are practically countless.

Nevertheless, in recent years new technologies arose, such as 5G, which bring a new set of services with very demanding requirements (in terms of bandwidth, latency, availability...). Cloud computing infrastructures that currently exist do not have any opportunity to satisfy the wide range of requirements (mainly because of satisfying all these specifications, for a single cloud provider, is totally unaffordable from an economic point of view).

For this reason, lately the idea of a cloud providers federation has become important. Through this federation, a federated cloud computing can be achieved. Therefore, a cloud providers federation is a set of cloud providers that work together in a federation. This is, when a cloud provider receives a service and it cannot deploy it in its infrastructure (because all its resources are occupied), it can federate this service to another cloud provider (this provider must be part of the federation). Hence the client ignores that the service that requires is deployed in a different provider. This case is known as SaaS (Slice-as-a-Service), in which a provider can offer to another provider of its federation a slice of his network. This network slice has specific resources that allow a specific functionality.

With the purpose of analyzing from a techno-economic point of view these kind of systems, two studies have been developed in this Master Thesis. First, an analytical study is exposed. This analysis establishes a relation between the main variables involved in the provision of network slices in a cloud providers federation, in order to guarantee the sustainability of the system. Second, an experimental study is carried out through a tool developed in MATLAB. This analysis is performed through different simulations by varying certain system parameters to study how these changes affect their profitability.

Keywords

Cloud, federation, network slice, SaaS, cloud provider, 5G, cloud computing, benefits, revenues, costs

Agradecimientos

Con la entrega del TFG se acababa una etapa importante en mi vida, pero comenzaba otra parecida. Con gente distinta, pero al final y al cabo, consistía en lo mismo, continuar con mis estudios. Sin embargo, la entrega del TFM es ir más allá. Se cierra un capítulo de mi vida. Se acabaron las clases, los desayunos, los exámenes, las prácticas... a fin de cuentas, se acaba la universidad. Empieza un nuevo capítulo, el del trabajo. A lo largo de toda mi vida siempre recordaré el capítulo de la universidad como una época increíble, donde crecí académica y (sobre todo) personalmente. Siempre estaré orgullo de mi universidad, siempre seré de la EPS-UAM.

En primer lugar, me gustaría agradecer a Luis M. Contreras que haya sido el director de mi TFM. Una vez tomé la decisión de abandonar TID, él podría no haber continuado con la realización de este proyecto, y sin embargo, siempre fue el que, con una sonrisa, me animó a continuar haciéndolo y me ofreció su apoyo. Muchas gracias, Luismi.

Igualmente agradezco el apoyo de mi ponente, Jorge López de Vergara. Ya fue mi ponente en el TFG, y no dudé en que nuevamente lo fuese en el TFM. Siempre ofreciendo su apoyo en todo lo que necesitásemos.

No puedo olvidarme del gran grupo que me ha dado la universidad, los de siempre. Anto, Ricky y Abreu, siempre habéis sido un apoyo, tanto dentro como fuera de la universidad, y sé que siempre lo vais a ser.

Como no, también agradecer a mi grupo de amigos. No por su ayuda en el máster, sino porque siempre me han ayudado a desconectar y ser feliz. Galán, Diego, Feli, Blas, Pablo y Jorge, sumando a los tres anteriormente mencionados. La verdad que tenemos un grupo espectacular (algunos más personajes que otros) y espero que así siga siendo siempre.

También tengo que mencionar una de las apariciones más increíbles que han surgido en este período de tiempo, que además, ha surgido en la universidad. Génova. No sólo porque gracias a este equipo ganamos un concurso, ni porque estoy trabajando donde estoy gracias a esto, sino porque sobre todo, ha despertado en mí una actitud luchadora, de ganas y esfuerzo, que creo que me ha ayudado bastante y que, sobre todo, creo que me va a ayudar el resto de mi vida. Gracias Anto, Ricky, Abreu, Galán (estos están en todo) y Gisme. Gracias Génova.

De igual manera, me gustaría mencionar en estos agradecimientos a toda la gente con la que he estado día a día en el máster. Por un lado a lo que ya conocía, Esther y Bea. Empezamos y acabamos juntos, siempre codo con codo. Las dos sois top y os va a ir genial estéis donde estéis. Y por otro lado, a la gente nueva que, o no conocía, o habíamos hablado muy poco. Víctor, Palomo, Gator, Lamas, Beltrán, Javi, Laura, Bea, Lidia... muchas gracias por todo. He aprendido algo de cada uno de vosotros, seguid así y os comeréis el mundo.

Por último y no menos importante (de hecho, lo que más), dar las gracias a toda mi familia. Papá, mamá, Cris, soy quien soy gracias a vosotros y estaré eternamente agradecido siempre, el resto de mi vida. Igualmente, gracias a Sergio Albandea por su gran apoyo durante todo el máster, siempre dispuesto a ayudar.

De verdad y de corazón, muchísimas gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 1.1 MOTIVACIÓN | 3 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA | 4 |
| 2 ESTADO DEL ARTE | 7 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| 2.2 CLOUD COMPUTING | 7 |
| 2.2.1 Servicios del cloud computing | 9 |
| 2.2.2 Tipos de cloud en cloud computing..... | 10 |
| 2.3 TECNOLOGÍA 5G..... | 11 |
| 2.3.1 Nuevo escenario para la computación en la nube | 12 |
| 2.4 FEDERATED CLOUD COMPUTING | 12 |
| 2.4.1 Slice-as-a-Service..... | 14 |
| 2.4.2 Federated Cloud Computing con 5G | 14 |
| 2.5 CONCLUSIONES..... | 14 |
| 3 DISEÑO | 17 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN..... | 17 |
| 3.2 ARQUITECTURA DE LA FEDERACIÓN DE PROVEEDORES CLOUD | 17 |
| 3.3 METODOLOGÍA ADOPTADA | 18 |
| 3.3.1 Caracterización de ingresos y costes..... | 19 |
| 3.3.2 Caracterización de servicios | 19 |
| 3.3.3 CPUs de gestión..... | 20 |
| 3.4 CONCLUSIONES..... | 21 |
| 4 DESARROLLO..... | 23 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN..... | 23 |
| 4.2 ESTUDIO ANALÍTICO..... | 23 |
| 4.2.1 Proveedor Cloud de la Entrada (PCE) | 24 |
| 4.2.2 Proveedor Cloud Federado (PCF)..... | 25 |
| 4.2.3 Federación de proveedores cloud (FED)..... | 26 |
| 4.3 ESTUDIO EXPERIMENTAL..... | 26 |
| 4.4 CONCLUSIONES..... | 27 |
| 5 INTEGRACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS | 29 |
| 5.1 INTRODUCCIÓN..... | 29 |
| 5.2 PROVEEDOR CLOUD DE LA ENTRADA..... | 29 |
| 5.3 PROVEEDOR CLOUD DE LA FEDERACIÓN | 34 |
| 5.4 FEDERACIÓN DE PROVEEDORES CLOUD | 36 |
| 5.5 CONCLUSIONES..... | 42 |
| 6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO..... | 43 |
| 6.1 CONCLUSIONES..... | 43 |
| 6.2 TRABAJO FUTURO | 44 |
| REFERENCIAS | 47 |
| GLOSARIO | 49 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 2-1: ARQUITECTURA <i>CLOUD</i> | 8 |
| FIGURA 2-2: CASO TÍPICO DE COMPUTACIÓN FEDERADA EN LA NUBE | 13 |
| FIGURA 3-1: ARQUITECTURA DE LA FEDERACIÓN DE PROVEEDORES <i>CLOUD</i> | 17 |
| FIGURA 3-2: <i>COST-BASED MODEL</i> | 18 |
| FIGURA 3-3: DISTRIBUCIÓN DE USO DE <i>CPU</i> S | 21 |
| FIGURA 5-1: TRANSCENDENCIA EN EL NÚMERO DE SERVICIOS RECIBIDOS | 29 |
| FIGURA 5-2: RENTABILIDAD DE LOS TIPOS DE SERVICIOS CON POCOS RECURSOS | 30 |
| FIGURA 5-3: BENEFICIOS DEL <i>PCE</i> EN FUNCIÓN A SUS RECURSOS – 5000 SERVICIOS | 32 |
| FIGURA 5-4: BENEFICIOS DEL <i>PCE</i> EN FUNCIÓN A SUS RECURSOS – 10000 SERVICIOS | 32 |
| FIGURA 5-5: BENEFICIOS DEL <i>PCE</i> EN FUNCIÓN A SUS RECURSOS – 15000 SERVICIOS | 33 |
| FIGURA 5-6: BENEFICIOS DEL <i>PCE</i> EN FUNCIÓN A SUS RECURSOS – 20000 SERVICIOS | 33 |
| FIGURA 5-7: SIMULACIÓN PARA ESTUDIAR LA RENTABILIDAD DEL <i>PCF</i> | 34 |
| FIGURA 5-8: BENEFICIOS DE LA FEDERACIÓN NO NORMALIZADOS – 5000 SERVICIOS | 37 |
| FIGURA 5-9: BENEFICIOS DE LA FEDERACIÓN NORMALIZADOS – 5000 SERVICIOS | 38 |
| FIGURA 5-10: BENEFICIOS DE LA FEDERACIÓN NO NORMALIZADOS – 10000 SERVICIOS | 38 |
| FIGURA 5-11: BENEFICIOS DE LA FEDERACIÓN NORMALIZADOS – 10000 SERVICIOS | 39 |
| FIGURA 5-12: BENEFICIOS DE LA FEDERACIÓN NO NORMALIZADOS – 15000 SERVICIOS | 39 |
| FIGURA 5-13: BENEFICIOS DE LA FEDERACIÓN NORMALIZADOS – 15000 SERVICIOS | 40 |
| FIGURA 5-14: BENEFICIOS DE LA FEDERACIÓN NO NORMALIZADOS – 20000 SERVICIOS | 40 |
| FIGURA 5-15: BENEFICIOS DE LA FEDERACIÓN NORMALIZADOS – 20000 SERVICIOS | 41 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1: CARACTERIZACIÓN DE LOS SERVICIOS | 20 |
|---|----|

1 Introducción

1.1 Motivación

La computación en la nube es, sin lugar a dudas, una de las innovaciones tecnológicas más importantes que han surgido en los últimos años. Desde su aparición, no han parado de surgir nuevos servicios que pueden ser desplegados en la nube y, con ello, el número de usuarios de este tipo de topología ha aumentado exponencialmente. La computación en la nube se ha convertido en una necesidad no sólo para organizaciones o empresas, sino que, gracias a la llegada de los dispositivos móviles con acceso a Internet, su uso es indispensable para muchas personas en la realización de sus actividades cotidianas. Esto es debido a que ofrece un abanico enorme de ventajas ^[1]: permite ejecutar programas sin instalarlos en nuestros dispositivos, permite almacenar y acceder a contenido multimedia a través de Internet sin la necesidad de tenerlo almacenado localmente en el dispositivo, permite desarrollar y probar programas sin tener servidores propios, etc. Gracias a todas estas facilidades, la computación en la nube se ha convertido en un elemento imprescindible en, prácticamente, todas las actividades de nuestro día a día.

Por otro lado, ha aparecido una nueva tecnología que está empezando a afectar en gran medida a la computación en la nube. Este tipo de tecnología es la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil, más conocido como el 5G. Esta nueva generación promete tener un ancho de banda entre 10 y 20 veces más rápido que las conexiones móviles que conocemos actualmente. De igual manera, también promete mejorar sustancialmente otros KPIs ^[2], como la latencia, disponibilidad... Por este motivo, está apareciendo un nuevo conjunto de servicios que tienen unos requisitos muy exigentes, los cuales las infraestructuras *cloud* actuales tienen muy difícil satisfacer ^[3] (debido a que satisfacer esta gran variedad de requerimientos se hace insostenible desde un punto de vista económico para el proveedor de servicios en la nube).

Por este motivo, en los últimos años ha cobrado importancia la idea de la federación de proveedores de servicios en la nube o *cloud*, a través de la cual se puede alcanzar una computación federada en la nube (*Federated cloud computing*) ^[4]. Por lo tanto, la federación de proveedores *cloud* es un conjunto de proveedores que trabajan juntos en una federación. Esto es, cuando un proveedor *cloud* recibe un servicio y, o bien no tiene recursos disponibles en ese momento, o con sus recursos no puede satisfacer los requisitos de ese servicio, el proveedor *cloud* puede federar el servicio a otro proveedor (que se encuentre dentro de la federación) en el cual sí se pueda desplegar. En consecuencia, el cliente desconoce que finalmente el servicio que había solicitado se está ejecutando en un proveedor distinto al que había acudido. Justamente, este ejemplo se conoce como SaaS (*Slice-as-a-Service*) ^[5], en el cual un proveedor puede ofrecer a otro un segmento de su red virtual dedicada, el cual posee unos recursos determinados que permiten una funcionalidad o servicio específico. Este segmento de red es lo que se conoce como una *network slice*.

Este Trabajo Fin de Máster va a proporcionar un primer análisis desde un punto de vista técnico y económico de este sistema de federación de computación en la nube y del nuevo modelo SaaS. A través de estudios analíticos y experimentales, se desea obtener cierta información sobre la rentabilidad y sostenibilidad de estos sistemas.

1.2 Objetivos

El objetivo final de este Trabajo Fin de Máster es el análisis tecno-económico de una federación de proveedores *cloud* para la provisión de SlaaS (*Slice-as-a-Service*). Para lograrlo, se plantean dos tipos de estudio. Un estudio analítico que pretende proporcionar una visión teórica acerca de la rentabilidad y sostenibilidad del sistema, y un estudio experimental a través de la creación de una herramienta en MATLAB que permite llevar a cabo simulaciones.

Para lograr este objetivo final, se deben alcanzar los siguientes hitos parciales:

- Comprensión de la federación de proveedores *cloud* (arquitecturas, metodología...)
- Familiarización con el modelo SlaaS (*Slice-as-a-Service*)
- Estudio entre los principales proveedores *cloud* con el objetivo de fijar un ingreso parecido al precio actual.
- Estudio entre los principales proveedores de infraestructura hardware para modelar los costes con precios reales del mercado.
- Desarrollo de un análisis para obtener una visión teórica del problema.
- Desarrollo de una herramienta (en MATLAB) que permita realizar simulaciones de llegadas de servicios en una infraestructura *cloud*.
- Realización de varias simulaciones, variando el número de servicios y sus requisitos, la cantidad de recursos en el proveedor y en la federación, etc.
- Extracción de resultados y conclusiones del estudio analítico y del estudio experimental (de las simulaciones).

1.3 Organización de la memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- Introducción: como se acaba de leer, en esta sección se exponen la motivación, los objetivos del proyecto, y la organización de esta memoria.
- Estado del arte: a lo largo de este capítulo se expone una base teórica que anima a la realización de este proyecto. Se presentan las principales ideas de la computación en la nube, la nueva tecnología 5G y la idea de una federación de proveedores *cloud*, llamada computación federada en la nube.
- Diseño: en esta sección se explica el diseño previo que se realizó de los dos estudios realizados en este proyecto. Por un lado, se explica la arquitectura *cloud* tomada como referencia y el proceso diseñado, y por otro lado, se explica la metodología adoptada.
- Desarrollo: a lo largo de este capítulo se expone el desarrollo de los dos estudios realizados en este Trabajo Fin de Máster: el estudio analítico y el estudio experimental.
- Integración, pruebas y resultados: en esta sección se exponen todas las simulaciones realizadas en el estudio experimental y las gráficas resultantes. Estas pruebas se

realizaron desde tres puntos de vista distintos: proveedor *cloud* de la entrada, proveedor *cloud* federado, y federación de proveedores *cloud*.

- Conclusiones y trabajo futuro: en esta última sección se exponen las conclusiones finales de este Trabajo Fin de Máster, a la vez que se presentan las posibles líneas de trabajo a las que se las puede dar continuidad.

2 Estado del arte

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta la base teórica que motiva y apoya la realización de este Trabajo Fin de Máster. En primer lugar se exponen el concepto y las principales ideas de la computación en la nube, caracterizando los servicios que ofrece, los tipos de *cloud* que existen y sus beneficios. En segundo lugar, se sintetizan las principales características de la quinta generación de redes móviles, comúnmente conocida como 5G, ahondando en el asunto de cómo afecta la aparición de esta tecnología a la computación en la nube. Por último se estudiará el hecho de cómo el 5G obliga a los proveedores de servicios *cloud* a unirse en una federación y el servicio que se dan entre sí, el servicio SlaaS (*Slice-as-a-Service*).

2.2 Cloud Computing

La computación en la nube es la entrega de servicios bajo demanda a través de Internet, es decir, es el conjunto de procedimientos que permiten proporcionar recursos y capacidades de procesamiento escalables a múltiples clientes a través de Internet. Al igual que las nubes reales podemos decir que son una colección de moléculas de agua, el término *cloud* (en el contexto de computación en la nube) hace referencia a una colección de redes informáticas interconectadas.

En vez de tener que configurar su propia infraestructura física, cualquier usuario puede ejecutar procesos, desarrollar y almacenar datos desde su ordenador sin tener necesariamente esa información/software almacenado en su dispositivo ^[6]. El usuario puede beneficiarse de todos los servicios de la computación en la nube siempre que lo solicite, y pagará sólo por aquellos que haya utilizado. Cuando un usuario ejecuta una aplicación o un servicio en la nube, dicho procedimiento se desplegará en los servidores del proveedor de servicios *cloud*, por lo que no es necesario tener siquiera la aplicación almacenada en el ordenador del usuario, desde ahí solo se realizará la solicitud. Es por esto que los requisitos tanto hardware como software desaparecen para el usuario; lo único que necesitará será un navegador web.

Tal y como se puede observar en la figura 2-1, se diferencian tres componentes dentro de la arquitectura de *cloud computing*:

- Ordenadores de los usuarios: los usuarios finales interactúan con la nube a través de sus ordenadores y, como ya se ha comentado, los únicos requisitos que deben tener es conexión a Internet y un navegador web.
- Servidores distribuidos: son los servidores que ofrece el proveedor de servicios *cloud* con el fin de que los usuarios los pueden utilizar para lo que deseen. Debido a que aquí será donde se desplieguen los servicios, estas máquinas sí deben tener todos los requisitos necesarios para que se realice correctamente. Estos servidores están distribuidos físicamente en distintos sitios, pero actúan como uno.
- Centros de datos: al igual que los servidores sirven para procesar y ejecutar lo que los clientes quieren, los centros de datos sirven para almacenar.

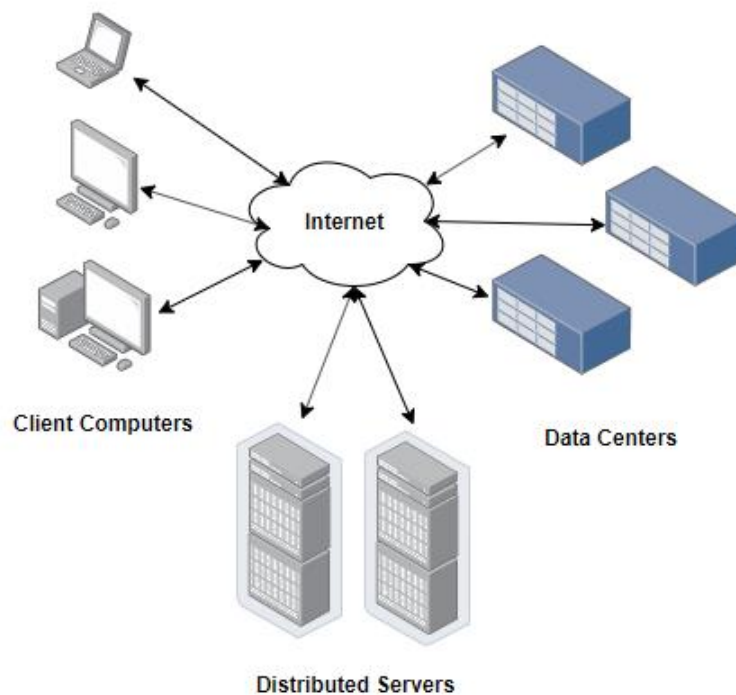


Figura 2-1: Arquitectura *cloud*

Dentro de todas las ventajas que ofrece la computación en la nube, destacan ^[7]:

- **Eficiencia/Reducción de costes:** usando la infraestructura de la nube, el usuario no se tiene que gastar grandes cantidades de dinero en comprar y mantener equipos. Esto reduce drásticamente los costes, ya que no se tiene que invertir en hardware, mantenimiento, instalaciones o construir un centro de datos. De hecho, no hace falta ni grandes equipos para manejar las operaciones, porque se desplegarán en otro servidor.
- **Seguridad:** una de las principales preocupaciones de empresas y particulares es la seguridad de su información. La computación en la nube ofrece muchas funciones avanzadas que garantizan que los datos se almacenan y manejen de forma segura.
- **Escalabilidad:** las soluciones basadas en la nube son ideales para empresas o particulares con demandas de ancho de banda que pueden fluctuar. Si por ejemplo se tiene un negocio, y sus demandas aumentan, se puede ampliar fácilmente su capacidad sin tener que cambiar la infraestructura. Además, esta escalabilidad minimiza los riesgos asociados con los problemas operativos internos y el mantenimiento.
- **Movilidad:** los recursos en la nube se pueden almacenar, recuperar, recuperar o procesar fácilmente con solo un par de clics. Los usuarios pueden obtener acceso a sus datos sobre la marcha, las 24 horas, los 7 días de la semana, a través de los

dispositivos que elijan, en cualquier rincón del mundo, siempre y cuando permanezca conectado a Internet.

- **Recuperación de datos:** la pérdida de información es una de las preocupaciones más importantes para todas las personas o empresas. Almacenar los datos en la nube garantiza que los datos siempre van a estar disponibles, incluso si los equipos locales con los que se suele trabajar están dañados. Los servicios basados en la nube proporcionan una recuperación rápida de datos para todo tipo de escenarios, desde desastres naturales hasta cortes de energía.
- **Control:** la nube permite tener un control total sobre los datos. Se puede decidir fácilmente qué usuarios tienen qué nivel de acceso a qué datos.

2.2.1 Servicios del *cloud computing*

Actualmente nos encontramos en un escenario en el que el número de servicios en la nube aumenta diariamente. Todos los días aparecen nuevas funcionalidades, nuevas aplicaciones que hasta ahora se hacían en el ordenador local de los usuarios y que se trasladan a la nube. Por lo tanto, resulta imposible hablar de todos los servicios en la nube.

Sin embargo, lo que sí se han definido son agrupaciones de servicios que dependen directamente del grado de libertad (en términos de administración) que se le otorga al cliente en la nube. Existen servicios que simplemente sirven para almacenar archivos, y servicios que te permiten gestionar tu propia infraestructura, pudiendo instalar o actualizar lo que se desee.

Dichos tipos de servicios son los siguientes ^[8]:

- **Software-as-a-Service (SaaS):** representan el mercado de computación en la nube más importante. SaaS usa los navegadores web para entregar aplicaciones que son administradas por un proveedor externo. Debido a esto, se elimina la necesidad de instalar y ejecutar aplicaciones en los ordenadores de los usuarios. También supone una ventaja para numerosas empresas, ya que se simplifica mucho su mantenimiento y soporte. Todo puede estar administrado por proveedores: aplicaciones, tiempo de ejecución, datos, SSOO, virtualización, etc.
- **Platform-as-a-Service (PaaS):** este tipo de servicios ofrecen un entorno de trabajo sobre el que los desarrolladores puedan crear y personalizar sus aplicaciones. Gracias a PaaS, el desarrollo, las pruebas y la implementación se convierten en procesos mucho más rápidos, simples y rentables. De esta manera, se consigue que toda la administración de sistemas operativos, servidores y almacenamiento, sea realizado por un proveedor externo. Mientras que los usuarios finales (los desarrolladores), sólo se tengan que preocupar de sus aplicaciones.
- **Infrastructure-as-a-Service (IaaS):** este tipo de servicios son modelos de autoservicio para acceder, monitorizar y administrar infraestructuras de centros remotos. En lugar

de tener que comprar el hardware directamente, los usuarios pueden contratar un IaaS en función de su consumo, al igual que se hace con la electricidad o el agua. En comparación con SaaS y PaaS, los usuarios de IaaS son los responsables de administrar sus aplicaciones, datos, middleware, sistemas operativos... Por lo tanto, lo que se obtiene es la infraestructura sobre la cual instalar cualquier plataforma que se desee.

2.2.2 Tipos de *cloud* en *cloud computing*

Al igual que se pueden clasificar los servicios que se despliegan en la computación en la nube, también se pueden clasificar los distintos tipos de *cloud*. Dependiendo del carácter de los datos con los que se trabajen, los usuarios deberán decidir usar *cloud* pública, privada o híbrida. De esta manera, se tienen distintos niveles de seguridad y de gestión. En consecuencia, se tienen tres tipos de *cloud* ^[9]:

- Cloud pública: es la forma más común de implementar la computación en la nube. Los recursos de la nube son y están administrados por un proveedor de servicios *cloud*. En este tipo de *cloud*, todos los usuarios comparten el mismo hardware, almacenamiento y dispositivos de red.
- Cloud privada: consiste en un tipo de infraestructura *cloud* en la cual todos los recursos informáticos son exclusivamente utilizados por sólo una empresa u organización, es decir, tanto los servicios y la infraestructura siempre se mantienen en una red privada y tanto hardware como software se dedican solamente a una organización. De esta manera, una nube privada puede facilitar que una empresa personalice sus recursos para cumplir con unos requisitos específicos. Este tipo de *cloud* a menudo es utilizado por agencias gubernamentales, instituciones financieras o cualquier otra organización de tamaño mediano o grande con operaciones críticas para el negocio que buscan un mayor control sobre su entorno. La nube privada puede estar físicamente ubicada tanto en la propia organización como en otro lugar.
- Cloud híbrida: las nubes híbridas combinan infraestructura local o nubes privadas con nubes públicas para que el usuario puede aprovechar las ventajas de las dos tipologías. En este tipo de *cloud*, los datos y las aplicaciones pueden moverse entre nubes públicas y privadas con el fin de conseguir una mayor flexibilidad y más opciones de implementación. Normalmente, las empresas utilizan la nube pública para necesidades de alto volumen y menor seguridad, y la nube privada para operaciones sensibles y críticas para el negocio.

Por todos estos motivos, el *cloud computing* se ha convertido en una de las innovaciones tecnológicas más importantes de los últimos años. Se ha convertido en una herramienta imprescindible tanto para particulares como empresas, que lo utilizan constantemente en muchas de las actividades que realizan diariamente.

Sin embargo, ante nosotros se presenta un escenario totalmente nuevo. En los siguientes años y de manera progresiva, la nueva tecnología 5G irá creciendo y el entorno actual de la computación en la nube cambiará por completo.

2.3 Tecnología 5G

El 5G es la quinta generación de la tecnología de redes móviles que permitirá aumentar el ancho de banda, el número de dispositivos conectados a la red, la disponibilidad, disminuir la latencia... Comúnmente se suele decir que más que la invención de un nuevo acceso radio, el 5G es la integración de técnicas, escenarios y casos de uso.

A lo largo de los últimos años, se han dado varios escenarios que han acelerado la llegada de esta nueva tecnología ^[10]:

- El tráfico de datos está aumentando diariamente y a un ritmo cada vez mayor, sobre todo en la transmisión de vídeo.
- Cada usuario tiene un número cada vez más alto de conexiones a Internet.
- La aparición del *Internet de las cosas* (IoT, *Internet of Things*) requerirá que la red sea capaz de gestionar billones de dispositivos conectados a la red.
- Con este número cada vez mayor de móviles y este incremento del tráfico de datos, tanto las redes como los móviles necesitan aumentar la eficiencia energética.
- La tecnología de comunicación móvil puede habilitar nuevos casos de uso (como por ejemplo, casos de latencia ultra baja o alta confiabilidad) y nuevas aplicaciones para muchos sectores, abriendo nuevas fuente de ingresos también para los operadores.

En lo referido a las ventajas que nos entregará el 5G, es difícil hablar de números específicos de ancho de banda, latencia o conectividad, debido a que dependiendo del escenario y de sus condiciones, estos números pueden variar mucho. Lo que sí se ha realizado es una comparación de algunos requisitos técnicos, entre su valor actual con el 4G y a lo que se va a alcanzar gracias al 5G ^[11]:

- Volumen datos móviles 1000 veces mayor.
- Velocidad de datos de usuario (ancho de banda) de 10 a 100 veces mayor.
- Entre 10 y 100 veces más de dispositivos conectados al mismo tiempo en la misma *cell*.
- Baterías 10 veces más duraderas en dispositivos de baja potencia.
- Latencia de extremo a extremo 5 veces menor.

Gracias a todas estas mejoras, esta tecnología ofrece a los operadores de red el potencial de ofrecer nuevos servicios a un nuevo mercado de usuarios. De hecho la ITU (*International Telecommunication Union*) ha clasificado los nuevos servicios 5G en tres categorías principales ^[12]:

- *Enhanced Mobile Broad Band* (eMBB): servicios de ancho de banda mejorada, es decir, servicios que necesitan velocidades de datos enormemente elevadas, una capacidad del tráfico muy alta para escenarios de puntos críticos.
- *Massive Machine-Type Communications* (mMTC): servicios de comunicaciones de dispositivos masivas, es decir, servicios que requieren un bajo consumo de energía y bajas velocidades de datos para un gran número de dispositivos conectados.

- *Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC)*: servicios de comunicaciones muy seguros y de latencia muy baja, es decir, servicios que no puedan quedarse sin conexión nunca (por una cuestión de seguridad) y sin sufrir ningún retardo.

2.3.1 Nuevo escenario para la computación en la nube

Sin lugar a dudas, todo el entorno de computación en la nube que conocemos hoy en día cambiará por completo cuando el 5G aparezca. Tener la posibilidad de contar con una conexión a Internet del orden de 100 veces más rápida, con mayor disponibilidad y prácticamente sin latencia, proporciona un escenario para los servicios y aplicaciones en la nube sin precedentes.

Como ya se ha comentado anteriormente, todos los servicios que nos ofrece la nube dependen totalmente de la conexión a Internet, por lo que cuando esta conexión esté al nivel que permite el 5G, se va a producir un cambio de paradigma. Con la aparición de esta nueva tecnología, todas las personas que tengan cierta reticencia a usar algún servicio *cloud* debido a que tarda mucho en desplegarlo/descargarlo, cambiarán de opinión. En un futuro no tan lejano, ni empresas ni particulares tendrán la necesidad de disponer de memorias, discos duros o servidores para el almacenamiento de datos o el uso de aplicaciones. Todo se llevará a la nube por todos los motivos que se ya han explicado y por un motivo más que viene de la mano de la nueva tecnología 5G: que los servicios cloud serán muchos más rápidos que cualquier infraestructura local o de oficina.

Por lo tanto, en los próximos años aparecerán nuevos servicios en la nube (o se actualizarán los actuales) que tendrán unos requisitos técnicos muy altos, muy por encima de los requisitos técnicos que tienen los actuales servicios *cloud* (confiabilidad, disponibilidad, ancho de banda muy altos, latencia muy baja, etc.). Con la infraestructura que tienen hoy en día los proveedores de servicios *cloud* (tanto hardware como software), será imposible alcanzar los requerimientos que los nuevos servicios necesitarán. De igual manera, este problema no se solucionará invirtiendo en nueva infraestructura, debido a que la cantidad de usuarios que se espera se conecten a la nube (cada uno solicitando servicios con requisitos técnicos muy exigentes) va a ser muy alta y se hará inviable desde un punto de vista de rentabilidad para el proveedor de servicios *cloud*.

Por este motivo, últimamente ha cobrado importancia la idea de la federación de proveedores de servicios en la nube, a través de la cual se puede lograr a alcanzar una computación federada en la nube (*Federated Cloud Computing*).

2.4 Federated Cloud Computing

Una federación en la nube (*Cloud federation*) consiste en la interconexión de los entornos informáticos en la nube de dos o más proveedores de servicios *cloud* con el fin de equilibrar el tráfico de carga y satisfacer los picos de demanda, es decir, es un conjunto de proveedores de la nube que trabajan juntos en una federación. La federación en la nube requiere que un proveedor alquile o venda al por mayor recursos informáticos a otro proveedor de servicios *cloud*. Dicha infraestructura se convierte en una extensión temporal o permanente del

entorno de computación en la nube del comprador, dependiendo del acuerdo de federación que exista entre estos proveedores.

En la figura 2-2 se puede observar un caso típico de computación federada en la nube:

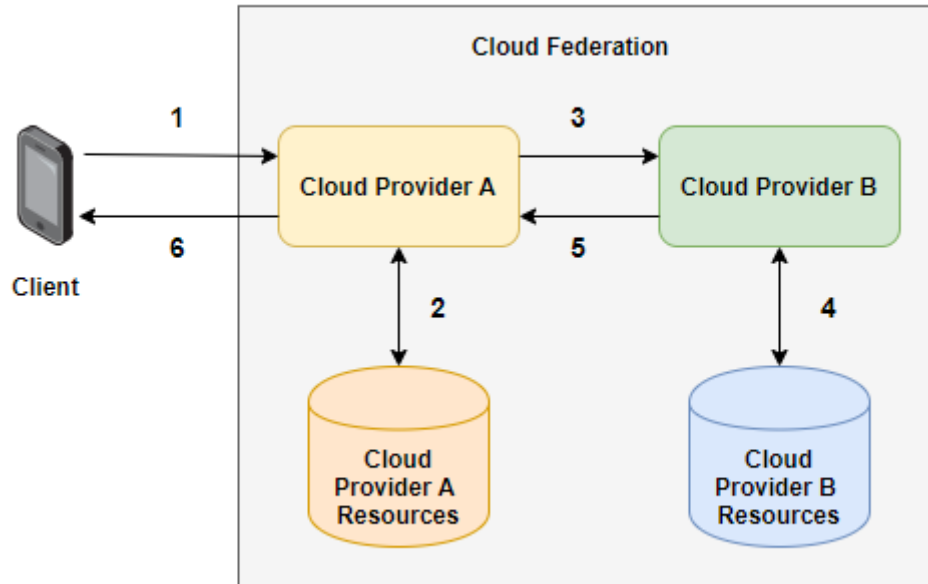


Figura 2-2: Caso típico de computación federada en la nube

1. El proveedor de servicios *cloud* A recibe una petición de que un cliente desea recibir un servicio.
2. El proveedor A observa los requisitos que necesita ese servicio para ser desplegado y comprueba si él tiene disponible esos recursos.
3. Al tener todos sus recursos ocupados, decide federar este servicio al proveedor de servicios *cloud* B, con el que trabaja juntos en una federación en la nube.
4. El proveedor B recibe el servicio, comprueba que sí tiene disponible esa infraestructura, y despliega el servicio en sus recursos.
5. El proveedor B entrega el servicio al proveedor A.
6. El proveedor A entrega el servicio al cliente.

Nótese que en ningún momento el cliente sabe que su servicio no ha sido desplegado en la infraestructura del proveedor al que se lo había pedido. Para él, es indiferente si el servicio se despliega en un proveedor o en otro, debido que al cliente lo que realmente le importa es que se le entregue el servicio que había solicitado.

Principalmente, la federación en la nube ofrece dos ventajas sustanciales que le convierten en una opción muy a tener en cuenta por parte de los proveedores de servicios *cloud*:

- Permite obtener ingresos adicionales por los recursos informáticos que se alquilan, que de otro modo estarían sin utilizarse.
- Permite a los proveedores de la nube expandir su negocio y acomodar picos repentinos en la demanda, sin tener la necesidad de desechar algún servicio que no puedan realizar por falta de recursos.

2.4.1 Slice-as-a-Service

Por lo tanto, todo este sistema de la federación estará compuesto por proveedores que tendrán sus redes segmentadas, con el fin de poder prestar estos segmentos de red (*network slices*) a otros proveedores. Este es lo que se conoce como *Network Slicing* o segmentación de la red, mientras que el servicio de prestar segmentos de la red se denomina *Slice-as-a-Service* (SlaaS).

El concepto de *Network Slicing* está cogiendo cada vez más importancia en el entorno de los operadores de redes móviles, y se espera que sea una pieza clave en el asentamiento de la tecnología 5G. La segmentación de la red permitirá a los operados móviles manejar y operar múltiples redes virtuales sobre una infraestructura de red física común, es decir, permitirá ofrecer redes virtuales a través de la misma red móvil física utilizada por las demás personas, mejorando su rendimiento en términos de capacidad, ancho de banda, latencia y disponibilidad.

En consecuencia, y tomando esta idea en nuestra federación, ésta estará compuesta por un conjunto de múltiples proveedores de servicios *cloud*, los cuales podrán ofrecerse entre ellos segmentos de sus redes virtuales dedicadas. Dichos segmentos de red poseen unos recursos estimados determinados que permiten una funcionalidad o servicio específico. Este servicio es el que se conoce como SlaaS.

2.4.2 Federated Cloud Computing con 5G

Después de explicar en qué consiste la computación federada en la nube y retomando el tema de la importancia que tendrá con la nueva tecnología 5G, se hace fácil imaginar el por qué. Los proveedores de servicios *cloud* no podrán desplegar por sí mismos (con sus recursos) todos los servicios que reciben, ya que el disponer de toda esa infraestructura es algo, económicamente hablando, insostenible. En lugar de eso, los proveedores de servicios *cloud* se unirán y formarán una federación, con el fin de que todas las demandas de servicios que reciba la federación puedan ser entregados.

Pensando un poco más en un futuro no tan lejano, se espera que cada proveedor se especialice en desplegar servicios que cumplan necesidades comunes. Tal y como se ha visto antes, hay servicios que demandan un ancho de banda muy alto (eMBB), servicios que serán solicitados por muchos dispositivos a la vez (mMTC) y servicios que demandan una latencia muy baja y una disponibilidad muy alta (URLLC). Por lo tanto, se espera que cada proveedor de la federación obtenga recursos que estén especializados en uno de estos servicios con el fin de que no todos los servicios pueden ser desplegados en todos los proveedores, pero sí en toda la federación. En consecuencia, aunque un cliente solicite un servicio eMBB a un proveedor que está especializado en servicios URLLC, pueda ser entregado correctamente.

2.5 Conclusiones

Como se ha observado con todo lo explicado en este capítulo, el escenario de la computación en la nube cambiará drásticamente con la aparición de la nueva tecnología 5G. Los requisitos

que tendrán que satisfacer los servicios en la nube serán tan exigentes que sólo se alcanzarán si los proveedores de servicios *cloud* trabajan juntos, como una federación, proporcionándose entre sí segmentos de sus redes como servicio (SlaaS).

En consecuencia, este Trabajo Fin de Máster proporciona una primera aproximación sobre la economía de una federación de proveedores de servicio *cloud* a través de estudios tanto analíticos como experimentales, con el fin de obtener cierta orientación sobre la rentabilidad y la sostenibilidad de este tipo de sistemas.

3 Diseño

3.1 Introducción

En esta sección se explica cómo ha sido el diseño de los dos estudios que se han desarrollado en este Trabajo Fin de Máster. En primer lugar, se explica la arquitectura *cloud* de la federación que se tomará como referencia para realizar los análisis, y el proceso que se realiza desde que un proveedor recibe la solicitud de un servicio y su posterior despliegue. En segundo lugar se explica la metodología adoptada en estos estudios, como la caracterización de ingresos, costes, servicios, etc.

3.2 Arquitectura de la federación de proveedores cloud

Tanto el estudio analítico como el estudio experimental están basados en una arquitectura *cloud* como la que se observa en la siguiente figura.

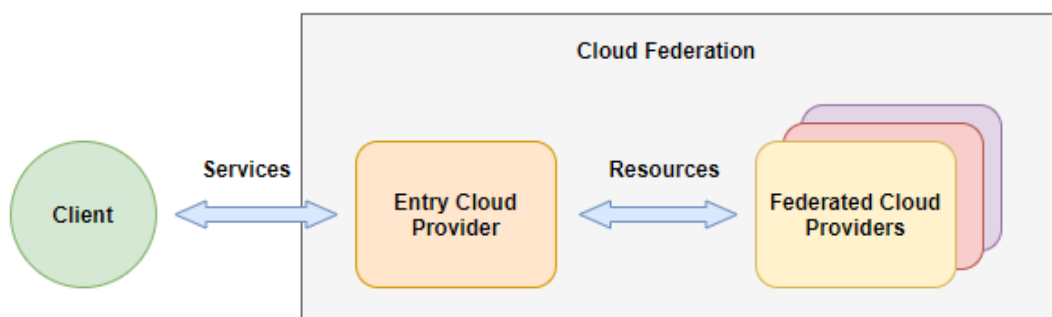


Figura 3-1: Arquitectura de la federación de proveedores cloud

En este diagrama se diferencian varios actores principales:

- Cliente: solicita un servicio a un proveedor de servicios *cloud*. Dicho cliente puede ser, desde una persona particular, hasta una empresa que entregue servicios a sus clientes y quiere desplegarlos en la nube.
- Proveedor *cloud* de la entrada: este es el proveedor de la federación que recibe el servicio desde el exterior.
- Federación de proveedores *cloud*: compuesta por los demás proveedores de servicios *cloud*, los cuales pueden recibir el servicio si el proveedor de la entrada desea federarlo.

El proceso que se sigue en los estudios desarrollados es siempre el mismo: un cliente solicita un servicio a un proveedor de servicios *cloud*, el cual está dentro de una federación de proveedores. Por lo tanto, este cliente lo que solicita son unos recursos específicos para desplegar algo, por lo que realmente solicita es una *slice*, un segmento de red. Este proveedor de la entrada observa los requisitos que tiene que satisfacer para poder desplegar este servicio en su infraestructura (en términos de recursos, cuántas CPUs va a necesitar para poder

realizarlo) y al observar su propia infraestructura existen dos opciones. Por un lado, que sí tenga disponibilidad y pueda desplegar el servicio. De esta manera, el proveedor *cloud* recibiría el servicio, lo despliega y se lo entrega al cliente. Por otro lado, si no tiene esa disponibilidad, debe ceder el servicio a la federación. En esta situación, el proveedor de la entrada recibiría el servicio, se lo entregaría a la federación, se desplegaría en algún proveedor *cloud* de la federación, éste se lo entregaría al proveedor de la entrada y por último, se entregaría al cliente. Por lo tanto, la federación permite un intercambio de recursos entre diferentes proveedores para la provisión dinámica de servicios.

Los dos escenarios son totalmente indiferentes para el cliente. De hecho, él no sabrá qué situación es la que ha sucedido, no será algo importante. Solicitó un servicio a un proveedor de servicios *cloud* y se lo entregaron, y no tiene transcendencia que su servicio se desplegara en la infraestructura del proveedor al que se lo solicitó o en otra.

3.3 Metodología adoptada

Con el fin de analizar este tipo de arquitecturas, se estudian siguiendo dos aproximaciones. Por un lado, se realiza un estudio analítico de algunas variables para limitar en qué medida la federación puede generar beneficios para los proveedores que la componen. Por otro lado, se desarrolla una herramienta de simulación en MATLAB que permite entender el comportamiento de estos sistemas con diferentes tasas de llegadas de servicios.

En ambos casos el enfoque seguido ha sido un análisis basado en el coste del segmento de red como servicio (SlaaS) dentro de un entorno federado. La figura 4 ilustra el concepto:

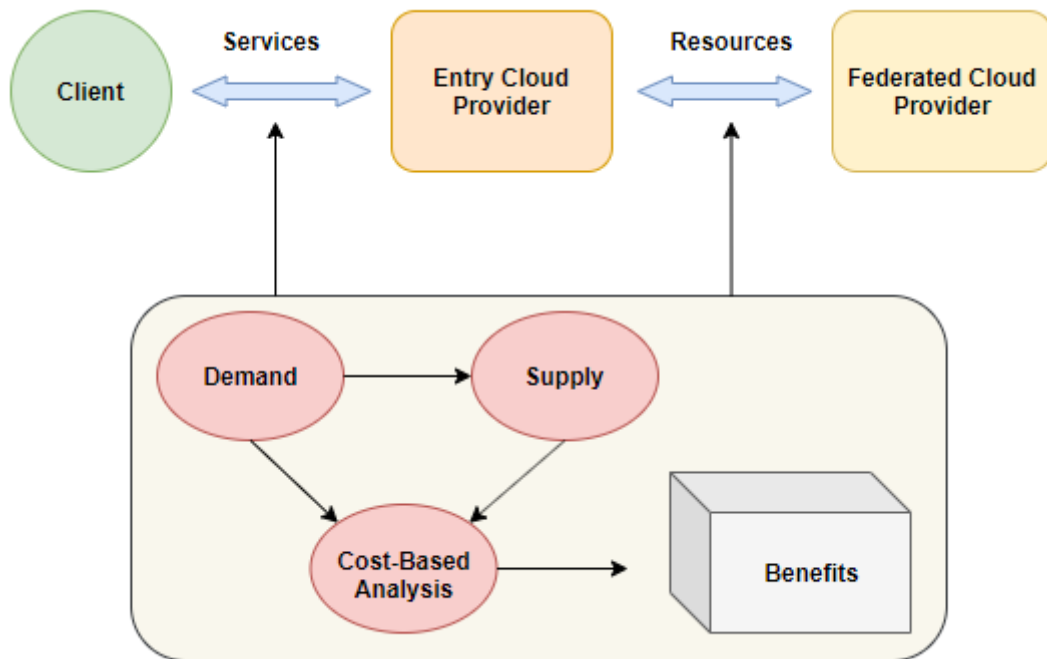


Figura 3-2: Cost-Based Model

Todos estos estudios, tanto el analítico como el experimental, están basados en la siguiente ecuación:

$$\text{Beneficios} = \text{Ingresos} - \text{Costes}$$

(1)

En esta ecuación, los ingresos es el dinero que ingresará la federación por desplegar los servicios solicitados por los clientes, los costes es el dinero que la federación desembolsará por conseguir la infraestructura que sea capaz de desplegar todos los servicios y, por último, los beneficios es el dinero que la federación ganará realmente, restando los costes a los ingresos.

3.3.1 Caracterización de ingresos y costes

Para completar este análisis, se han tomado algunas referencias tanto para los ingresos (en el precio que ganaría la federación) y en los costes (como costes de infraestructura):

- Ingresos: se asume que el precio que cobrará la federación a los clientes será similar al de los proveedores *cloud* existentes en el mercado actualmente. Se realizó una búsqueda entre los principales proveedores más importantes de la actualidad con el fin de encontrar alguna cuota que fuese flexible tanto en el volumen de recursos utilizados como en la cantidad de tiempo que el cliente quiera utilizarlos. Por estos motivos, se tomó un precio similar al de ^[13] para modelar los ingresos.
- Costes: otro asunto importante es cómo modelar el coste de la infraestructura. Generalmente en estos análisis se han considerado el uso de servidores con 24 cores cada uno, centrándose mayoritariamente en el impacto del uso del CPU. Esto es debido a que otros parámetros, como la memoria RAM, parece ser mucho menos relevante en el tema de coste de la infraestructura, como se describe en ^[14]. Realizando una búsqueda entre los principales vendedores hardware, el precio medio de servidores con 24 cores es de 4000€, por lo que ese es el precio escogido. Adicionalmente, se ha considerado que el tiempo de amortización de un servidor sea 5 años (valor sugerido en ^[15]), por lo que será el tiempo total de simulación. De esta manera, el coste total de la infraestructura se asume por simplificación, que será el coste total de los servidores.

3.3.2 Caracterización de servicios

En el estudio experimental se generará una demanda total de servicios que será recibida por el proveedor de servicios de la entrada. Dicha demanda será un conjunto de servicios que tendrá distintas características en términos de duración, número de recursos necesarias, tiempo de llegada, etc. Por lo tanto, para llevar a cabo una correcta caracterización del comportamiento de esta federación de proveedores dependiendo del tipo de servicio, los servicios recibidos por el proveedor de la entrada se dividen en diferentes tipos según los recursos que necesiten para ser desplegados. De esta manera, se espera caracterizar el comportamiento de este sistema en función a los tipos de servicios admitidos. Tal y como se puede observar en ^[16], esta manera de segmentar la demanda en entornos *cloud* es algo muy habitual.

Siguiendo con esta línea se crean distintos grupos de servicios con distintas características. Estos servicios tendrán dos características que son las que varían en función al grupo: CPUs necesitadas (número de CPUs que necesita el servicio para ser desplegado) y duración (el tiempo en días que tarda el servicio). Por lo tanto, los servicios se separan en seis tipos de servicios, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla:

| Servicios | Uso de CPUs (# CPUs) | Duración (días) |
|------------|-------------------------|-----------------|
| Servicio 1 | 2 | 15 |
| Servicio 2 | 4 | 15 |
| Servicio 3 | 8 | 15 |
| Servicio 4 | 2 | 120 |
| Servicio 5 | 4 | 120 |
| Servicio 6 | 8 | 120 |

Tabla 1: Caracterización de los servicios

3.3.3 CPUs de gestión

Además, se impone que cada servicio requiere que se le asignen algunas CPUs por asuntos de control y administración del servicio. Esta suposición se ha implementado agregando dos CPUs al número de núcleos que el servicio necesita para ser realizado, y afecta a todos los servicios por igual, independientemente de sus características. Por lo tanto, estos núcleos adicionales no generarán ingresos para la federación pero sí aumentarán el consumo de recursos, por lo que sí aumentarán los costes.

Con el fin de entender la funcionalidad de estas CPUs se propone el siguiente ejemplo. En la figura 3-3, se muestra la distribución en el uso de CPUs en la federación durante cinco años. Cabe mencionar que en esta simulación se cuenta con el número mínimo de servidores que se deben de tener para no denegar ningún servicio por falta de recursos. En este ejemplo se pueden observar los tres tipos de CPUs: CPUs de servicios, las cuales son los recursos que necesita cada servicio para ser desplegado y por las cuales sí se obtienen ingresos directamente; CPUs de gestión, las cuales son los núcleos reservados por tema de gestión y control (dos adicionales por cada servicio) y CPUs libres, las cuales son las que no se están utilizando. Cabe destacar que estos dos últimos tipos de CPUs no generan ningún ingreso, pero, sin embargo, deben emplearse para que no se deniegue ningún servicio. Cada barra representa las cantidades acumuladas de CPUs en un intervalo de dos meses, por lo que la suma de los tres tipos de uso de CPU da como resultado el número total de núcleos disponibles que los servidores ponen a disposición diariamente. Como resultado, la figura ilustra el porcentaje de cada tipo de CPU.

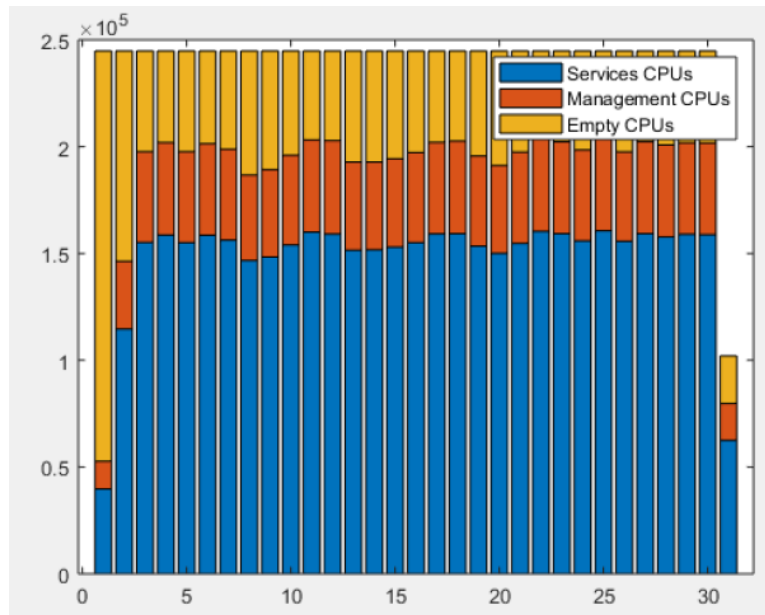


Figura 3-3: Distribución de uso de CPUs

3.4 Conclusiones

En esta sección se ha explicado el diseño que se realizó antes de desarrollar los dos estudios que se explican en la siguiente sección. De esta manera, se ha afianzado la arquitectura *cloud* que se va a utilizar, y se ha propuesto la metodología que se va a adoptar en el desarrollo de estos análisis.

4 Desarrollo

4.1 Introducción

En esta sección se explica el desarrollo tanto del estudio analítico como el estudio experimental. En primer lugar se expone la parte analítica, en la que al comienzo se entrega una explicación de las principales variables que se usarán en el desarrollo de las ecuaciones. A continuación se proyecta el análisis desde tres puntos de vista diferentes, con el fin estudiar la sostenibilidad desde todas las partes interesadas. Por último, se explica el desarrollo de la parte experimental, en la cual se expondrán los resultados en el siguiente capítulo.

4.2 Estudio analítico

Este estudio tiene como objetivo establecer una relación entre las principales variables involucradas en la provisión de segmentos de red en una federación de proveedores *cloud*. En consecuencia, se plantea la idea de si es posible fijar algunas de estas variables y determinar el valor de otras para garantizar la sostenibilidad de este conjunto de proveedores.

Las principales variables consideradas en este análisis son las siguientes:

- *SPCE* (Servicios en el Proveedor Cloud de la Entrada): número de peticiones de servicios (demandas de segmentos de red) recibidos y desplegados en la infraestructura del propio proveedor de la entrada.
- *SF* (Servicios Federados): número de peticiones de servicios recibidos en el proveedor de la entrada pero desplegado en un proveedor distinto (perteneciente a la federación) debido a la falta de disponibilidad en los recursos del proveedor de la entrada en el momento en el que recibe la petición.
- *ST* (Servicios Totales): número total de peticiones de servicios recibidos en el proveedor de la entrada ($ST = SPCE + SF$).
- *PPS* (Precio Por Servicio): es el precio que está dispuesto a pagar el cliente por satisfacer su solicitud de servicio. Tal y como se explicó en la sección anterior, en este análisis se han considerado los precios de los proveedores *cloud* actuales (basado en ^[13] y expresados en euros):

$$PPS = (18.24 + 6.48 \cdot \# CPUs) \frac{Duración (días)}{30}$$

(2)

- *CI* (Coste de la Infraestructura): es el precio que cada proveedor *cloud* perteneciente a la federación paga por sus recursos. Por una cuestión de simplicidad, se considera el mismo coste para todos los participantes en la federación.
- *CS* (Coste del Servidor): es el coste de cada servidor individual.

- *NS* (Número de Servidores): es el número de servidores que cada proveedor tiene:

$$CI = CS \cdot NS$$

(3)

- *K*: es el porcentaje sobre el PPS (que paga el cliente) que el proveedor cloud de la entrada gana cuando envía el servicio a otro proveedor de la federación.
- $(1 - K)$: es el porcentaje sobre el PPS que otro proveedor de la federación gana por aceptar y desplegar el servicio recibido por el proveedor de la entrada.
- *NTS* (Número total de Servidores): es el número mínimo de servidores totales en la federación con el fin de no denegar ningún servicio, es decir, de satisfacer todos los servicios que llegan.

Este análisis se ha realizado desde tres puntos de vista diferentes: el del proveedor *cloud* de la entrada, el de un proveedor *cloud* perteneciente a la federación y desde la visión general de toda la federación como conjunto. Este estudio proporciona un alto grado de libertad para comprender el impacto de diferentes parámetros del sistema. Por ejemplo, en este Trabajo Fin de Máster se entrega una ecuación que indica la duración mínima (mínimo número de días) que debe durar un servicio para que las partes interesadas no tengan un beneficio negativo, es decir, para que no pierdan dinero. Esta ecuación depende del número total de servicios que se llevan a cabo, el número de servidores que tiene el proveedor correspondiente, el coste por servidor, el número de CPUs que necesita ese servicio para ser desplegado y en función del parámetro *K*, que es el porcentaje de PPS que gana el proveedor de la entrada si federa el servicio.

4.2.1 Proveedor Cloud de la Entrada (PCE)

El beneficio del proveedor *cloud* de la entrada está compuesto por los ingresos al desplegar servicios en su infraestructura y los ingresos que recibe cuando federa un servicio que había recibido a otro proveedor debido a que el de la entrada no tiene disponibilidad para poder desplegarlo por sí mismo.

El ingreso que el proveedor de la entrada gana por federar servicios será siempre un porcentaje sobre el *PPS* que éste ingresa por el hecho de gestionar el servicio y mandárselo a otro proveedor. Y de igual manera, será un porcentaje que el proveedor que reciba finalmente el servicio perderá debido a que no fue él quien recibió este servicio. Por lo tanto, al que nunca afectará el hecho de federar servicios será al cliente, que incluso puede no ser necesariamente consciente de la federación ni de dónde realmente se despliega su servicio.

El beneficio del proveedor *cloud* de la entrada se define como:

$$\begin{aligned} \text{beneficio}_{PCE} &= \text{ingresos}_{PCE} - \text{costes}_{PCE} \rightarrow \\ \rightarrow \text{beneficio}_{PCE} &= SP_{PCE} \cdot PPS + K \cdot SF \cdot PPS - CI_{PCE} \end{aligned}$$

(4)

Para que este sistema sea sostenible económicamente hablando, es obligatorio que el beneficio sea siempre positivo:

$$beneficio_{PCE} > 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow SPCE \cdot PPS + K \cdot SF \cdot PPS - CI_{PCE} > 0 \rightarrow SPCE \cdot PPS + K \cdot SF \cdot PPS > CI_{PCE} \rightarrow$$

$$\rightarrow PPS (SPCE + K \cdot SF) > CS \cdot NS_{PCE} \rightarrow PPS > \frac{CS \cdot NS_{PCE}}{SPCE + K \cdot SF} \rightarrow$$

$$\rightarrow (18.24 + 6.48 \cdot \# CPUs) \frac{Duración (días)}{30} > \frac{CS \cdot NS_{PCE}}{SPCE + K \cdot SF} \rightarrow$$

$$\rightarrow Duración (días) > \frac{CS \cdot NS_{PCE} \cdot 30}{(SPCE + K \cdot SF) \cdot (18.24 + 6.48 \cdot \# CPUs)}$$

(5)

4.2.2 Proveedor Cloud Federado (PCF)

Los proveedores *cloud* de la federación o federados recibirán solicitudes de segmentos de red (servicios) cuando el PCE no tenga suficientes recursos para satisfacer por sí mismo el servicio. El PCF no ganará todo el pago que el cliente desembolsará por el servicio solicitado, sino que el PCE retendrá cierta cantidad de dinero por el hecho de mediar entre la solicitud del servicio y su despliegue. Nótese que en un caso extremo en el que el PCE no tiene infraestructura, éste se comportará como un orquestador, el cual sólo conseguirá beneficios gestionando solicitudes de servicios y sus despliegues.

El beneficio de un proveedor *cloud* de la federación se define como:

$$beneficio_{PCF} = ingresos_{PCF} - costes_{PCF} \rightarrow$$

$$\rightarrow beneficio_{PCF} = (1 - K) \cdot SF \cdot PPS - CI_{PCF}$$

(6)

Para que este sistema sea sostenible económicamente hablando, es obligatorio que el beneficio sea siempre positivo:

$$beneficio_{PCF} > 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow (1 - K) \cdot SF \cdot PPS - CI_{PCF} > 0 \rightarrow (1 - K) \cdot SF \cdot PPS > CI_{PCF} \rightarrow$$

$$\rightarrow (1 - K) \cdot SF \cdot PPS > CS \cdot NS_{PCF} \rightarrow PPS > \frac{CS \cdot NS_{PCF}}{(1 - K) \cdot SF} \rightarrow$$

$$\rightarrow (18.24 + 6.48 \cdot \# CPUs) \frac{Duración (días)}{30} > \frac{CS \cdot NS_{PCF}}{(1 - K) \cdot SF} \rightarrow$$

$$\rightarrow Duración (días) > \frac{CS \cdot NS_{PCF} \cdot 30}{(1 - K) \cdot SF \cdot (18.24 + 6.48 \cdot \# CPUs)}$$

(7)

Las ecuaciones (6) y (7) son equivalentes para todos los proveedores de la federación. En estas fórmulas se describe en términos generales como si hubiera sólo un PCF en la federación, pero los resultados son equivalentes si se considera más de uno (en esa situación, si todos los PCF comparten los mismos parámetros, el resultado para cada PCF es el mismo dividido por el número de proveedores que tengamos).

4.2.3 Federación de proveedores cloud (FED)

Una vez calculado el beneficio tanto del PCE y del PCF, es fácil calcular el beneficio global de todo el sistema, de toda la federación, sumando los dos beneficios.

El beneficio total de toda la federación viene dado por:

$$\begin{aligned}
 & beneficio_{FED} = beneficio_{PCE} + beneficio_{PCF} \rightarrow \\
 \rightarrow & beneficio_{FED} = SPCE \cdot PPS + K \cdot SF \cdot PPS - CI_{PCE} + (1 - K) \cdot SF \cdot PPS - CI_{PCF} \rightarrow \\
 \rightarrow & benef_{FED} = PPS \cdot (SPCE + SF) + K \cdot SF \cdot PPS - K \cdot SF \cdot PPS - CI_{PCE} - CI_{PCF} \rightarrow \\
 \rightarrow & beneficio_{FED} = PPS \cdot (SPCE + SF) - (CI_{PCE} + CI_{PCF}) \rightarrow \\
 \rightarrow & beneficio_{FED} = PPS \cdot ST - CI_{FED}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Para que este sistema sea sostenible económicamente hablando, es obligatorio que el beneficio sea siempre positivo:

$$\begin{aligned}
 & beneficio_{FED} > 0 \rightarrow \\
 \rightarrow & PPS \cdot ST - CI_{FED} > 0 \rightarrow PPS \cdot ST > CI_{FED} \rightarrow \\
 \rightarrow & PPS \cdot ST > CS \cdot NS_{FED} \rightarrow PPS > \frac{CS \cdot NS_{FED}}{ST} \rightarrow \\
 \rightarrow & (18.24 + 6.48 \cdot \# CPUs) \frac{Duración (días)}{30} > \frac{CS \cdot NS_{FED}}{ST} \rightarrow \\
 \rightarrow & Duración (días) > \frac{CS \cdot NS_{FED} \cdot 30}{ST \cdot (18.24 + 6.48 \cdot \# CPUs)}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

4.3 Estudio experimental

El análisis experimental se ha llevado a cabo utilizando una herramienta desarrollada en MATLAB. Como ya se ha explicado anteriormente en esta memoria, el período total de simulación se fija en 5 años, para que de esa manera coincida con el período de depreciación habitualmente utilizado en estos análisis de los servidores.

Igual que en el estudio analítico, se han llevado a cabo simulaciones considerando el punto de vista de las diferentes partes interesadas en el sistema, como el proveedor *cloud* de la entrada, proveedor *cloud* de la federación, así como la visión general de toda la federación.

De esta manera, se espera analizar la sostenibilidad del sistema desde todos los puntos de vista. Todas las simulaciones se han realizado con $K = 0.1$, lo que significa que el proveedor de la entrada retiene un 10% de los ingresos debido a la solicitud de segmento de red (servicio) que transmite a los otros proveedores de la federación.

Igualmente, en estas simulaciones se han utilizado distintos tipos de servicios. Concretamente, se han utilizado los tipos de servicios correspondientes a la Tabla 1. Para marcar la tasa de llegada de estas solicitudes, se ha utilizado una distribución de Poisson. Cada solicitud de servicio o segmento de red es estático en el sentido de los recursos solicitados a la llegada, es decir, no varían a lo largo del tiempo.

Finalmente, en caso del que el proveedor *cloud* de la entrada no tenga suficientes recursos para cumplir con la solicitud del servicio al completo, dicha solicitud se pasa completamente a otro proveedor de la federación. Esto es, cuando un servicio se federa, el servicio no se divide y se despliega en diferentes proveedores, sino que se realiza en uno.

4.4 Conclusiones

En esta sección se han expuesto el desarrollo tanto de la parte analítica (el cual se ha visto desde tres puntos de vista diferentes) y de la parte experimental. En el siguiente capítulo podremos ver los resultados de este último estudio.

5 Integración, pruebas y resultados

5.1 Introducción

En esta sección se muestran todas las simulaciones del estudio experimental realizadas con la herramienta desarrollada en MATLAB. Al igual que en el estudio analítico explicado en el capítulo anterior, estas simulaciones se harán desde tres puntos de vista distintos: el proveedor *cloud* de la entrada, los proveedores *cloud* de la federación y desde el punto de vista de toda la federación.

5.2 Proveedor *cloud* de la entrada

Desde la perspectiva del proveedor *cloud* de la entrada, se realizan dos tipos de simulaciones. Por un lado, el primer bloque de simulaciones trata de estudiar como la infraestructura del PCE (Proveedor Cloud de la Entrada) se ocupa en función a la demanda recibida de diferentes cargas de trabajo. Con este propósito e igualmente con el fin de entender el comportamiento de cada una de las clases de servicio, se utiliza el mismo número de demandas de servicio para cada servicio. En consecuencia, lo que varía en esta simulación es el número de servidores disponibles que tiene el PCE en su propia infraestructura, los cuales suponen ingresos directos para la entidad (más servidores supondrán más servicios que podrán desplegar, consecuentemente menos servicios que tendrán que federar, pero aumentarán los costes).

En primer lugar, se realizó un análisis de la sensibilidad del sistema con respecto al número de demandas de servicio (o de segmento de red) recibidas por el PCE, con el objetivo de comprender cuál es su comportamiento y cuáles son sus dependencias en relación a los problemas de escalabilidad. Los resultados se muestran en la figura 5-1.

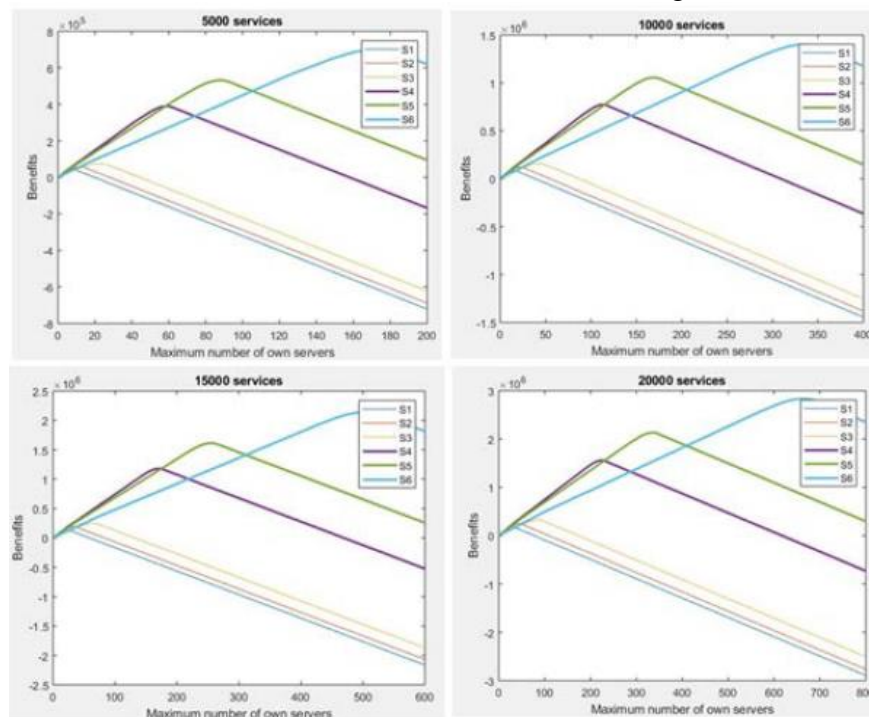


Figura 5-1: Transcendencia en el número de servicios recibidos

Como se puede observar en esta imagen, cuanto mayor sea el número de solicitudes de servicio, mayor será el número de servidores necesarios en el PCE para conseguir alcanzar el máximo beneficio. Sin embargo, lo que se observa es que la tendencia es similar (prácticamente idéntica) independientemente del número de servicios que se reciban. En todas las gráficas se observa que el beneficio aumenta hasta el punto en el que el número de servidores en el PCE es tan grande que empiezan a no utilizarse todos, por lo que aumentan los costes de infraestructura pero no los beneficios. De igual manera, también se observa que el número de servidores necesarios para obtener el máximo beneficio es ligeramente menor que el número de servidores necesarios para no pasar ningún servicio a otro proveedor de la federación. En ese punto, los beneficios se reducen porque ya se comienza a tener servidores que se utilizan. Debido a que el comportamiento de los beneficios y la relación entre los distintos tipos de servicio es siempre la misma, en las siguientes simulaciones se considera siempre una demanda de 5000 servicios. Una demanda de 5000 servicios en un periodo de 5 años equivale a una media de 2.7 demandas de servicio recibidas al día.

Utilizando la caracterización de los servicios mostrada en la Tabla 1, el siguiente paso es estudiar mediante los gráficos de la figura 5-2 cuál es el servicio más rentable para el proveedor *cloud* de la entrada bajo las mismas circunstancias, bajo el mismo número de demandas de servicio. Al principio, con un número bajo de servidores, éstos estarán siempre ocupados y parte de la demanda de servicios recibida que no se pueda completar se traslada a otros proveedores de la federación. A medida que la cantidad de servidores aumente, el número de servicios federados disminuirá. De igual manera, hay que tener en cuenta que en esta simulación todos los servicios son realizados, es decir, no se deniega ningún servicio. Debido a esto, se supone que los otros proveedores de la federación tienen la disponibilidad suficiente como para aceptar toda la demanda que no pueda aceptar el proveedor de la entrada. La figura 5-2 representa cómo se comporta el PCE con cada tipo de servicio y con un número de servidores mínimo.

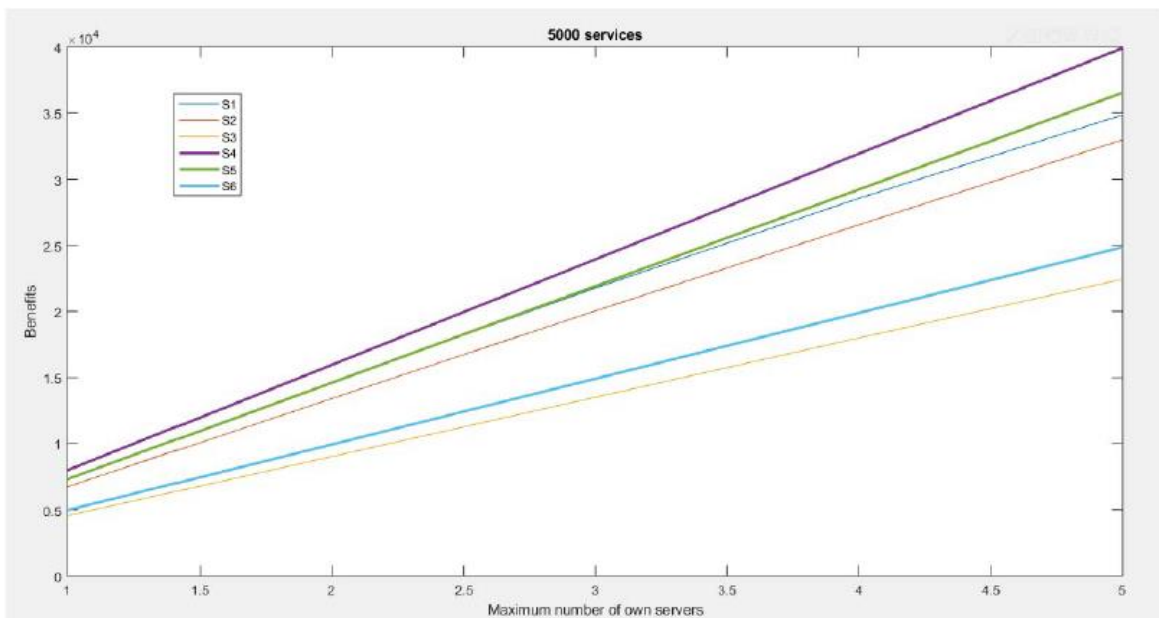


Figura 5-2: Rentabilidad de los tipos de servicios con pocos recursos

Se puede extraer algunas conclusiones de este gráfico. En primer lugar, se observa que el servicio número 4 es el más rentable para el PCE. Esto significa que los servicios con un menor uso de CPUs y con larga duración son los más rentables. En segundo lugar, los peores

servicios son los servicios número 3 y 6, que son los que más CPUs necesitan. Esta deducción parece ser un poco contradictoria, debido a que en la Figura 6, el servicio número 6 parece ser el tipo de servicio con el que el PCE consigue un beneficio mayor. Esta contradicción se debe a que bajo un número igual de servidores, los segmentos de red (servicios) que requieren muchas CPUs implican la necesidad de usar muchos servidores por servicio. En consecuencia, se pueden obtener las siguientes dos conclusiones:

- Fijando el número de servicios a desplegar, el mayor beneficio se consigue con servicios de larga duración y con un gran número de CPUs para ser realizados (segmentos de red largos y pesados computacionalmente), como el servicio 6. Sin embargo, esto implica que hay que hacer un gran desembolso en infraestructura.
- Fijando el número de servidores, el mayor beneficio se obtiene con servicios de larga duración y con un número pequeño de CPUs para ser realizados (segmentos de red largos y ligeros computacionalmente) como los servicios 4 y 5. Sin embargo, esto implica tener que pasar servicios a otros proveedores de la federación

En el segundo bloque de simulaciones se ha calculado previamente el número exacto de servidores (en toda la federación, es decir, sumando los servidores en el PCE y los servidores en los otros proveedores de la federación) necesarios para no denegar ningún servicio para una demanda dada. Basándonos en eso, varía el porcentaje de servidores que tiene el PCE y, como consecuencia de esto, también varía el porcentaje de servidores que tienen los otros proveedores de la federación. En consecuencia, es posible calcular el beneficio del PCE y compararlo con el beneficio de toda la federación que, como en la federación siempre hay el mismo número de servidores y la demanda es la misma, es constante.

En las siguientes cuatro figuras (una para cada número de servicios), se pueden observar seis líneas (una para cada tipo de servicio) que son los beneficios del PCE, al igual que se puede observar una línea roja que es el beneficio total de toda la federación (que, como se ha comentado anteriormente, es constante).

- 5000 servicios

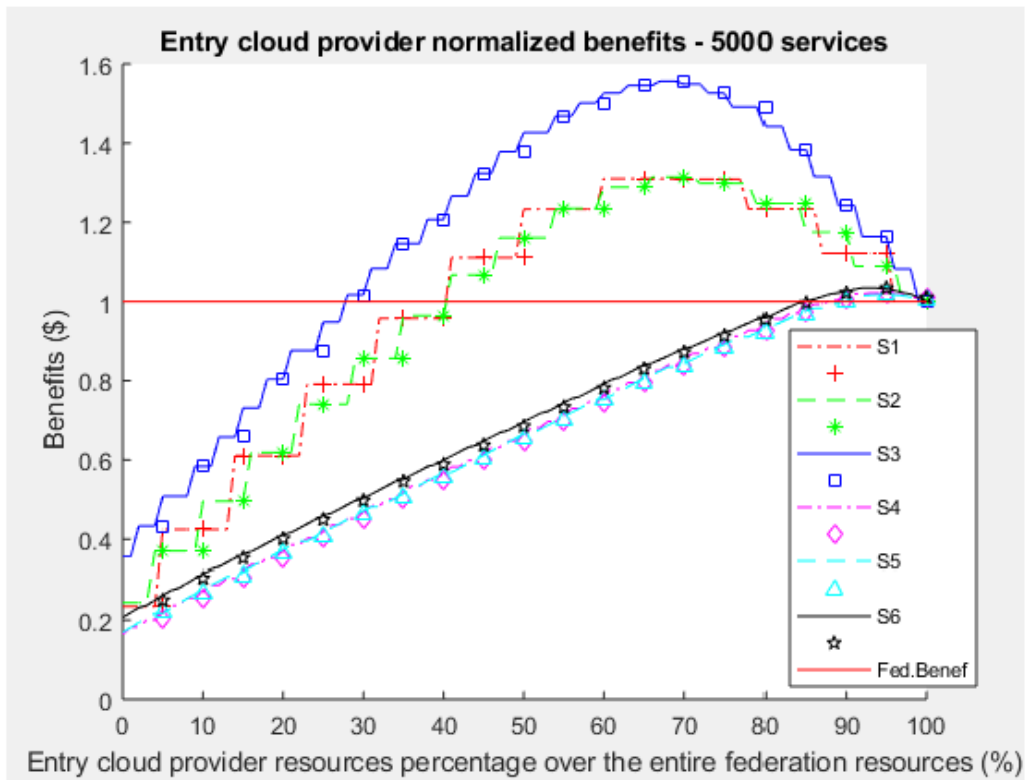


Figura 5-3: Beneficios del PCE en función a sus recursos – 5000 servicios

- 10000 servicios

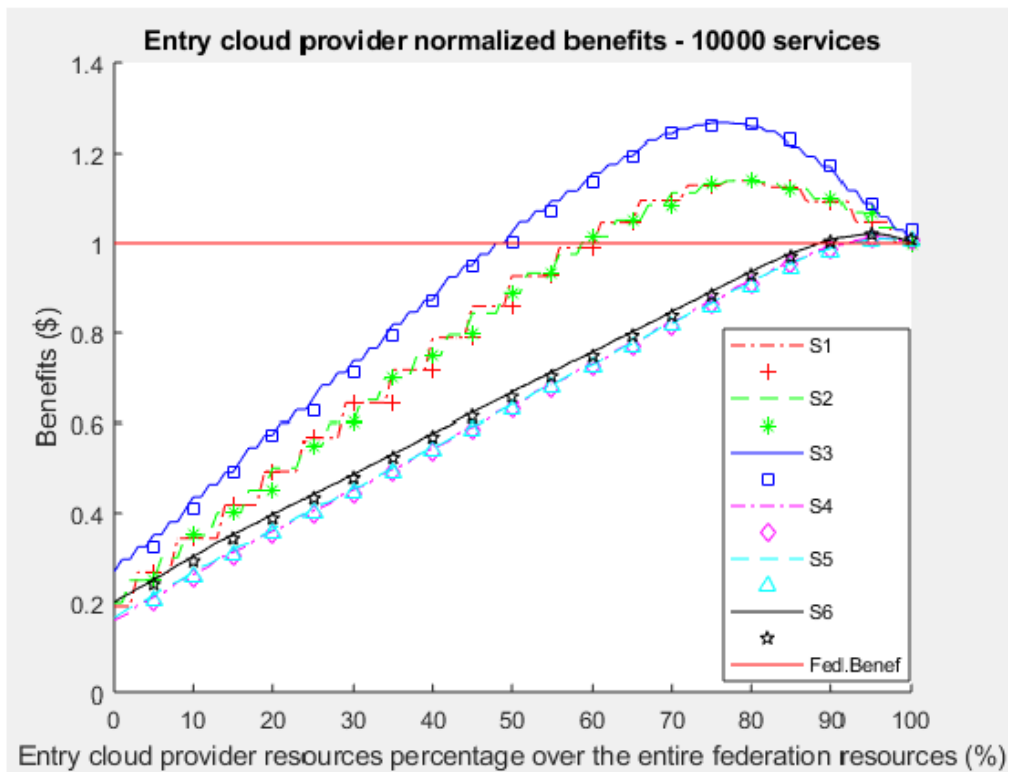


Figura 5-4: Beneficios del PCE en función a sus recursos – 10000 servicios

- 15000 servicios

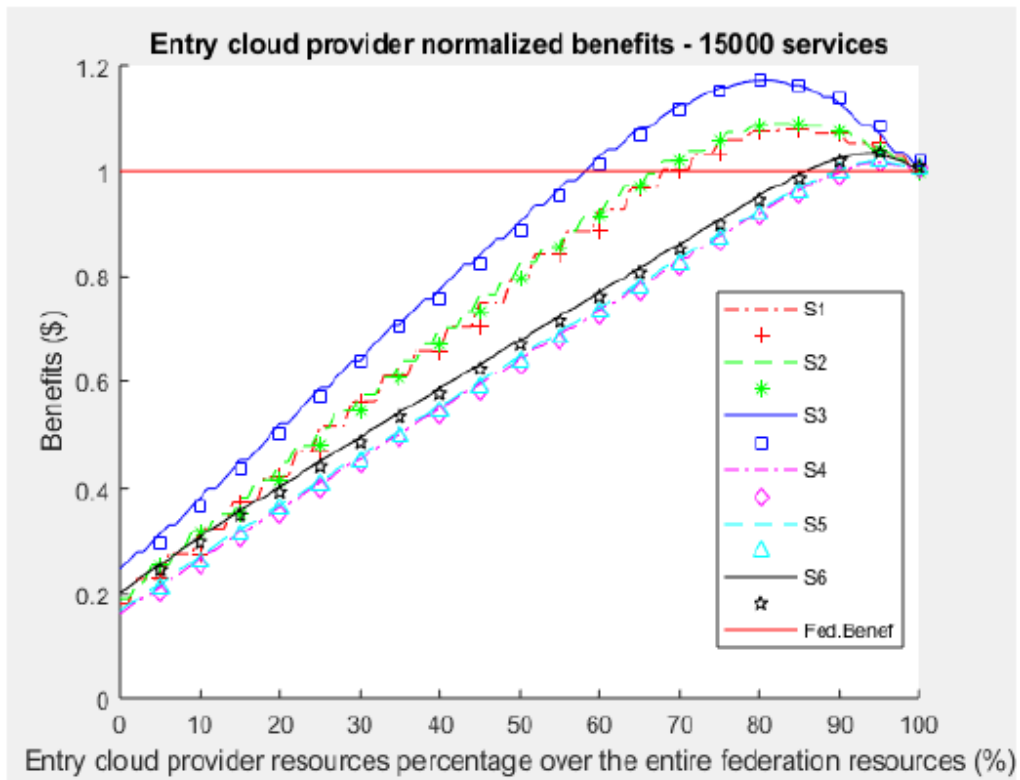


Figura 5-5: Beneficios del PCE en función a sus recursos – 15000 servicios

- 20000 servicios

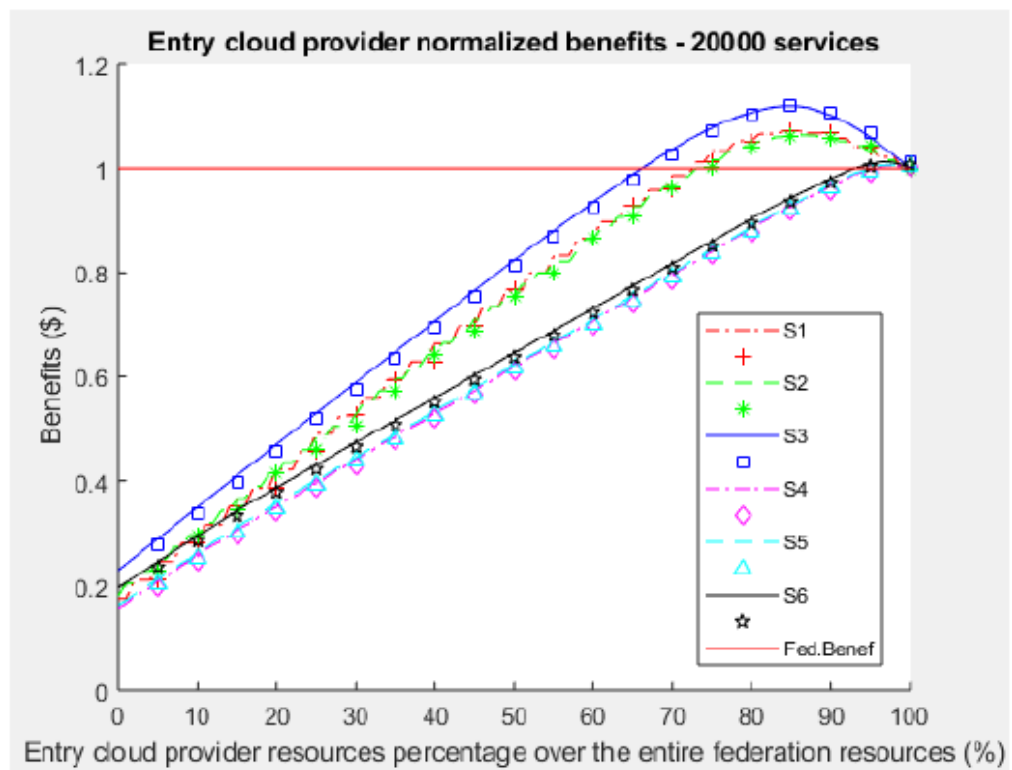


Figura 5-6: Beneficios del PCE en función a sus recursos – 20000 servicios

La conclusión que se puede extraer en estas gráficas es que en algunas ocasiones, el PCE es capaz de generar más beneficio que toda la federación. Esto es debido a que cuando el PCE es capaz de satisfacer la mayoría de los servicios, sólo una pequeña cantidad de servicios se pasa a los otros proveedores de la federación, los cuales tienen que asignar una infraestructura dedicada (con su coste correspondiente) para un pequeño volumen de servicios. Adicionalmente, por aquellos servicios federados a otros proveedores, el PCE también retiene un margen, lo que implica que los ingresos de los proveedores de la federación se reducen más aún.

Por otro lado, parece más beneficioso para el PCE que sólo tome servicios de corta duración, independientemente del número de CPUs necesario para ese servicio. Además, a medida que aumenta el número de solicitudes de servicio recibidas, más cerca está el beneficio máximo del PCE y el beneficio máximo de toda la federación.

5.3 Proveedor cloud de la federación

Como se ha explicado anteriormente, el beneficio de toda la federación viene dado por la ecuación:

$$beneficio_{FED} = beneficio_{PCE} + beneficio_{PCF} \quad (10)$$

Por lo tanto, si algunas veces el beneficio del proveedor de la entrada es mayor que el beneficio de toda la federación es porque el beneficio de los proveedores de la federación es negativo, lo que quiere decir que estos proveedores *cloud* están perdiendo dinero. Para confirmar esta suposición, se realizó una simulación específica, en la cual se puede observar los beneficios de todas las partes interesadas (por simplicidad, sólo se considera un proveedor al que se pueda federar). Se puede observar esta comparación en la figura 5-7.

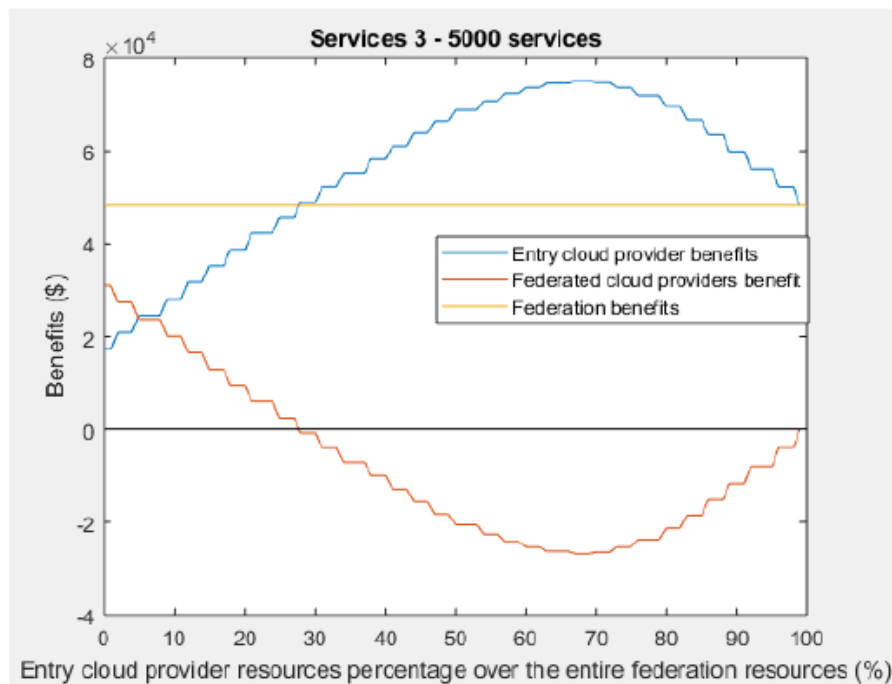


Figura 5-7: Simulación para estudiar la rentabilidad del PCF

Por lo tanto, observando esta simulación se confirma que en algunas situaciones y bajo algunas circunstancias, el beneficio de los proveedores de la federación puede ser negativos. Para extraer en qué escenarios se puede dar esta situación, se realiza un nuevo estudio analítico, partiendo de que no sea deseado que el beneficio de los proveedores de la federación sea alguna vez negativo:

$$\begin{aligned}
 & beneficio_{PCF} > 0 \rightarrow \\
 & \rightarrow (1 - K) \cdot SF \cdot PPS - CI_{PCF} > 0 \rightarrow (1 - K) \cdot SF \cdot PPS > CI_{PCF} \rightarrow \\
 & \rightarrow SF > \frac{CS \cdot NS_{PCF}}{(1 - K) \cdot PPS} \rightarrow ST \cdot \%_{Serv. Federados} > \frac{CS \cdot NS_{PCF}}{(1 - K) \cdot PPS} \rightarrow \\
 & \rightarrow \%_{Serv. Federados} > \frac{CS \cdot NTS \cdot \%_{Servidores en PCF}}{(1 - K) \cdot PPS \cdot ST} \rightarrow \\
 & \rightarrow \frac{\%_{Serv. Federados}}{\%_{Servidores en PCF}} > \frac{CS \cdot NTS}{(1 - K) \cdot PPS \cdot ST}
 \end{aligned}$$

(11)

Si esta inecuación se cumple, el beneficio de los proveedores *cloud* de la federación nunca será negativo.

Tomando esta ecuación con servicios de tipo 3 (segmentos de poca duración y ligero en número de CPUs), los valores de este índice para los cuatro escenarios son:

$$\frac{\%_{Serv. Federados}}{\%_{Servidores en PCF}}_{5000 \text{ Servicios } 3} = 0.8$$

(12)

$$\frac{\%_{Serv. Federados}}{\%_{Servidores en PCF}}_{10000 \text{ Servicios } 3} = 0.7$$

(13)

$$\frac{\%_{Serv. Federados}}{\%_{Servidores en PCF}}_{15000 \text{ Servicios } 3} = 0.66$$

(14)

$$\frac{\%_{Serv. Federados}}{\%_{Servidores en PCF}}_{20000 \text{ Servicios } 3} = 0.63$$

(15)

Observando los resultados tanto de las figuras anteriores como de estas cuatro operaciones, se puede concluir que a medida que este índice aumenta, las posibilidades de que los beneficios del PCF sean negativos aumentan también. Esto implica que el PCF requiere un importante porcentaje de servicios recibidos por el PCE para que le sea rentable. De igual manera, este porcentaje podría ser disminuido (sigue siendo rentable para el PCF) si la demanda total de servicios aumenta, es decir, si es alta.

Observando las variables en la ecuación 11, las únicas que varían son el NTS y ST. En consecuencia, si el número de servicios aumenta, este ratio decrece. Sin embargo, la relación entre NTS y ST no es lineal. El ST crece más rápido que el NTS, es decir, los servicios totales crecen más rápido que el número total de servidores que se necesitan para poder realizar estos servicios. Por esta razón, siempre será más conveniente para los proveedores de la federación que haya una mayor cantidad de servicios totales.

Por otro lado, si este índice es 1, quiere decir que al menos debe haber el mismo porcentaje de servicios federados sobre el total de servicios recibidos que servidores en los proveedores de la federación sobre el total de servidores en la federación. Para estudiar este escenario específico, se realiza una simulación concreta. Para este caso, se considera un total de 5000 servicios tipo 3, y se varía la K .

Adicionalmente, la relación de la ecuación 11 también depende de K . Cuanto mayor sea el margen retenido por el PCE (K), mayor será el porcentaje de servicios federados necesarios para alcanzar la rentabilidad. Además, a partir de esta ecuación también podemos determinar el margen máximo para aplicar en la federación. Cuando el coste total de los servidores es igual a los ingresos correspondientes de federar servicios desde el PCE a los PCF. El beneficio de los PCF es 0. Menos ingresos (debido a un mayor margen de beneficio) impacta directamente en la sostenibilidad de los PCF. En consecuencia,

$$\frac{CS \cdot NTS}{(1 - K) \cdot PPS \cdot ST} = 1 \rightarrow K = 1 - \frac{CS \cdot NTS}{PPS \cdot ST} \quad (16)$$

Resolviendo esta ecuación para la simulación anteriormente mencionada, se tiene $K = 0.28$. En consecuencia, si el PCE retiene más del 28% del precio que el cliente paga, el PCF tendrá un beneficio negativo. Observando la ecuación 16, cuanto más pague el cliente por el servicio o cuanto más grande sea el número de servicios totales recibidos, más grande podrá ser el parámetro K .

Como consecuencia, se pueden obtener las siguientes consideraciones:

- Cuanto más grande sea el número de solicitudes de servicio recibidas, menor será el número de servicios requeridos para que el PCF sea rentable.
- En cualquier caso, el PCF requiere una gran cantidad de servicios federados por parte del PCE para ser rentable. Tendrá complicada su rentabilidad si sólo se dedica a recibir servicios federados. Es decir, dicho PCF deberá ser a su vez también un PCE si quiere conseguir muchos más beneficios.

5.4 Federación de proveedores cloud

En las simulaciones previas, se han analizado las perspectivas tanto del PCE como de los PCF. Para hacerlo, se ha calculado previamente el número exacto de servidores requeridos para evitar denegar alguna petición de servicio.

En este nuevo análisis se considera el porcentaje de servidores que tiene toda la federación (es decir, servidores en el PCE y servidores en los PCF) sobre el número de servidores necesarios para no denegar ningún servicio, por lo que esto implica que en estas simulaciones el sistema nunca niega servicios. Con respecto a esto, se calculan los beneficios, ingresos y costes generales de toda la federación.

En las siguientes ocho figuras (dos por cada número de servicios), hay seis líneas diferentes (una por cada servicio) que representan los beneficios totales de la federación (normalizados y no normalizados, respectivamente).

- 5000 servicios

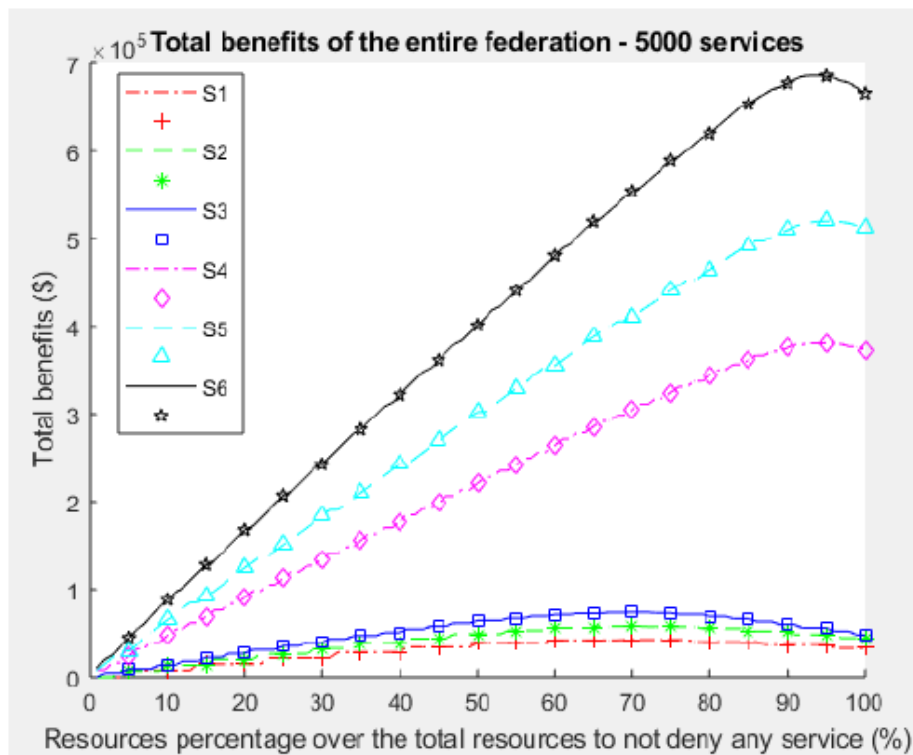


Figura 5-8: Beneficios de la federación no normalizados – 5000 servicios

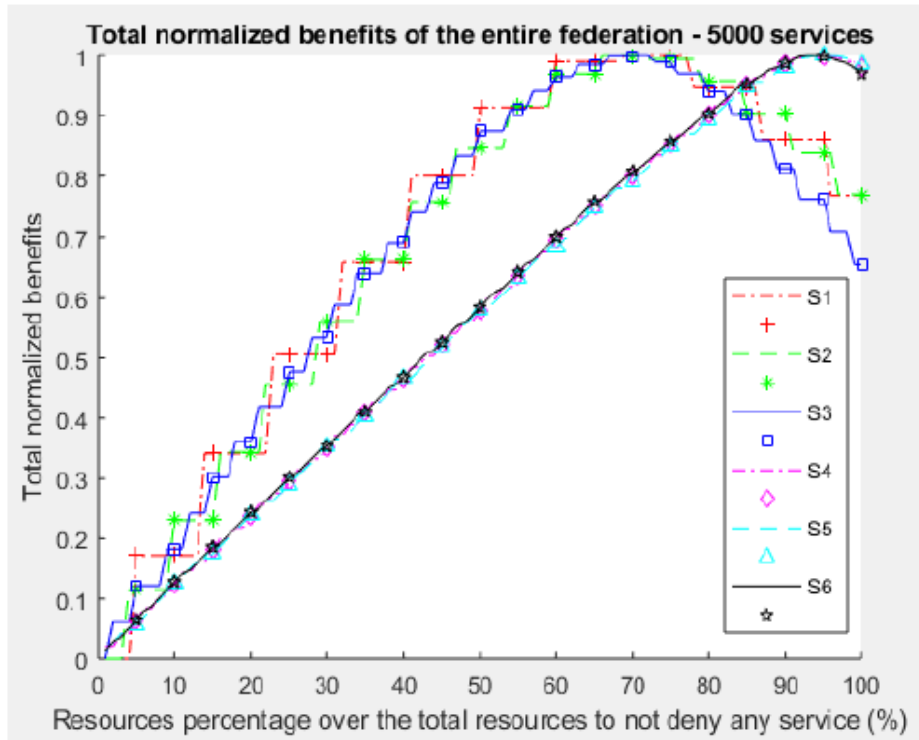


Figura 5-9: Beneficios de la federación normalizados – 5000 servicios

- 10000 servicios

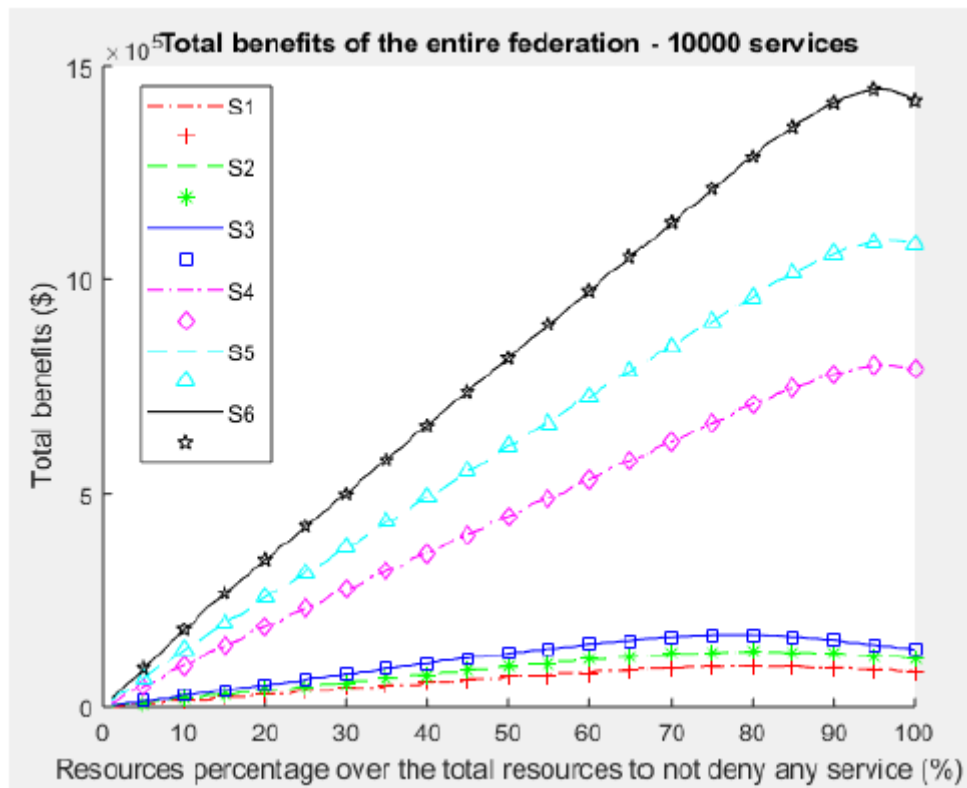


Figura 5-10: Beneficios de la federación no normalizados – 10000 servicios

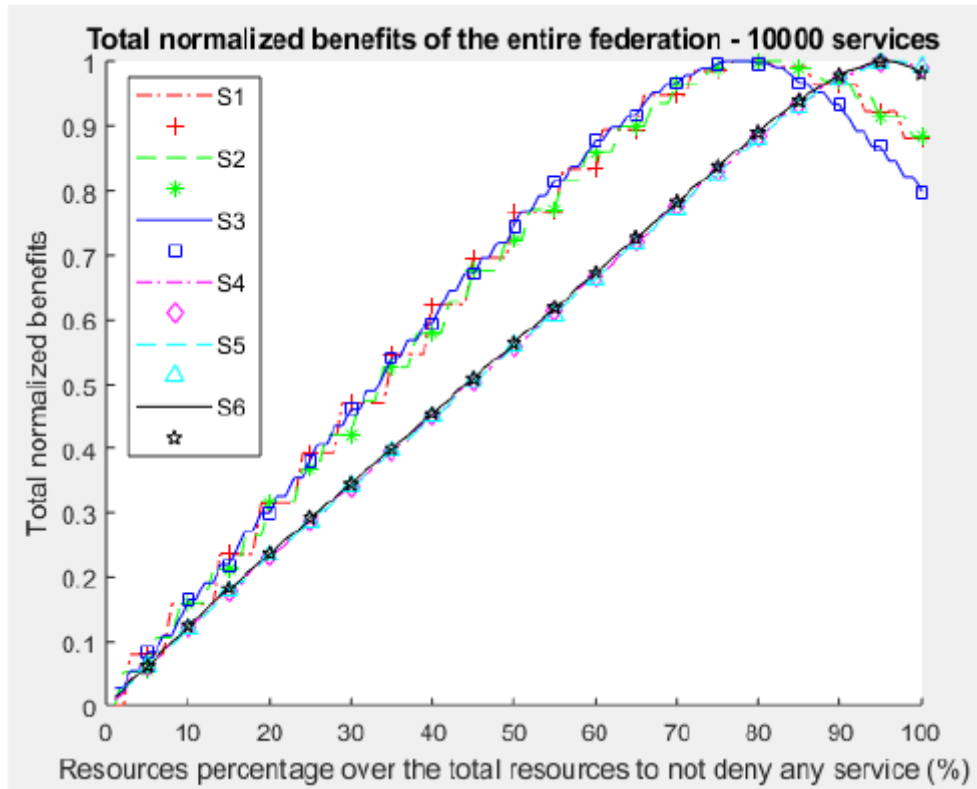


Figura 5-11: Beneficios de la federación normalizados – 10000 servicios

- 15000 servicios

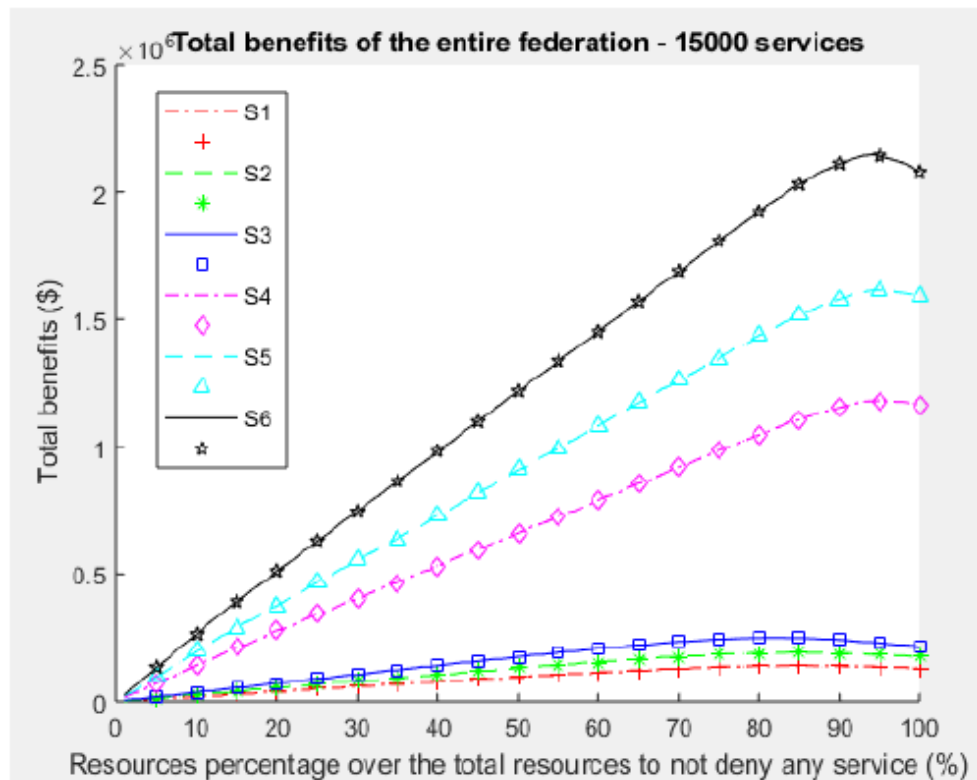


Figura 5-12: Beneficios de la federación no normalizados – 15000 servicios

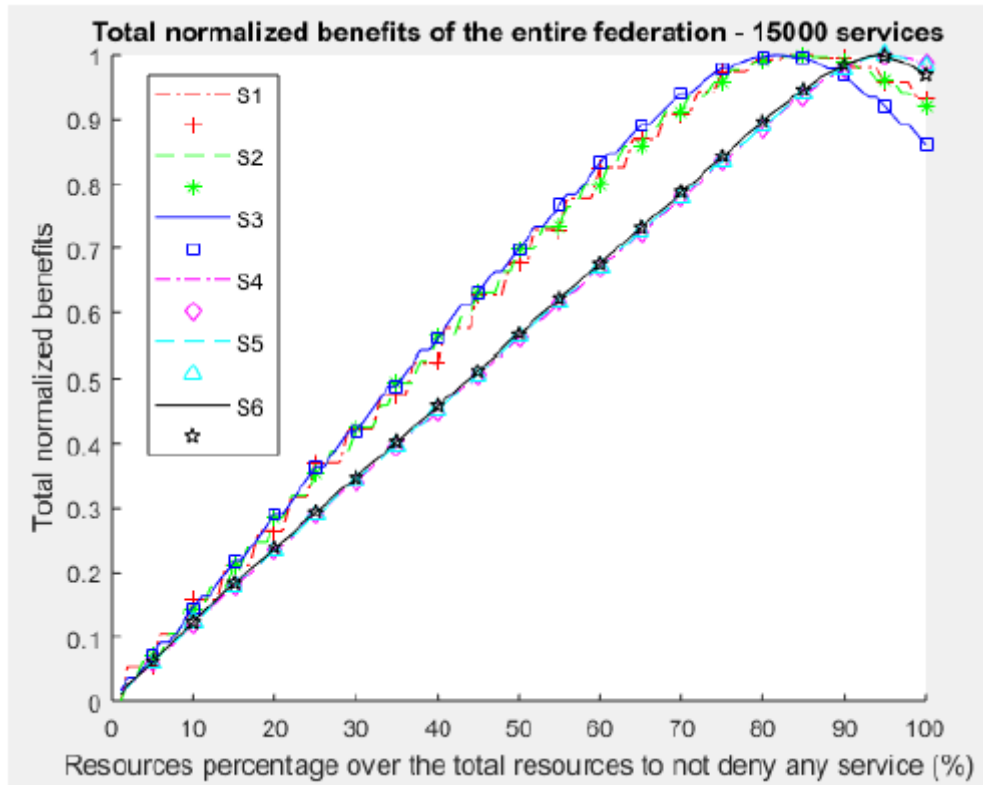


Figura 5-13: Beneficios de la federación normalizados – 15000 servicios

- 20000 servicios

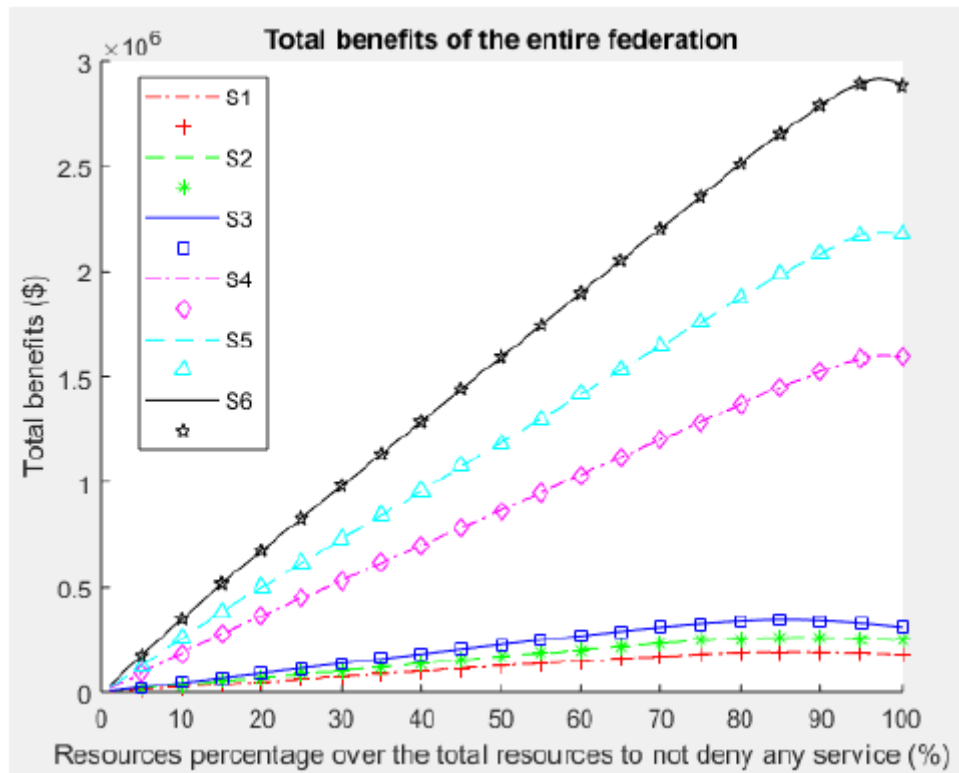


Figura 5-14: Beneficios de la federación no normalizados – 20000 servicios

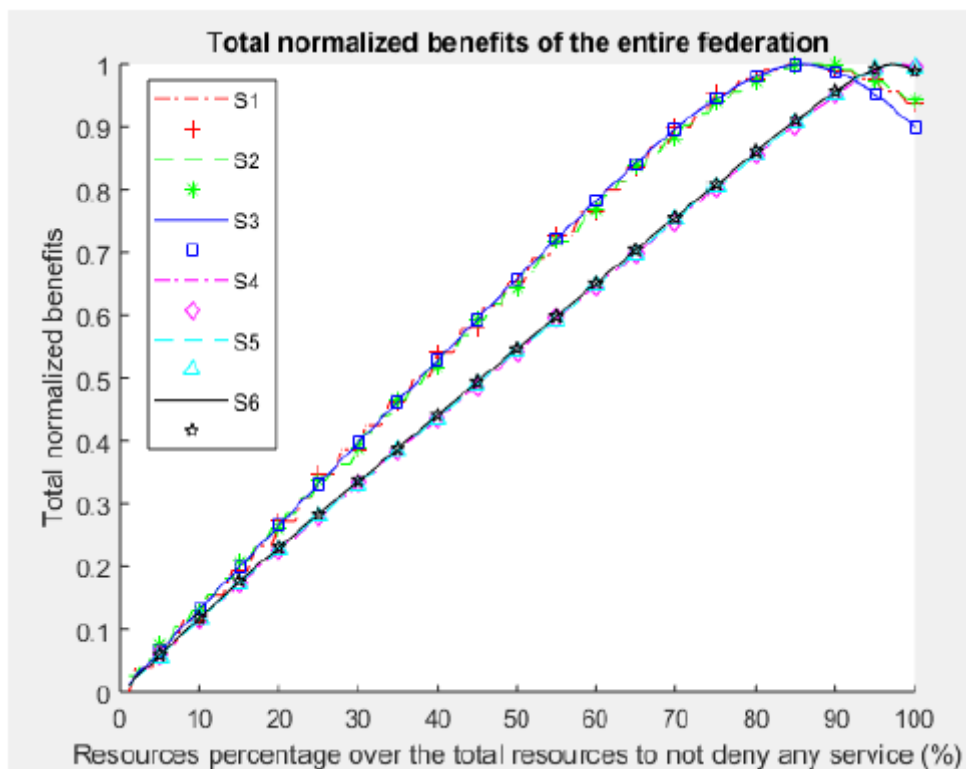


Figura 5-15: Beneficios de la federación normalizados – 20000 servicios

A primera vista, se puede observar en los gráficos no normalizados que los servicios que generan mayores beneficios son los de larga duración (para el mismo número de servicios). Del mismo modo, otra conclusión de estos gráficos es que la federación puede lograr un mayor beneficio negando servicios y teniendo menos infraestructura que el escenario en la que no se niega ningún servicio (por ejemplo, con 5000 servicios se obtienen mayores beneficios con los servicios de poca duración con sólo un 70% de los recursos que serían necesarios para no negar ninguna petición). También se puede observar que este comportamiento se minimiza al aumentar el número de servicios.

En consecuencia, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los servicios de larga duración generan más beneficios a la federación.
- Con servicios de igual duración, generan más ingresos los servicios que necesitan un mayor número de CPUs.
- Los servicios que necesitan pocas CPUs para ser realizados alcanzan el máximo de sus beneficios con un porcentaje menor de recursos con respecto al número total de servidores para no denegar ningún servicio, que los servicios que necesitan un mayor número de CPUs.
- El porcentaje de recursos necesarios para alcanzar el beneficio máximo con respecto al número total de recursos para no denegar ningún servicio, aumenta si también lo hace el número de peticiones de servicio recibidas.

5.5 Conclusiones

En esta sección se han visto todas las simulaciones que se han llevado a cabo en la herramienta desarrollada en MATLAB. Este estudio se ha desarrollado desde el punto de vista de todas las partes interesadas, y se han mostrado las conclusiones extraídas para cada uno de los escenarios.

6 Conclusiones y trabajo futuro

6.1 Conclusiones

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster era realizar un primer análisis tecno-económico de una federación de proveedores *cloud* para la provisión de SaaS (*Slice-as-a-Service*). Para conseguirlo, se han propuesto dos tipos de estudios. Por un lado, se ha explicado un estudio analítico con el fin de entregar una visión teórica acerca de la rentabilidad y sostenibilidad del sistema. Por otro lado, se ha mostrado un estudio experimental realizado a través de una herramienta desarrollada en MATLAB.

En consecuencia, se ha realizado una primera caracterización de un sistema de proveedores *cloud* que trabajan conjuntamente en una federación a través de estos estudios. Igualmente, se deseaba comprender el comportamiento de esta federación cuando se solicitan varios servicios (segmentos de red) de diferente tipo.

Las principales conclusiones de este Trabajo Fin de Máster son las siguientes:

- Fijando el número de servicios (segmentos de red) recibidos, se obtiene el mayor beneficio con los servicios de larga duración y que necesitan un número alto de CPUs para ser desplegados, como los servicios de tipo 6. Sin embargo, esto requiere asumir un gran coste en infraestructura.
- Fijando el número de servidores, se obtiene el mayor beneficio con los servicios de larga duración. Pero en este caso y al contrario que en la conclusión anterior, se consigue una mayor ganancia con los servicios que necesitan un número menor de CPUs. Por lo que lo mejor son los servicios largos y ligeros, como los servicios 4 y 5.
- A medida que aumenta el número total de servicios, menor es el número de servicios requeridos por el PCF para ser rentable.
- En cualquier caso, los PCF requieren una gran cantidad de servicios federados para ser rentables si únicamente en su modelo de negocio cuenta con los ingresos que recibe por estos servicios.
- Los servicios de larga duración generan un beneficio mucho más alto para la federación.
- Entre servicios de misma duración, los servicios que necesitan un mayor número de CPUs generan más beneficios que los que necesitan pocos recursos.
- Los servicios que necesitan pocas CPUs alcanzan su máximo beneficio con un menor porcentaje de recursos sobre el total necesario para no denegar ningún servicio, que los servicios que necesitan más recursos.

- El porcentaje de recursos necesarios para alcanzar el máximo beneficio con respecto al número exacto de recursos para no denegar ningún servicio aumenta a medida que aumenta el número de servicios totales.

Con todas estas conclusiones extraídas, se toman las siguientes consideraciones de negocio:

- Los PCFs necesitan complementar su negocio de aceptar servicios del PCE con convertirse por otro lado en un PCE, es decir, con tener contacto directo con clientes por otro lado, con el fin de asegurar su sostenibilidad.
- Para los PCE parece más conveniente centrarse en servicios que tengan una larga duración como primera fuente de negocio.
- Pueden surgir dos tipos de PCE, uno especializado en servicios que necesiten muchas CPUs para ser desplegados, y otro tipo que se especialice en servicios que necesiten pocas CPUs.

Por lo tanto, parece que una federación con entornos de ejecución de diferentes capacidades parece sostenible, con un enfoque principal en los servicios de larga duración que garanticen unos beneficios altos.

6.2 Trabajo futuro

La federación de proveedores *cloud* es un asunto muy novedoso y que está prácticamente en sus orígenes, todavía hay mucho trabajo por hacer. Realmente se puede analizar cualquier otro aspecto tecno-económico que no se haya analizado en este Trabajo Fin de Máster, porque siempre va a proporcionar información adicional. Una cosa que se ha demostrado en este proyecto es que no todas las conclusiones son tan intuitivas y obvias como pueden parecer, y siempre todos los análisis realizados han entregado nueva información.

Con respecto a este trabajo y siguiendo en esta línea, sí hay unos cuantos aspectos en los que se podría seguir trabajando y que proporcionarían información realmente útil:

- Por simplicidad, en este proyecto se ha tomado un servicio como un segmento de red (*network slice*) el cual no se podía descomponer. Se podría ampliar esta idea y considerar cada servicio como un conjunto de VNFs (*Virtualized Network Function*) las cuales cada una es un segmento de red. De esta manera, se podría descomponer el servicio y considerar que las VNFs puedan ser desplegadas cada una en un proveedor distinto.
- En este trabajo, el precio que pagaban los clientes al proveedor era siempre el mismo. La nueva consideración que se propone es que el precio sea dinámico en función de la disponibilidad que tenga ese proveedor en sus recursos. Esto es, si un proveedor tiene todos sus recursos libres, que el cliente pague un precio base por el servicio. Sin embargo, si el cliente solicita el servicio cuando el proveedor tiene muchos de sus recursos ocupados, que el cliente tenga que pagar algo más por ese servicio. Este tipo de estrategia de negocio es muy habitual en este tipo de escenarios.

Referencias

- [1] Cong Wang, Qian Wang, Kui Ren and Wenjing Lou. “**Privacy-Preserving Public Auditing for Data Storage Security in Cloud Computing**”. Illinois Institute of Technology
- [2] Palak Sharma, Megha Verma, Neha Sundriyal and Jyoti Chauhan. “**5G Mobile Wireless Technology**”. Department of Computer Science, Dronacharya College of Engineering, Gurgaon, India
- [3] Akanksha Maurya. “**5G technology and its key drivers: cloud computing and cloud radio access networks**”. Electrical and Electronic Engineering, Inderprastha Engineering College (IPEC), Ghaziabad, India.
- [4] Rajkumar Buyya and Rajiv Ranjanb. “**Federated resource management in grid and cloud computing systems**”. The University of Melbourne, Australia. The University of New South Wales, Sydney, Australia
- [5] Luis M. Contreras, Rafael A. López da Silva. “**D2.1. Initial definition of use cases**” Deliverable 2.1 NECOS project
- [6] Daniele Cattedu. “**Cloud Computing: Benefits, risks and Recommendations for Information Security**”. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA), Greece.
- [7] Ayob Sether. “**Cloud computing benefits**”. Year 2016
- [8] Isaac Odun-Ayo (IEEE Member), Sanjay Misra (IEEE Member) and Frank Agono. “**Cloud Computing Architecture: A critical analysis**”. Covenant University Ota Ogun State, Nigeria.
- [9] Sumit Goyal. “**Public vs Private vs Hybrid vs Community – Cloud Computing: A critical review**”. IDA Member, New Delhi, India.
- [10] Esta información se ha extraído de la página del ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Url: <https://www.etsi.org/technologies/5g>
- [11] Pekka Pirinen. “**A brief overview of 5G research activities**”. Centre of Wireless Communications, University of Oulu, Finland.
- [12] Petar Popovski, Kasper F. Trillingsgaard, Osvaldo Simeone and Giuseppe Durisi. “**5G Wireless Network Slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: a communication-theoretic view**”. Aalborg University, Aalborg, Denmark and Chalmers University of technology, Goteborg, Suecia.
- [13] CenturyLink – Online Price Estimator, 2018. Available at URL: <https://ukctl.io/estimator/>

- [14] N. Ghrada, M.F. Zhani, Y. Elkhatib, “**Price and Performance of Cloud-hosted Virtual Network Functions: Analysis and Future Challenges**”, in Proc. of the 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft), Montreal, Canada, June 2018.
- [15] Para calcular la depreciación del coste de un servidor, url:
<https://docs.vmware.com/en/vRealize-Business/7.0.1/com.vmware.vRBforCloud.install.doc/GUID-26B04DFB-1A47-4424-B6FA-18A51FCAC7E0.html>
- [16] A.K. Mishra, J.L. Hellerstein, W. Cirne, C.R. Das, “**Towards characterizing cloud backend workloads: insights from Google compute clusters**”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, pp. 34-41, March 2010.

Glosario

| | |
|-------|---|
| KPI | Key Performance Indicator |
| SlaaS | Slice-as-a-Service |
| SaaS | Software-as-a-Service |
| SSOO | Sistemas operativos |
| PaaS | Platform-as-a-Service |
| IaaS | Infrastructure-as-a-Service |
| IoT | Internet of Things |
| ITU | International Telecommunications Union |
| eMBB | enhanced Mobile Broad Band |
| mMTC | massive Machine Type Communications |
| URLLC | Ultra-Reliable Low Latency Communications |
| PCE | Proveedor Cloud de la Entrada |
| PCF | Proveedor Cloud Federado |
| VNF | Virtualized Network Function |

